

Relação entre a Suscetibilidade a Inundações e a Falta de Capacidade nos Condutos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS

Guilherme Garcia de Oliveira; Laurindo Antonio Guasselli

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

g.g.oliveira10@gmail.com; laurindo.guasselli@ufrgs.br

Recebido: 18/08/08 - revisado: 13/05/09 - aceito: 22/12/10

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de relacionar a suscetibilidade a inundações com a falta de capacidade nos condutos do sistema de drenagem da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS, com a finalidade de espacializar os pontos críticos e frequentemente mais atingidos por eventos de inundação. Esses eventos atingem significativa área da sub-bacia, onde ocorrem perdas materiais e prejuízos à saúde pública. Nesse contexto, o geoprocessamento surge como um recurso dinâmico, que permite a manipulação de informações geográficas inferindo maior precisão nas análises e mapeamentos, de acordo com os objetivos do trabalho. O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações resultou da análise conjugada de processos físicos e de uso e ocupação do solo. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) compreendeu as bases de geomorfologia, drenagem urbana, impermeabilização e ocupação. A análise espacial das inundações na sub-bacia envolveu a caracterização geomorfológica, pedológica, hidrológica e de uso e cobertura do solo em pontos onde há falta de capacidade dos condutos subsuperficiais. Além disso, este trabalho buscou compreender as relações existentes entre as diferentes apropriações da superfície e as inundações urbanas na área de estudo. A partir dessa análise, observou-se que 16 dos 27 pontos com deficiência no escoamento estão inseridos em áreas altamente suscetíveis às inundações. Os outros pontos estão inseridos, de modo geral, em compartimentos geomorfológicos que não favorecem ao acúmulo das águas, ou em áreas mais permeáveis de acordo com a estrutura pedológica e o tipo de uso e cobertura do solo.

Palavras-Chave: *Suscetibilidade; geoprocessamento.*

INTRODUÇÃO

O progresso industrial e a modernização dos serviços alteraram a realidade sócio-econômica do Brasil, transformando a dinâmica demográfica brasileira. O deslocamento populacional das áreas rurais para as urbanas, após a década de 1940, trouxe uma série de conflitos sociais e ambientais às cidades e demandaram a necessidade de novas políticas de planejamento urbano ambiental.

A atividade humana altera diretamente o ciclo hidrológico nas cidades, reduzindo a infiltração de água no solo e favorecendo o escoamento superficial. Em consequência disso, ocorre a acumulação de água em compartimentos geomorfológicos mais favoráveis, como as planícies e os terraços fluviais. Há o aumento da vazão pluvial, o qual compromete o sistema de drenagem estabelecido na cidade, pois o mesmo, muitas vezes, não comporta tal fluxo de água.

O processo de urbanização implica inevitavelmente na alteração de diversas dinâmicas

naturais, modificando principalmente a morfologia do terreno, a cobertura do solo e a rede de drenagem das bacias, influenciando, dessa forma, nas inundações urbanas. Essas modificações demonstram que o processo de urbanização pode comprometer o ambiente e a organização das cidades quando não há um plano de ação e gestão urbana eficientes. Embora seja natural o fato de as águas de um rio transbordarem e atingirem sua planície de inundação, sabe-se que as construções, inerentes à expansão de uma cidade, intensificam os processos que levam ao acúmulo de água em determinadas áreas.

As inundações em Porto Alegre/RS ocorrem frequentemente em áreas onde há deficiência no escoamento das águas, muitas vezes em virtude da falta de capacidade nos condutos. Nesses locais, de modo geral, as dinâmicas naturais foram amplamente afetadas pelo processo de urbanização e impermeabilização da superfície.

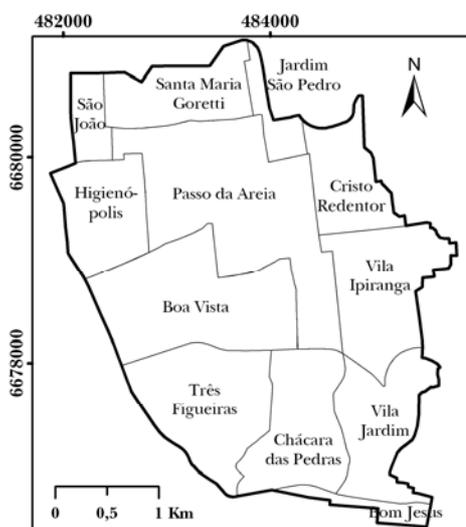
Segundo o Departamento de Esgotos Pluviais (DEP), da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA), alguns dos locais mais atingidos por

inundações em Porto Alegre estão localizados na Sub-bacia do Arroio da Areia.

A Sub-bacia do Arroio da Areia tem aproximadamente 11,7km² e seu curso principal 5,4km de comprimento, das nascentes à Casa de Bombas Engenheiro Sílvio Brum, apresentando um desnível de 121m (Porto Alegre, 2002). As nascentes se localizam nos morros Rio Branco, Petrópolis e Alto Petrópolis (Menegat *et al.*, 1998).

