

# **Estimativa do escoamento superficial direto na bacia hidrográfica do rio Atuba/PR/Brasil utilizando um banco de dados espacial**

Alexandro Gularte Schafer

Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

Campus Bagé

alexandro.schafer@unipampa.edu.br

## **RESUMO**

Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta computacional estruturada para armazenar dados alfanuméricos e espaciais da bacia hidrográfica do rio Atuba, PR, Brasil e realizar estimativas de escoamento superficial direto. Para tanto, o método do número de curva do Natural Resource Conservation Service (NRCS) também conhecido como método NRCS-CN foi integrado a um banco de dados espacial, por meio de consultas em linguagem SQL e Spatial SQL. A ferramenta foi construída a partir da análise dos requisitos, passando pela modelagem conceitual, projeto lógico, projeto físico, desenvolvimento de consultas e implementação. O Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) escolhido foi o PostgreSQL, com sua extensão espacial PostGIS. O gvSIG foi utilizado como visualizador do banco de dados. A bacia hidrográfica do rio Atuba, na região metropolitana de Curitiba-PR, foi utilizada para a realização de testes de verificação das funcionalidades da ferramenta. Os resultados preliminares obtidos apontam para uma modelagem conceitual e lógica adequadas. A ferramenta é capaz de quantificar o uso e ocupação do solo, calcular valores médios de impermeabilização e do parâmetro CN e estimar o escoamento superficial direto em uma bacia hidrográfica, para um determinado evento de precipitação.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, banco de dados espacial, NRCS-CN.

## **Agradecimentos**

O autor agradece à FAPERGS pelo incentivo através do auxílio financeiro concedido no âmbito do edital pesquisador gaúcho (PqG) 2013.

## **1. INTRODUÇÃO**

A bacia hidrográfica do rio Atuba vem sofrendo um grande processo de urbanização no decorrer dos últimos trinta anos, sendo considerada como a segunda bacia mais urbanizada de Curitiba e suas imediações (NUNES, 2007). O canal principal, com aproximadamente 32,43 km de extensão possui boa parte do seu percurso e de seus afluentes canalizados, tendo como afluente principal o rio Bacacheri. Segundo Nunes e Fiori (2007), a cidade de Curitiba e seus núcleos marginais apresentam um amplo registro de inundações ao longo de sua história. No período compreendido entre 1911 até os dias atuais, foram registrados diversos episódios pluviais intensos, o que provocou, em determinados lugares, inundações com ocorrência de grande número de desabrigados e incalculáveis danos materiais para o poder público e para a população local. O aumento da urbanização, e conseqüentemente, da impermeabilização, contribui para o aumento da frequência e magnitude dos eventos de inundações na bacia do Atuba. Atualmente estão sendo

realizados estudos visando à execução de obras de contenção de cheias e melhorias no rio Atuba (PMC, 2011).

Na busca pela minimização dos impactos causados pelas alterações na cobertura superficial do terreno nos processos hidrológicos da bacia, é de suma importância entender as consequências dessas alterações em termos de escoamento superficial direto, bem como a integração desse entendimento no planejamento do desenvolvimento da bacia.

A falta de dados fluviométricos consistentes e representativos é um dos maiores problemas enfrentados durante a análise e avaliação do regime hidrológico de bacias hidrográficas brasileiras na atualidade (NUNES e FIORI, 2007). Nesse sentido, os modelos hidrológicos chuva-escoamento podem ser utilizados para estimar o escoamento superficial direto e auxiliar no entendimento e na realização de prognósticos dos principais impactos advindos do processo de urbanização.