A drenagem da sub-bacia é realizada por condutos forçados até a Casa de Bombas Sílvio Brum. Tanto o curso principal quanto os canais, em grande parte, foram canalizados em dutos subterrâneos. Apenas no interior do Country Club e no Parque Germânia ainda há segmentos de cursos d'água com características mais próximas às naturais.

A sub-bacia apresenta intensa ocupação urbana. Na porção mais a jusante, nos bairros São João e Santa Maria Goretti (**MAPA 1**), predomina a ocupação de atividades industriais e comerciais. Os outros bairros no interior da sub-bacia concentram, predominantemente, áreas residenciais e comerciais, estas últimas principalmente ao longo de importantes vias de circulação, como as avenidas Assis Brasil, do Forte, Protásio Alves, entre outras.



MAPA 1 - Bairros da sub-bacia

Em 2002, a PMPA e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) 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 apresenta 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, e auxilia na tomada de decisões para amenização desses problemas. Atualmente, em virtude da capacidade de armazenamento e análise de informações, o geoprocessamento surge como uma ferramenta dinâmica capaz de conferir mais precisão aos mapeamentos e à análise espacial. 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, com a finalidade de promover uma análise espacial, de acordo com os objetivos do usuário.

Este trabalho tem como **objetivo** relacionar a suscetibilidade a inundações com a falta de capacidade nos condutos do sistema de drenagem da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS, com a finalidade de espacializar os pontos críticos e frequentemente mais atingidos por eventos de inundação.

Inundações Urbanas

As inundações são eventos naturais que ocorrem devido ao extravasamento das águas do leito menor de um curso d'água. Muitas vezes, o homem explora e habita áreas alagáveis, ignorando os riscos inerentes a esses locais. Geralmente, ao ocupar as áreas suscetíveis a inundações, o homem enfrenta sérios problemas com o regime natural das águas (Enomoto, 2004).

A retirada da cobertura vegetal, o aterramento das áreas de várzeas e a impermeabilização do solo modificam intensamente o regime hidrológico. Há redução da infiltração de água no solo e aumento na velocidade do escoamento superficial. A combinação destes dois fatores faz com que as águas atinjam rapidamente o curso principal do canal, provocando inundações em diversos pontos onde existam estrangulamentos de seção ou obstrução do leito.

O mapeamento desses eventos, bem como das áreas suscetíveis a inundações constitui-se em uma ferramenta muito importante para controle e prevenção de inundações. Para Nascimento *et al.* (1998), um mapa de inundação deve conter informações da cobertura vegetal; do grau de

impermeabilização dos lotes, considerando o seu tipo de utilização; do solo, de acordo com seu nível de permeabilidade; 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. Em áreas urbanas, outras variáveis são importantes para o estudo de inundações, como o sistema de drenagem pluvial e a impermeabilização da superfície.

Geomorfologia no estudo de áreas de inundação

A geomorfologia é a ciência que estuda as formas do relevo quanto a sua geometria, gênese e idade. Segundo Ross (2003), o relevo apresenta diversos tipos de formas dinâmicas, que se manifestam de modo diferenciado ao longo do tempo e do espaço.

A ação humana interfere diretamente nas formas de relevo. Os processos de urbanização e industrialização têm papel fundamental nos problemas ambientais observados nas cidades. O crescimento das áreas urbanas pressiona o meio físico, tendo como consequência o aumento da poluição atmosférica, das águas, dos solos, deslizamentos, enchentes, etc. (Guerra & Marçal, 2006).

As formas de relevo são determinantes para a delimitação de áreas suscetíveis a inundações e enchentes. As áreas inseridas em morfologias mais onduladas ou montanhosas, bem como em morfologias mais elevadas, estão menos propensas a ocorrências de inundação.

Ross (2003) coloca que 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.

Um dos principais parâmetros influenciadores das inundações, inserido no mapeamento geomorfológico, é a declividade, pois permite estipular a velocidade de escoamento das águas. Segundo Dias *et al.* (2004), declividades entre 0 e 5% são as que mais influenciam nas áreas de inundações, pois representam as várzeas e os terraços fluviais.

Aspectos pedológicos no estudo da impermeabilização do solo

Os aspectos pedológicos também interferem na ocorrência de enchentes e inundações. Esses fenômenos, geralmente, estão associados aos solos rasos, de composição siltica e argilosa, com predominância de terras finas (< 2mm) e menor quantidade de cascalho (de 2 a 20mm). Estas características configuram um solo com baixa permeabilidade e reduzida capacidade de armazenamento de água.

Tucci (2001), com o propósito de relacionar os tipos de solos com o uso e a cobertura da superfície, propõe uma classificação dos solos segundo sua permeabilidade e capacidade de armazenamento de água. Essa relação permite definir o coeficiente de escoamento e , para a finalidade desse estudo, estimar a taxa de impermeabilidade.

Para tanto, Tucci (2001) utiliza a equação do Soil Conservation Service (SCS), na qual o coeficiente de escoamento (C_p) de uma superfície pode ser estimado da seguinte forma (SCS, 1975):

$$C_p = [(P-0,2*S)^2 / (P+0,8*S)] * 1/P \quad (1)$$

Onde: P é a precipitação total do evento em mm; S é o armazenamento, que está relacionado com o parâmetro que caracteriza a superfície (CN) por (SCS, 1975)

$$S = (25400/CN) - 254 \quad (2)$$

O parâmetro CN relaciona o tipo de solo e as características da superfície. Os valores do parâmetro CN são estabelecidos numa escala de 1 a 100, variando de uma cobertura completamente permeável até uma cobertura muito impermeável.

Quanto ao valor de precipitação, necessário para o uso das equações acima, um estudo realizado por Silveira (2000) estabelece uma curva de intensidade-duração-frequência (IDF), a partir de dados do 8º Distrito de Meteorologia, em Porto Alegre. A expressão IDF obtida foi a seguinte:

$$i = 2491,782 * T^{0,192} / (t+16)^{1,021} \quad (3)$$

Onde: i = intensidade da chuva (mm/h); T = período de retorno em anos; t = duração em minutos da chuva.

A partir da equação 3 obtém-se a intensidade de chuva para uma determinada duração e tempo de retorno.

Suscetibilidade a inundações

A suscetibilidade a inundações de uma área está diretamente relacionada à probabilidade dessa área ser atingida por enchentes, cheias, alagamentos. 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) realiza o mapeamento de áreas de riscos de enchentes através da manipulação de bases digitais. Ao realizar o mapeamento, define pesos para cada um dos parâmetros influenciadores na etapa de cruzamento das bases digitais: Geomorfologia (27%), Declividade (25%), Solos (20%), Uso e Ocupação do Solo (15%), Proximidades (13%).

MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados os seguintes materiais para a realização do estudo: imagens de satélite de alta resolução espacial (0,61cm), sensor QuickBird, de 2003; imagem de radar, sensor Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), resolução espacial de 30m; base digital de solos obtida junto ao Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, na escala 1:40.000; cartas da rede de esgoto pluvial, elaboradas e fornecidas pelo DEP; pontos onde há falta de capacidade nos conduitos obtidos em Porto Alegre (2002).

MÉTODOS

Para contemplar o objetivo, a metodologia de trabalho foi estruturada nas seguintes etapas:

1 - Processamento digital de imagens. O processamento das imagens de satélite compreendeu a fusão das bandas espectrais, o mosaico das cenas, o georreferenciamento e a equalização do mosaico. A imagem SRTM fornece informações altimétricas, e foi utilizada no processo de modelagem da superfície. Esta etapa compreendeu a geração de

um Modelo Numérico do Terreno (MNT), do qual foram extraídas as curvas de nível, a declividade, perfis topográficos e a visualização em terceira dimensão (3D) da superfície. As informações altimétricas foram interpoladas pelo método de krigagem, com a finalidade de melhorar a qualidade da modelagem. As interpolações, neste caso, têm por objetivo inferir valores intermediários entre dois pontos existentes em uma matriz inicial de pontos. Foram realizadas interpolações experimentais, para um, cinco, dez e quinze metros de resolução espacial. O MNT com cinco metros de resolução espacial foi o escolhido, por apresentar maior precisão e confiabilidade em suas informações altimétricas;

2 - Elaboração da base de geomorfologia. Esse mapeamento baseou-se no MNT e nas bases derivadas, como curvas de nível, mapa de declividade, perfis topográficos e visualização em 3D. Considerou três padrões de formas semelhantes da superfície. São eles:

- a) Morros;
- b) Terraços;
- c) Planícies fluviais.

Os morros foram segmentados, de acordo com as formas das unidades de vertente, baseado em Rehbein (2005), em:

- a) Topos Planos/Convexos;
- b) Segmentos Retilíneos ou Convexos;
- c) Segmentos Côncavos.

Os terraços foram segmentados em duas formas de relevo de acordo com a origem e as características dos sedimentos. São elas:

- a) Terraços Colúvio-Aluvionares;
- b) Terraços Alúvio-Coluvionares.

As planícies fluviais (várzeas) não foram segmentadas devido à homogeneidade de formas no seu interior.

3 - Elaboração da base de ocupação e impermeabilização. Inicialmente, foi necessária a realização do mapeamento do uso e cobertura do solo, através da vetorização, na escala 1:1.000, sobre o mosaico de imagens de satélite. Esse trabalho considerou quatro unidades de uso e cobertura do solo: áreas sem construções (jardins, canteiros, praças, parques, etc.); áreas construídas no interior das quadras

(edificações e pavimentos); arruamentos asfaltados; arruamentos de paralelepípedo.

Em seguida, foi criado um banco de dados para armazenar informações referentes às bases cartográficas digitais de solos e de uso e cobertura do solo. Essas informações são organizadas em diferentes tipos de campos (fields), sejam eles numéricos ou textuais.

Depois disso, realizou-se a ordenação dos tipos de solos presentes na sub-bacia, de acordo com a metodologia de Tucci (2001) que considera quatro categorias, que variam de "A" à "D", dos mais permeáveis aos mais impermeáveis. De acordo com a granulometria dos sedimentos, segundo Porto Alegre (2004), na sub-bacia não existem solos do tipo "A".