Dada a grande quantidade de dados de natureza espacial e não espacial usados para descrever a heterogeneidade de uma bacia hidrográfica e a complexidade de manipulação desses dados, a tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) vêm sendo largamente utilizada a simulação da precipitação efetiva. Nesse contexto, este artigo apresenta os primeiros resultados obtidos quanto ao desenvolvimento do banco de dados espacial que tem como finalidade auxiliar na realização da estimativa do impacto das alterações da cobertura superficial do terreno, no escoamento superficial direto, na bacia hidrográfica do rio Atuba. O banco de dados espacial foi desenvolvido com base no conceito de arquitetura integrada em SIG e no método de integração entre SIG e modelos hidrológicos. O método do número de Curva do NRCS (método NRCS-CN) foi utilizado para a estimativa da precipitação efetiva e dos volumes de escoamento superficial. De acordo com Chow et al. (1988), o método NRCS-CN pode ser aplicado para determinar o incremento na quantidade de escoamento superficial direto originado pela urbanização em uma bacia hidrográfica. Segundo Ebrahimian et al. (2009), a aplicação do método NRCS-CN com SIG facilita a estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas e pode aumentar a exatidão dos dados computados.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

A bacia hidrográfica do rio Atuba (figura 01) faz parte da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu e abrange a porção nordeste do município de Curitiba e partes dos municípios de Almirante Tamandaré, Colombo, Pinhais e São José dos Pinhais.

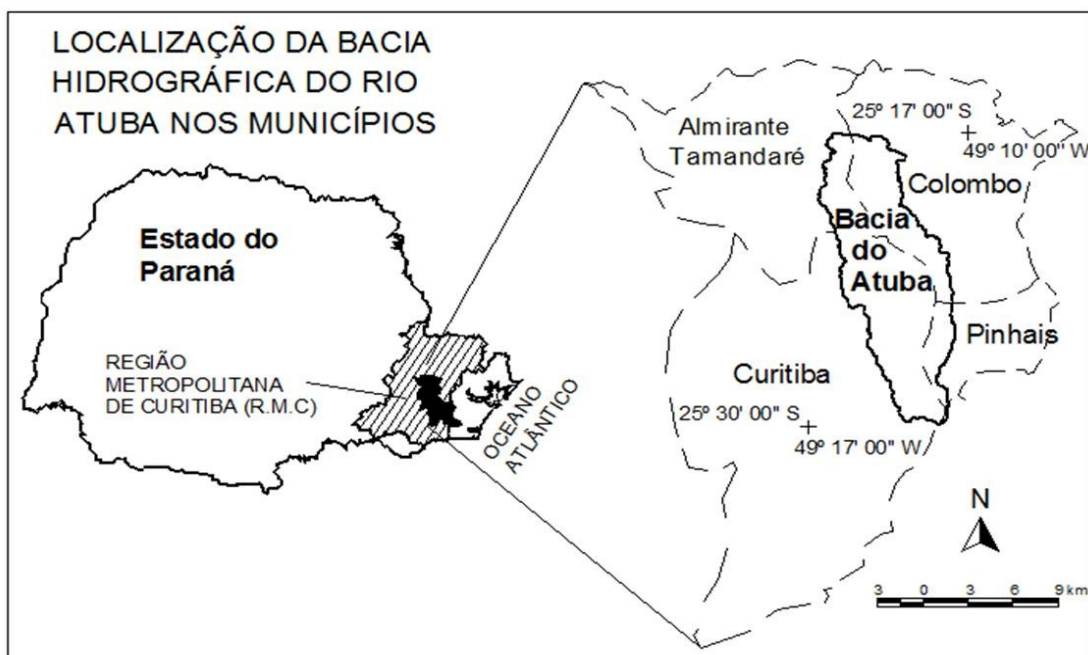


Figura 01: Localização da bacia hidrográfica do rio Atuba.

De acordo com a carta climática do estado do Paraná (Caviglione et al., 2000), a bacia hidrográfica do rio Atuba apresenta clima tipo Cfb (subtropical úmido mesotérmico), conforme a classificação de Köppen, com verões frescos e sem estação seca definida. A temperatura média é de 16,5°C, sendo a média para o mês mais frio de 12,6°C e para o mês mais quente igual a 20,1°C (IPEA, 2001). As chuvas são bem distribuídas, a precipitação pluviométrica média anual está na faixa de 904mm a 1451mm (Miranda, 2001).

Os latossolos são predominantes na área da bacia, com perfis profundos, textura argilosa, bem porosos e drenados. Localizam-se principalmente nas regiões das declividades menos acentuadas, onde os depósitos das encostas são mais espessos. Nas áreas das maiores declividades ocorrem os Cambissolos, que também são solos com textura argilosa, bem porosos e drenados, porém, com perfis de menor profundidade. Ao longo das margens do rio principal e junto a sua foz, são verificados os solos hidromórficos e orgânicos (Nunes, 2007).

## 2.2 Método

O processo de desenvolvimento do banco de dados seguiu as seis fases do projeto e do processo de implementação de um banco de dados, definidas por Elmasri e Navathe (2005): a) levantamento e análise de requisitos; b) projeto conceitual do banco de dados; c) escolha de um SGBD; d) mapeamento do modelo de dados (projeto lógico do banco de dados); e) projeto físico do banco de dados; f) implementação do sistema de banco de dados. Acrescentou-se o desenvolvimento das consultas como uma sétima fase nesse processo.

A modelagem conceitual foi realizada utilizando-se as técnicas do modelo entidade-relacionamento (E-R), com base na análise semântica das variáveis envolvidas na verificação das características de uma bacia hidrográfica e na estimativa do escoamento superficial direto.

Os requisitos levados em consideração na escolha do Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) foram: possuir extensão espacial, ser um software gratuito, possuir sólida documentação, estar sendo usado com sucesso em empreendimentos, existir a possibilidade clara de continuidade de utilização e de desenvolvimento da tecnologia. Com base nesses requisitos, o SGBD escolhido para implementar o banco de dados espaço-temporal foi o PostgreSQL com sua extensão espacial PostGIS.

A fase de projeto lógico consistiu no mapeamento do modelo conceitual para o Sistema

Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL. O resultado do projeto lógico foi um esquema do banco de dados no modelo de dados de implementação do SGBD. O projeto lógico foi desenvolvido no software MicroOLAP Database Design for PostgreSQL, que é um sistema de projeto de banco de dados que integra projeto, modelagem, criação e manutenção em um único ambiente.

Na fase de projeto físico, a estrutura definida no projeto lógico foi implementada para o SGBD PostgreSQL. Utilizando linguagem SQL e SQL Spatial, foram desenvolvidos os scripts para a criação das tabelas e restrições definidas na fase de projeto lógico. Os softwares usados no projeto físico foram o pgAdmin III e o RazorSQL.

As consultas ao banco de dados foram desenvolvidas utilizando linguagem SQL e SQL spatial. No quadro 01, apresenta-se alguns exemplos de scripts de consultas desenvolvidos para calcular os principais parâmetros do método NRCS-CN e estimar a precipitação efetiva. Esses scripts fazem uso de funções geométricas, operadores matemáticos e funções construtoras agregadas da linguagem SQL.

Quadro 1: Operações utilizadas na verificação das características da bacia hidrográfica e na estimativa do escoamento superficial direto.

| Tarefa  | Fórmula   | Operação  |
|---|---|---|
| Calcular o CN médio na bacia em um determinado cenário                                    | $\bar{CN} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times CN_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$ (1)          | <pre>SELECT SUM(CN*ST_AREA(ST_INTERSECTION(cg .geom_cst, sg.geom_solos)))/SUM(ST_AREA(bacia_gm) )</pre>         |
| Calcular o escoamento superficial direto para uma URH                                     | $P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a}$ (2)<br>$S = \frac{25400}{CN} - 254$ (3) | <pre>SELECT ((P-(λ*((25400/CN)-254)))^2/ (P+(25400/CN)-254)-(λ*((25400/CN)-254)))</pre>                         |
| Calcular o volume de escoamento superficial direto para uma determinada área de interesse | $Q = \sum_{i=1}^n A_i \times P_{e_i}$ (4)                                       | <pre>SELECT SUM(st_area(geom_urh)* ((P-(λ*((25400/CN)-254)))^2/(P+(25400/CN)- 254)-(λ*((25400/CN)-254))))</pre> |