Com as unidades de uso e cobertura do solo mapeadas e a base de solos ordenada, foi realizado o cruzamento das duas camadas vetoriais para a aplicação das equações 1, 2 e 3, para calcular o coeficiente de escoamento e estimar a impermeabilização.

Para a utilização das equações foi necessário adequar os valores do parâmetro CN, descritos por Tucci (1993), para cada uma das unidades de uso e cobertura, conforme a **Tabela 1**.

O valor de precipitação utilizado neste trabalho levou em consideração um evento com duração de uma hora e tempo de retorno de cinco anos.

TABELA 1 - Valores do parâmetro CN

Unidade de uso e cobertura	Solo B	Solo C	Solo D
Áreas sem construção	62	74	80
Áreas construídas (edificações/pavimentos)	98	98	98
Aruamentos asfaltados	98	98	98
Aruamentos com paralelepípedos	85	89	91

Fonte: adaptada de Tucci (1993, p.406).

A **Tabela 2** apresenta o resultado da aplicação das equações para estimar a taxa de impermeabilização das unidades.

Com base no percentual de cada categoria acima, foi obtida a taxa de ocupação e impermeabilização (TOI) das quadras e dos arruamentos. De acordo com Fontes & Barbassa (2003) a taxa de ocupação e impermeabilização (TOI) é obtida relacionando a área construída e a área livre de ocupação impermeabilizada com a área total de um local. Para aprimorar o cálculo de

impermeabilidade da sub-bacia, as unidades de uso e cobertura do solo e suas respectivas taxas de impermeabilização foram relacionadas com a área total de cada quadra. Em seguida, foram estabelecidas 10 classes de impermeabilização, com intervalos homogêneos. As classes foram nomeadas de A (valores inferiores) à J (valores superiores).

TABELA 2 - Taxa de impermeabilização

Unidade de uso e cobertura	Solo B	Solo C	Solo D
Áreas sem construção	0,142	0,314	0,428
Áreas construídas (edificações/pavimentos)	0,926	0,926	0,926
Aruamentos asfaltados	0,926	0,926	0,926
Aruamentos com paralelepípedos	0,540	0,643	0,699

4 - Elaboração da base de drenagem urbana. Foram vetorizados os arroios e os principais canais subterrâneos na sub-bacia. As informações adicionais do sistema de drenagem, como o diâmetro das tubulações, foram armazenadas no banco de dados.

Em seguida, foram estabelecidas distâncias de proximidade dos arroios, canais principais e da confluência entre cursos d'água:

- a) Secções entre 0,8 e 1m de diâmetro: 10m para cada margem;
- b) Secções entre 1 e 1,2m: 12m;
- c) Secções superiores a 1,2m: 15m.

As áreas inseridas nas principais confluências do sistema de drenagem foram realçadas por um polígono circular, com raio de abrangência estimado de acordo com o diâmetro das tubulações.

5 - Elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações e a relação com os pontos onde há falta de capacidade nos condutos. O mapa de suscetibilidade a inundações foi elaborado a partir do cruzamento das bases digitais rasterizadas de geomorfologia, ocupação e impermeabilização e drenagem urbana. Os pesos utilizados no cruzamento das bases tiveram embasamento em Dias *et al.* (2004), e são apresentados na **Tabela 3**.

Em seguida, foi realizado o cruzamento do mapa de suscetibilidade a inundações com os pontos com falta de capacidade nos condutos. Esse

TABELA 3 - Critérios para a elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações

Parâmetros	Peso	Categoria/Nota
Geomorfologia	52%	Planície Fluvial (Apf) – nota 10; Terraço Alúvio-Coluvionar (Arc1) – nota 8; Terraço Colúvio-Aluvionar (Arc2) – nota 7; Morro e Colina (segmentos côncavos) (Dc1) – nota 3; Morro e Colina (segmentos convexos) (Dc2) – nota 2; Morro e Colina (topo retilíneo/convexo) (Dc3) – nota 1.
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).

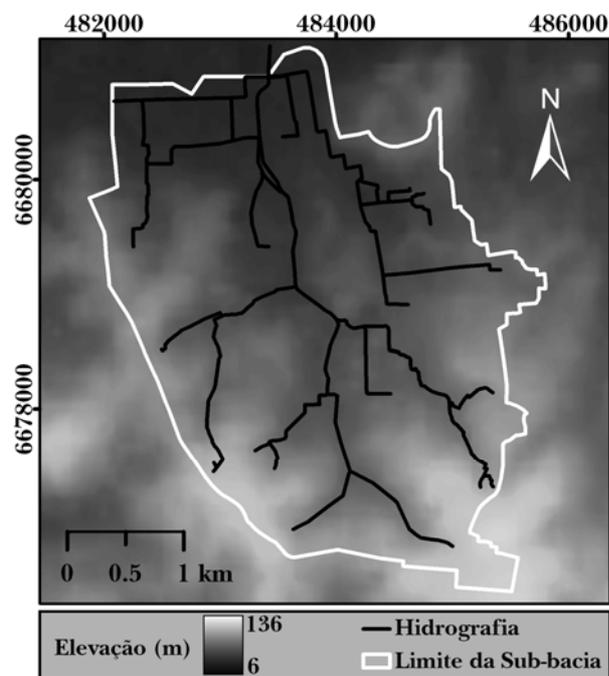
cruzamento permitiu a análise espacial da relação entre as duas informações.