Para a implementação do BDE, os seguintes dados, documentos e produtos cartográficos foram utilizados:

- Arquivo shapefile ‘[sub-bacias do Alto Iguaçu](#)’, na escala 1:10.000, do ano de 2000. Fonte: Instituto das Águas do Paraná (2000);
- Arquivo shapefile ‘[hidrografia da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu](#)’, na escala 1:10.000, do ano de 2000. Fonte: Instituto das Águas do Paraná (2000);
- Mapa de cobertura superficial do terreno da bacia hidrográfica do rio Atuba de 2000, confeccionada por Nunes (2007) a partir das fotografias aéreas coloridas da Cobertura aerofotogramétrica da Região Metropolitana de Curitiba do ano de 2000, na escala de voo 1:30.000;
- Mapa de grupo hidrológico de solos da bacia hidrográfica do rio Atuba. Escala 1:150.000, confeccionada por Schäfer (2012);

- Dados de precipitação: O volume de precipitação adotado para a estimativa do escoamento superficial direto foi obtido a partir da equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) elaborada por Frenlich (2000) (equação 5). Essa equação foi obtida pelo autor através da análise dos dados de precipitação da estação do Prado Velho (Curitiba-PR) registrados entre os anos de 1981 a 1999. A equação é válida para chuvas com duração de 10 min a 24 horas.

$$i_m = \frac{5726,64 \cdot T_r^{0,159}}{(t_d + 41)^{1,041}} \quad (5)$$

Onde,  $i_m$  é a intensidade máxima média da chuva (em mm/h),  $T_r$  é o período de retorno (em anos) e  $T_d$  é o tempo da duração da chuva (em minutos).

Para a estimativa do escoamento superficial no presente estudo, adotou-se um tempo de duração de 120 min e tempo de retorno de 25 anos. Estes foram os parâmetros utilizados no plano diretor de drenagem urbana da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) e em SUDERHSA (2007), para o estudo do agravamento de inundações na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu.

### 3. RESULTADOS PRELIMINARES

#### 3.1 Verificação das características da bacia hidrográfica

Foram desenvolvidas uma série de consultas para verificar a capacidade do banco de dados desenvolvido em calcular a área ocupada por cada classe de cobertura superficial do terreno, por cada grupo hidrológico de solos e a taxa de impermeabilização média na bacia hidrográfica do rio Atuba, referentes ao mapeamento existente do ano de 2000. As classes de cobertura superficial do terreno, bem como as suas taxas médias de impermeabilização, adotadas foram as definidas por Nunes (2007), visando a aplicação do método NRCS-CN. Os resultados dessas quantificações são apresentados na figura 2 e na figura 3, respectivamente.

|   | oid_cst<br>character | classe<br>character varying(70)         | area<br>numeric(10,2) | und<br>unkno |
|---|----------------------|---|-----------------------|--------------|
| 1 | 1                    | edificado muito denso                   | 9.40                  | km2          |
| 2 | 2                    | edificado nao muito denso               | 18.66                 | km2          |
| 3 | 3                    | edificado com superficies livres        | 17.68                 | km2          |
| 4 | 4                    | edificado com muitas superficies livres | 15.16                 | km2          |
| 5 | 5                    | areas industriais e comerciais          | 8.11                  | km2          |
| 6 | 6                    | campos e areas verdes                   | 27.00                 | km2          |
| 7 | 7                    | areas florestais e vegetacao densa      | 30.68                 | km2          |
| 8 | 8                    | massa dagua                             | 0.51                  | km2          |
| 9 | 9                    | corpo dagua                             | 0.29                  | km2          |

Figura 2: quantificação da cobertura superficial do terreno na bacia hidrográfica do rio Atuba.