Softwares Utilizados

Com exceção da etapa de processamento das imagens de satélite, na qual foi utilizado o software “Envi 4.3”, em todas outras etapas do trabalho o software utilizado foi o “ArcGis 9 – ArcInfo 9.2”.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Processamento Digital das Imagens



MAPA 2 - Modelo Numérico do Terreno

A interpolação por krigagem apresentou sensíveis ganhos na qualidade do modelo de elevação (**MAPA 2**), de acordo com o apresentado em Valeriano (2004).

A utilização das imagens de radar se constitui num método adequado para modelagem da superfície. O MNT também permitiu traçar perfis topográficos de alguns segmentos no interior da sub-bacia, como o curso principal do Arroio da Areia. Na análise do perfil do arroio, observou-se que há grande variação altimétrica (aprox. 80m) nos primeiros 1,1Km de extensão do mesmo. Nos outros 4Km de extensão do arroio principal, o desnível altimétrico é de 40m.

A visualização em três dimensões da sub-bacia foi um recurso interessante que contribuiu com o processo de mapeamento geomorfológico. Para gerar a visualização, foram sobrepostos o mosaico de imagens e o MNT, aplicando um determinado nível de exagero vertical. Em seguida, foram realizados vãos cênicos virtuais pela sub-bacia através de ferramentas de animação do pacote de extensão “ArcScene” do software “ArcGis 9 – ArcInfo 9.2”, onde se observou com maior atenção as feições da superfície.

Geomorfologia

O mapeamento geomorfológico (**MAPA 3**) identifica as feições do relevo e representa a dinâmica e a gênese dos compartimentos. Foram mapeadas duas unidades morfoesculturais:

- a) Escudo Sul-Rio-Grandense: formado na Era Proterozóica a partir da colisão de dois antigos continentes (Menegat *et al.*, 1998). Possui três unidades geológicas no interior da sub-bacia, que compõem os morros: Gnaise Chácara das Pedras, Granodiorito Três Figueiras e Granito Independência. Os morros possuem topos planos/convexos e

unidades de vertentes côncavas, convexas e retilíneas, e têm grande variedade de formas geométricas, de altitudes e declividades.

- b) **Planície Costeira:** formada nos últimos 400 mil anos, é composta por sedimentos finos depositados pelo oceano, rios e lagos (Menegat *et al.*, 1998). A ocorrência de transgressões e regressões do nível de água dos oceanos formou os sistemas laguna-barreiras. Três unidades geológicas são observadas nas planícies e terraços fluviais da sub-bacia: Sistema Laguna-Barreira I (depósitos de leques aluviais), Sistema Laguna-Barreira III (depósitos de terraços fluviais e lacustres) e Sistema Laguna-Barreira IV (depósitos de canal fluvial). As áreas planas estão localizadas, predominantemente, na porção norte (a jusante) da sub-bacia e possuem declividades inferiores a 10%, estando sujeitas a inundações ao longo do Arroio da Areia e dos principais canais.

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 padrões de formas em terraços e planícies são caracterizados pela deposição dos sedimentos provenientes das vertentes dos morros circundantes, transportados por processos fluviais. Os terraços colúvio-aluvionares (**Arc2**) representam o primeiro nível de deposição dos sedimentos que são transportados pela vertente. Os terraços alúvio-coluvionares (**Arc1**) constituem-se no nível de deposição mais próximo aos arroios. As planícies (**Apf**), também denominadas várzeas, representam o último estágio de deposição.

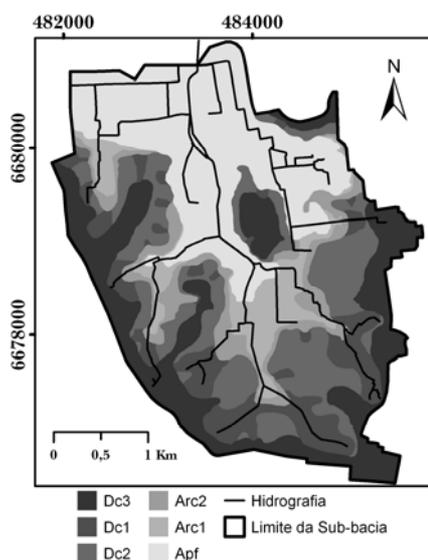
A ocupação e impermeabilização dessas áreas mais planas interferem diretamente no comportamento hidrológico da sub-bacia, pois reduzem a infiltração de água no solo e aumentam o escoamento superficial.

Ocupação e Impermeabilização

Para a obtenção da impermeabilização das quadras e arruamentos, foram mapeadas as unidades de uso e cobertura do solo. A análise desse mapeamento permitiu realizar as seguintes considerações:

- as áreas sem construções são mais extensas em quadras com presença de praças, de lotes maiores (com mais áreas de gramados, jardins e canteiros) e de terrenos baldios. Estas áreas se apresentam em maior extensão nas quadras do Bairro Três Figueiras (porção sudoeste da sub-bacia), em virtude do tamanho dos lotes que permite a manutenção de extensos gramados;
- na porção norte da sub-bacia, nos bairros São João, Santa Maria Goretti e Passo da Areia, predominam quadras com extensas áreas construídas e arruamentos asfaltados, características de áreas comerciais e industriais;
- nas áreas residenciais predominam os arruamentos de paralelepípedo.

Em seguida, foram obtidas as taxas de ocupação e impermeabilização das quadras e arruamentos, apresentadas no **MAPA 4**.



MAPA 3 - Compartimentos Geomorfológicos

Nos topos dos morros (**Dc3**) predominam a infiltração e o escoamento subsuperficial, enquanto nos segmentos convexas ou retilíneos (**Dc2**) predominam 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



MAPA 4 - Taxa de Ocupação e Impermeabilização

A análise do mapa da TOI mostra que a impermeabilização não está associada diretamente com a densidade populacional. Os bairros São João e Santa Maria Goretti, por exemplo, tem baixa densidade habitacional, e a TOI é bastante elevada devido ao tipo de uso e a forma de ocupação.

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. Destacam-se três áreas comerciais na sub-bacia: na Avenida Assis Brasil (Passo da Areia e São João) e na Avenida Nilo Peçanha (Iguatemi e Bourbon Country). As indústrias predominam no Corredor de Desenvolvimento, entre as avenidas Sertório e Assis Brasil (Porto Alegre, 2002).

As quadras residenciais com lotes pequenos e condomínios com pouca área verde também apresentaram elevadas TOI.

Suscetibilidade a inundações

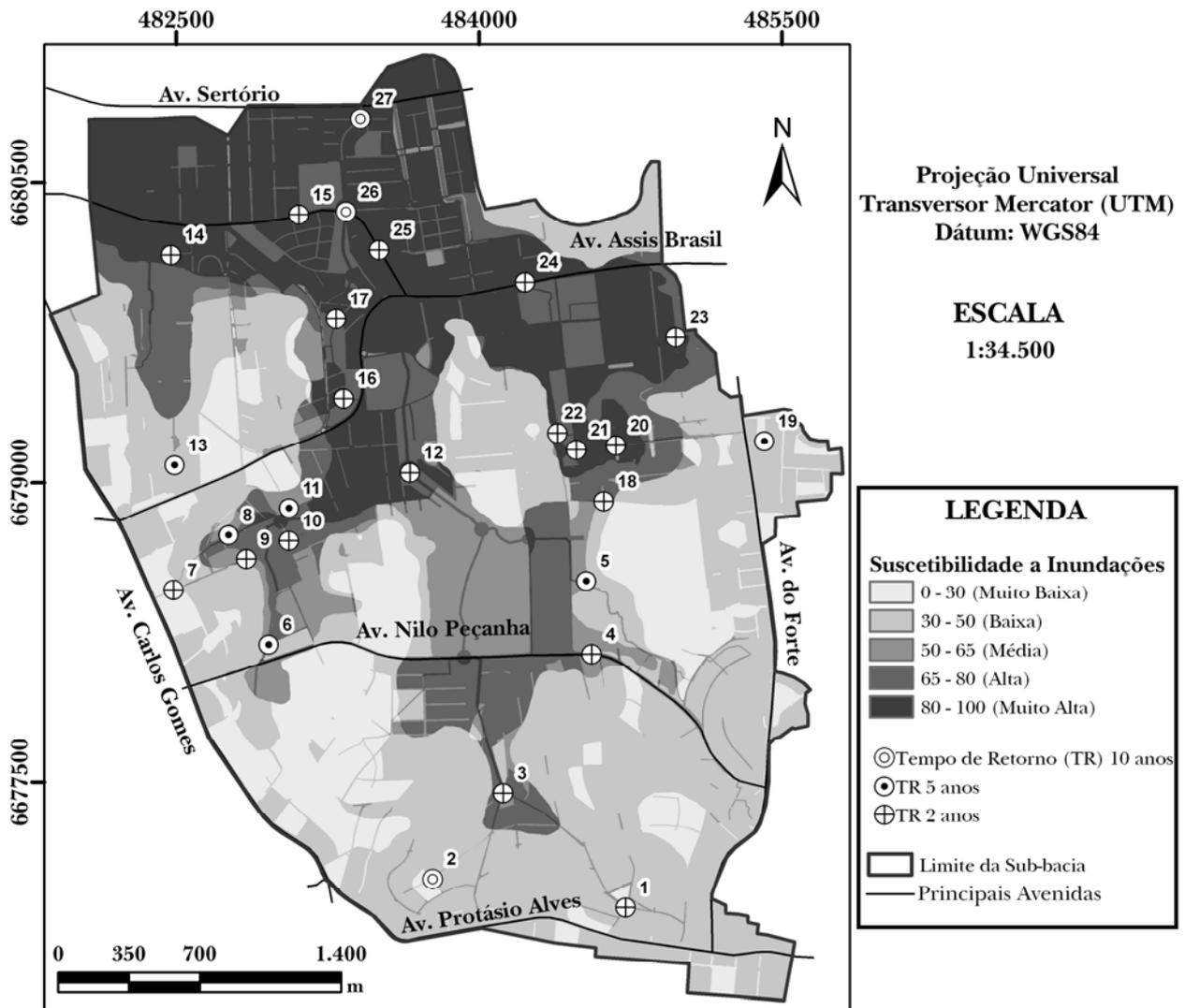
O resultado do cruzamento das bases digitais, com base nos critérios da Tabela 3, é apresentado no MAPA 5, que revela a suscetibilidade a inundações e os pontos com falta de capacidade nos condutos com tempo de retorno de dois a dez anos. Constatou-se que as áreas com