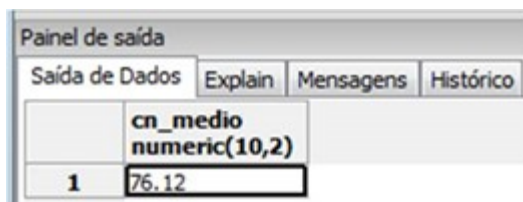
| Painel de saída |                           |                |
|-----------------|---------------------------|----------------|
| Saída de Dados  |                           |                |
|                 | taxa_imp<br>numeric(10,2) | und<br>unknown |
| 1               | 29.20                     | %              |

Figura 3: taxa de impermeabilização média na bacia hidrográfica

### 3.2 Estimativa da precipitação efetiva

Foram desenvolvidas consultas para verificar a capacidade do banco de dados desenvolvido em: a) calcular o valor do parâmetro CN médio para a bacia hidrográfica; b) calcular a precipitação efetiva e tornar possível a visualização de sua distribuição espacial e; c) calcular o volume total de escoamento superficial, referentes ao mapeamento existente do ano de 2000 e considerando a precipitação acumulada de 96,32mm.

A figura 4 apresenta o resultado da consulta para o cálculo do parâmetro CN médio na bacia hidrográfica do rio Atuba.

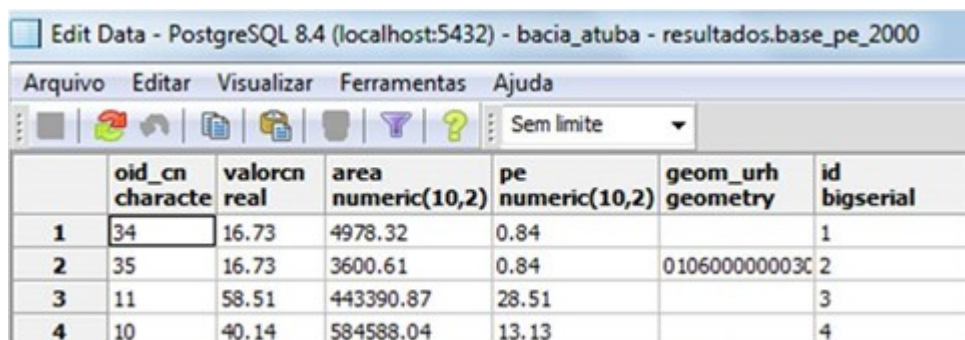


The screenshot shows a window titled 'Painel de saída' (Output Panel) with tabs for 'Saída de Dados', 'Explain', 'Mensagens', and 'Histórico'. The main content area displays a table with the following data:

|   | cn_medio<br>numeric(10,2) |
|---|---------------------------|
| 1 | 76.12                     |

Figura 4: CN médio na bacia hidrográfica no ano de 2000.

Na figura 5, apresenta-se parcialmente a visão (tabela) gerada pela consulta para o cálculo da precipitação efetiva em cada unidade de recurso hidrológico (URH). Nesta consulta, inicialmente são definidas as URHs da bacia hidrográfica, a partir de uma operação de sobreposição espacial entre as entidades 'cobertura superficial do terreno' e 'grupo hidrológico de solos'. Em seguida, é atribuído um valor de CN para cada URH. Com base nesse valor e com a precipitação acumulada considerada, é realizado o cálculo da precipitação efetiva referente a cada uma dessas unidades de recurso hidrológico. Essa consulta também adiciona à visão criada no banco de dados, a informação sobre a geometria das URHs, possibilitando a sua visualização no software gvSIG. A visualização da tabela da figura 5 é apresentada na figura 6, onde os valores de precipitação efetiva são agrupados em classes, em intervalos de 15mm.



The screenshot shows a window titled 'Edit Data - PostgreSQL 8.4 (localhost:5432) - bacia\_atuba - resultados.base\_pe\_2000'. The table displayed has the following data:

|   | oid_cn<br>characte | valorcn<br>real | area<br>numeric(10,2) | pe<br>numeric(10,2) | geom_urh<br>geometry | id<br>bigserial |
|---|--------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------|
| 1 | 34                 | 16.73           | 4978.32               | 0.84                |                      | 1               |
| 2 | 35                 | 16.73           | 3600.61               | 0.84                | 0106000000030        | 2               |
| 3 | 11                 | 58.51           | 443390.87             | 28.51               |                      | 3               |
| 4 | 10                 | 40.14           | 584588.04             | 13.13               |                      | 4               |

Figura 5: precipitação efetiva em cada unidade de recurso hidrológico (URH).



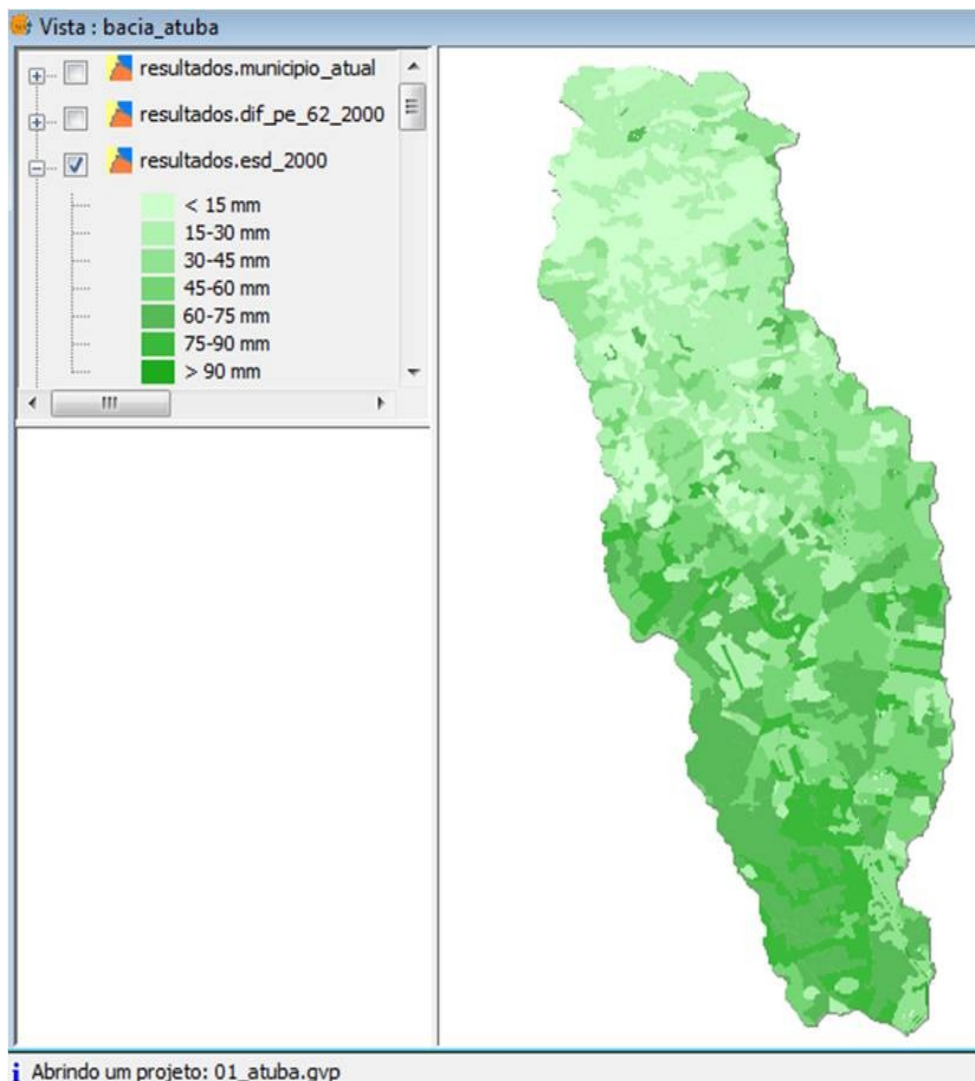


Figura 6: visualização da visão da figura 05 no software gvSIG

O resultado da consulta que realiza o cálculo do volume total de escoamento superficial produzido na bacia hidrográfica, considerando o evento de chuva citado anteriormente, é apresentado na figura 7.