maior suscetibilidade a inundações estão localizadas no norte da sub-bacia, onde predominam os padrões de formas em terraços e planícies. Concomitantemente a isso, apresentam quadras muito impermeáveis, em virtude da alta concentração de estabelecimentos comerciais e industriais.

O MAPA 5 também revela que uma porção significativa da sub-bacia apresenta alta suscetibilidade a inundações, justificando as pesquisas e os estudos técnicos visando solucionar o problema. No entanto, é importante considerar que nem todas as áreas com alta suscetibilidade são atingidas por inundações. Outros parâmetros devem ser acrescentados para que se possa delimitar as áreas mais afetadas pelas inundações, como, por exemplo, a capacidade dos condutos da drenagem urbana.

Ao relacionar os pontos onde há falta de capacidade nos condutos, conforme Porto Alegre (2002), com a base de suscetibilidade a inundações observa-se os seguintes resultados:

- a) **Pontos com baixa suscetibilidade a inundações (Valores de 0 a 50):** Pontos 1, 2, 5, 7, 13 e 19: Estão localizados em áreas com declividade entre 5 e 20% e inseridas predominantemente no compartimento geomorfológico de morros. Mesmo em um evento extremo de precipitação, havendo o transbordamento, as águas irão escoar superficialmente até atingir as áreas mais planas, nos terraços e planícies. As quadras adjacentes ao ponto 13 apresentam TOI elevada, aproximadamente 80%, ainda assim, por maior que seja a deficiência nos condutos desse local, o compartimento geomorfológico não favorece a ocorrência de inundações no cruzamento desses arruamentos. É importante destacar que o comprometimento dos condutos nesses pontos compromete o escoamento da água a jusante. Dessa forma, a ampliação dos condutos nos locais é aconselhável.
- b) **Pontos com média suscetibilidade a inundações (Valores de 50 a 65):** Pontos 4, 6, 8, 9 e 18: Os pontos situam-se na transição geomorfológica entre os terraços colúvio-aluvionar e alúvio-coluvionar. A declividade média, nas adjacências dos pontos, oscila entre 2,5 e 10%. Nessas áreas, apesar de não apresentarem alta suscetibilidade, ocorre inundações em episódios de precipitação mais intensos.



MAPA 5 - Suscetibilidade a inundações e os pontos com falta de capacidade nos condutos

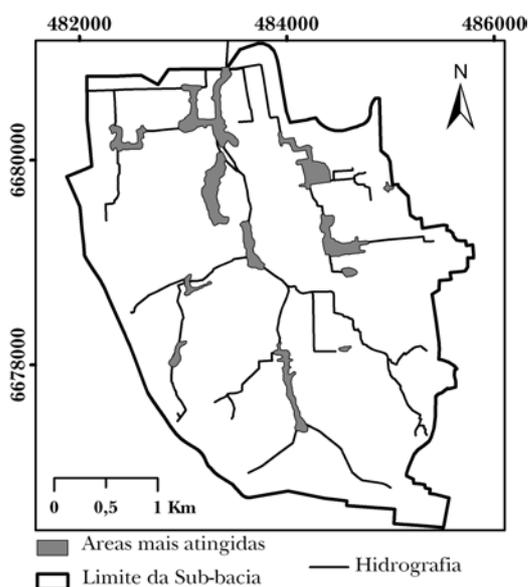
c) **Pontos com alta suscetibilidade a inundações (Valores de 65 a 100):** Pontos 3, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27: Localizam-se predominantemente na planície fluvial e nos terraços aluviais e coluviais. São áreas com baixa declividade, entre 0 e 5%. A TOI nas adjacências dos pontos, em geral, é bastante elevada, muitas vezes acima dos 80%. Esses pontos estão localizados próximos aos principais condutos e canais da sub-bacia, por onde passa grande volume de água drenada dos morros a montante. Quando

há conciliação entre a falta de capacidade nos condutos e a baixa declividade das planícies, as inundações são mais recorrentes.

Sendo assim, constatou-se que alguns dos pontos citados pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) para a Sub-bacia do Arroio da Areia, embora apresentem deficiência no escoamento das águas, situam-se em áreas de baixa a média suscetibilidade a inundações, em virtude de parâmetros como a geomorfologia e a declividade, o

que diminui a probabilidade de ocorrência de inundação.

As áreas suscetíveis a inundações, segundo o mapeamento realizado neste trabalho, onde não há falta de capacidade nos condutos são remotamente atingidas por inundações. Embora, essas áreas estejam localizadas na planície fluvial, com declividades baixas e TOI elevada, o sistema de drenagem comporta o escoamento gerado para um tempo de retorno superior a 10 anos. O **MAPA 6** revela as áreas mais atingidas pelas inundações na sub-bacia, com base na relação entre as áreas mais suscetíveis e os pontos com deficiência no escoamento.



MAPA 6 - Áreas mais atingidas por inundações

Com base no **MAPA 6**, calcula-se que as áreas atingidas por inundações ocupam cerca de 0,59Km², cerca de 5% da área total da sub-bacia.

Alternativas de Controle das Inundações

O Plano Diretor de Drenagem Urbana da sub-bacia estudou três alternativas para o controle das inundações. A primeira prevê a ampliação de toda a rede de forma a dar vazão ao escoamento gerado para um período de retorno correspondente a 10 anos. A segunda estabelece a possibilidade da construção de reservatórios distribuídos ao longo da bacia de forma a promover a detenção dos picos de hidrogramas para chuvas de 10 anos de tempo de retorno. A última prevê a combinação das duas primeiras alternativas. O PDDU avalia que a

alternativa mais adequada para a maior parte da sub-bacia é a segunda, a qual prevê a construção de reservatórios.

O PDDU também prevê a construção de um desvio do escoamento, na porção noroeste da sub-bacia, para um novo conduto, na área próxima ao Supermercado Bourbon Assis Brasil, que levaria as águas para a sub-bacia adjacente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta uma série de contribuições para trabalhos aplicados a recursos hídricos em áreas urbanas, uma vez que utiliza uma metodologia pouco adotada para o estudo de áreas suscetíveis a inundações.

A primeira contribuição diz respeito aos bons resultados obtidos quanto ao uso de dados orbitais para a coleta de informações referentes à impermeabilização e à elevação da superfície. Além de ser um método eficiente do ponto de vista computacional, apresenta vantagens quanto ao custo final do projeto, se comparado com métodos como a aerofotogrametria e campanhas de topografia.

Outra contribuição está relacionada ao mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e à análise realizada sobre as bases digitais. Estas, permitiram obter importantes resultados, que contribuem no entendimento do fenômeno na sub-bacia. Em síntese, a análise da relação entre a suscetibilidade a inundações e a falta de capacidade nos condutos da sub-bacia permitiu identificar os pontos onde há prioridade para uma ação estrutural nos próximos anos, visando a redução do efeito das inundações.

Além disso, as discussões estabelecidas neste trabalho, referentes à espacialização, à contextualização dos problemas e às alternativas de controle das inundações, apresentam uma grande contribuição na tomada de decisões para solucionar os problemas recorrentes dos alagamentos.

Por fim, é importante destacar a importância de validar os resultados obtidos no presente trabalho. Esse procedimento poderá ser realizado com intensivas atividades de campo, de modo a verificar se a base de suscetibilidade a inundações realmente é compatível com o observado pela população local nos episódios de precipitação mais intensa.

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.
- MENEGAT, R. *et al.* Atlas Ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS, 1998.
- 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.
- PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Bacia do Arroio Areia. v. 4. Porto Alegre: UFRGS/IPH, 2002.
- PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Diagnóstico Municipal de Porto Alegre: relatório 6. Porto Alegre: FAURGS, 2004.
- 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.
- SCS. Urban hydrology for Small Watersheds. Washington: U.S. Dept. Agr. (Technical Release, n.55), 1975.
- SILVEIRA, A. L. L. Provável efeito urbano nas relações IDF das chuvas de Porto Alegre. In: TUCCI, C. E. M., MARQUES, D. da M. (Org.) Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2000.
- TUCCI, C. E. M. (Org.) Hidrologia: ciência e aplicação. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.
- TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: EdUFRGS, 2001.
- VALERIANO, M. M. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul, São José

dos Campos, SP. INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p. 2004.

Relationship Between Flood-prone Areas and the Lack of Conduit Capacity in the Arroio da Areia Sub-basin, Porto Alegre, RS

ABSTRACT

This paper aimed at relating flood-prone areas to the lack of capacity of the conduits in the Arroio de Areia Sub-basin drainage system, in Porto Alegre, Rio Grande do Sul, in order to spatialize the critical points which are most often affected by flood events. These events significantly affect the sub-basin area where material losses and damages to public health occur. In this context, geoprocessing is a dynamic resource which allows the manipulation of geographic information, allowing greater analysis and mapping precision according to the objectives of the study. Flood-prone area maps resulted from the conjugated analysis of physical processes, uses and geomorphology. The Geographic Information System (GIS) included the bases of geomorphology, urban drainage, imperviousness and occupation. The spatial analysis of floods in the sub-basin involved the geomorphological, pedological, hydrological characterization, besides land use and soil cover at points where the subsurface conduits lack capacity. This study also attempted to understand the relations between the different appropriations of the surface and the urban floods in the study area. Based on this analysis, 16 of the 27 points with insufficient drainage are in highly flood-prone areas. The other points are generally inserted in geomorphological compartments that do not favor water accumulation, or in more pervious areas according to pedological structure and type of use and soil cover.

Key-words: Flood-prone areas, geoprocessing.