| Painel de saída |                                      |                                    |                              |           |
|-----------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------|
| Saída de Dados  |                                      | Explain                            | Mensagens                    | Histórico |
|                 | <b>bacia_hidro</b><br><b>unknown</b> | <b>vpe</b><br><b>numeric(10,2)</b> | <b>und</b><br><b>unknown</b> |           |
| <b>1</b>        | Atuba                                | 5.49                               | hm3                          |           |

Figura 7: volume de escoamento superficial na bacia hidrográfica

#### 4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O banco de dados espacial desenvolvido foi capaz de armazenar, processar, gerenciar e analisar os dados espaciais e alfanuméricos referentes a cobertura superficial do terreno e aos solos na bacia hidrográfica do rio Atuba, possibilitando que a precipitação efetiva fosse estimada a partir das consultas desenvolvidas. Portanto, é um banco de dados funcional.

A integração entre o banco de dados espacial e o modelo hidrológico facilitou o processo de modelagem do escoamento superficial direto, eliminando os problemas advindos da manipulação de dados em diferentes ambientes computacionais, muitas vezes incompatíveis e que podem gerar erros, inconsistências e até mesmo inviabilizar determinado tipo de operação.

Deve-se ter em mente que trabalhar com SIG e modelos de simulação ambiental não consiste apenas em reunir um software e um hardware, coletar alguns dados, reunir tudo e resolver problemas. Embora a utilização conjunta destas tecnologias venha auxiliando na realização de estudos em diversas áreas, o usuário deve estar apto a analisar de maneira crítica o que está fazendo e que resultados está obtendo. É importante não se deixar envolver somente com visualizações em mapas e gráficos, pois muitas vezes elas ofuscam as questões conceituais envolvidas na integração de SIG com os modelos de simulação ambiental.

A próxima etapa prevista no desenvolvimento do banco de dados espacial é a adaptação do modelo conceitual para possibilitar a realização de quantificações de cobertura superficial do terreno e estimativas de precipitação efetiva em nível de município. Desta maneira, será possível estimar e comparar o volume de escoamento superficial produzido nas áreas referentes a cada município que compõe a bacia hidrográfica do rio Atuba, em um determinado evento de precipitação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. *Série saneamento para todos: gestão de águas pluviais urbanas - 4º volume*. Brasília: Ministério das cidades, 2006.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied Hydrology*. Singapore: McGraw-Hill, 1988.

EBRAHIMIAN, M.; SEE, L.; ABDUL MALEK, I. Application of Natural Resource Conservation Service - curve number method for runoff estimation with SIG in the Kardeh watershed, Iran. *European Journal of Scientific Research*, v. 34, n. 4, p. 575-590, 2009.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. *Sistemas de banco de dados*. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2005.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P. A utilização do método de Ven Te Chow - Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio Atuba. *Geografar*, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 139-155, 2007.

NUNES, F. G. *A influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do rio Atuba*. Tese. Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA - PMC. Prefeitura e governos juntos no combate a enchentes. *site da Prefeitura Municipal de Curitiba*, 2011. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/prefeitura-e-governo-juntos-no-combate-a-enchentes/22860>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

SCHÄFER, A. G. Um banco de dados espaço-temporal para o monitoramento e modelagem do escoamento superficial em bacias hidrográficas no contexto do planejamento urbano. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 2012.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL - SUDERHSA. Plano da bacia do Alto Iguaçu e seus afluentes: Relatório de diagnóstico. SUDERHSA. Curitiba. 2007.