

# UMA ABORDAGEM PRELIMINAR PARA INTEGRAÇÃO DE SIG E MODELOS HIDROLÓGICOS COMO SUPORTE AO GERENCIAMENTO INTEGRADO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.

SILVIO JORGE COELHO SIMÕES

Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT)  
Departamento de Engenharia Ambiental, São José dos Campos, SP  
silvio.simoes@ict.unesp.br

**RESUMO** - Dados hidrológicos são inerentemente espaciais e temporais e necessitam ser avaliados de forma integrada. Neste sentido, a interação entre SIGs e modelos hidrológicos tem sido uma tendência nos últimos anos buscando alternativas de combinar dados de diferentes naturezas (topográficos, climatológicos e hidrológicos) em um mesmo ambiente de análise. Este trabalho discute a integração entre GIS e modelos hidrológicos e apresenta um estudo de caso que corresponde à parte superior da bacia Paraíba do Sul (porção de São Paulo) situado no Sudeste do Brasil. O estudo de caso apresentado neste artigo tem um banco de dados que é adequado para a dimensão da bacia incluindo mapas topográficos digitalizados em escala 1:50.000. Neste projeto foi utilizado o ArcGIS®/ArcHydro FrameWork Model Data onde foi criada uma rede de dados topológica para produzir diferentes produtos matriciais. O primeiro mapa derivado do Modelo Digital de Elevação (MDE) foi o mapa direção de fluxo seguido pelo mapa de acumulação de fluxo e mapa de sub-bacias. Os próximos passos desta pesquisa devem incluir os diferentes reservatórios multiusos situados ao longo do rio Paraíba do Sul e incorporar dados de séries temporais de chuvas no ArcHydro com o objetivo de construir um modelo de dados hidrológicos dentro de um ambiente SIG a fim de produzir um modelo completo espaço-temporal.

**ABSTRACT** - Hydrological data are inherently spatial and temporal and need to be assessed in an integrated way. In this sense, the interaction between GIS and hydrological models has been a trend in recent years searching alternatives to combine data from different natures (topographic, climatological and hydrological) in a unique environment. This paper discusses the integration between GIS and hydrological models and presents a case study that corresponds to the upper portion of the Paraíba do Sul basin located in the southeastern Brazil. The study area has a database that is suitable for the dimension of the basin including digitized topographic maps at 1:50,000 scale. We used the ArcGIS®/ArcHydro FrameWork Model Data where was, initially, created a topological network data to produce different matrix products. The first map produced from Digital Elevation Model (DEM) was the flow direction map followed by the flow accumulation and catchment maps. The next steps of this research will include the multi-purpose reservoirs along the Paraíba do Sul river and will include the rainfall time series in GIS/ArcHydro environment to build a comprehensive spatio-temporal hydrological model in order to contribute to the integrated water resource management of the Paraíba do Sul basin.

## 1. INTRODUÇÃO

O ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) não foi inicialmente projetado para avaliar questões relacionadas aos recursos hídricos; ainda que os fenômenos hidrológicos variem no espaço e no tempo, a sua evolução ocorreu com ênfase na análise estatística dos processos temporais e a análise espacial tem sido tratada de forma secundária. Além disto, os dados hidrológicos são essencialmente estocásticos e necessitam de calibração em face das incertezas inerentes do ciclo hidrológico. Neste sentido, a análise dos recursos hídricos necessita de modelos com forte componente quantitativa e que possam avaliar o fluxo da água em diferentes regiões de uma bacia hidrográfica.

Fenômenos hidrológicos são, portanto, uma forma de abordagem espaço-temporal e os SIGs representam um ambiente essencial para colocar, integradamente, componentes geoespaciais - como dados topográficos e do solo - e dados de séries temporais - como precipitação, vazão e hidrosedimentos. Por esta razão, os modelos distribuídos ao tentar representar a variabilidade espacial dos processos hidrológicos de determinada bacia são mais condizentes com a realidade do que aqueles modelos que não levam em conta a diversidade topográfica e representam a bacia como uma unidade homogênea (Clark, 1999).

Uma das principais limitações para usar modelos hidrológicos distribuídos na gestão dos recursos hídricos é a falta de dados detalhados especialmente os de natureza cartográfica. Diferentes modelos hidrológicos distribuídos (por exemplo o TOPMODEL) usam Modelos Digitais de Elevação (MDE) como uma entrada principal e são essenciais para se estabelecer a integração entre SIG e modelagem hidrológica. Entretanto, em muitas regiões do Brasil, não existem dados topográficos consistentes que poderiam fornecer informações detalhadas sobre as características geomorfológicas de uma determinada bacia hidrográfica. Porém a partir da disponibilidade das imagens SRTM pela NASA tornou-se possível a disponibilização de dados topográficos com uma resolução compatível (30 metros) a representação de bacias hidrográficas no país em escala regional.

Diferentes modelos hidrológicos distribuídos foram desenvolvidos para operar dentro de um SIG e podem variar significativamente dependendo de sua finalidade. Como exemplo, o modelo ArcHydro foi desenvolvido para a construção de sistemas de informação hidrológica para integrar dados sobre recursos hídricos geoespaciais e temporais que possam ser utilizados para a gestão integrada dos recursos hídricos (Maidment , 2002). Este modelo tem sido utilizado para diferentes aplicações como a análise de cheias, integração de dados de chuva e vazão e extração de fluxo de dados LIDAR ou DEM (Ramroop , 2005; Colson et al , 2006; . Kawasaki et al , 2008a , 2008b).

Neste trabalho se utiliza, como estudo de caso, a bacia do rio Paraíba do Sul a qual se constitui uma das mais importantes do país ligando as suas duas principais cidades (São Paulo e Rio de Janeiro). esta bacia possui um processo complexo de gestão que precisa atender interesses, muitas vezes conflitantes, dos três principais estados do país (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais). Apesar disto, o processo de gestão dos recursos hídricos não tem levado em consideração uma análise que leve em conta a integração dos dados espaciais e temporais disponíveis.

Portanto, o principal objetivo deste trabalho foi aplicar um modelo geo-espacial preliminar explorando as potencialidades de integração entre um SIG (ArcGIS) utilizando um modelo hidrológico distribuído (ArcHydro). Os resultados apresentados correspondem à primeira parte da pesquisa para estabelecer um modelo espaço-temporal utilizando uma versão simplificada do ArcHydro (designado *ArcHydro Framework*) no sentido de produzir diferentes mapas derivados de um Modelo Digital de Elevação e que serão posteriormente utilizados como suporte para elaboração de cenários futuros de uso e disponibilidade dos recursos hídricos superficiais.

## 2. METODOLOGIA DO TRABALHO

### 2.1. Área de Estudo

A área de estudo corresponde a porção superior da bacia do rio Paraíba do Sul (porção do Estado de São Paulo) cobrindo uma área de aproximadamente 14.500 km<sup>2</sup> (CEIVAP , 2011) . O rio Paraíba do Sul tem 1.145 km<sup>2</sup> de comprimento e drena 55.400 km<sup>2</sup> dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (Figura 1) .

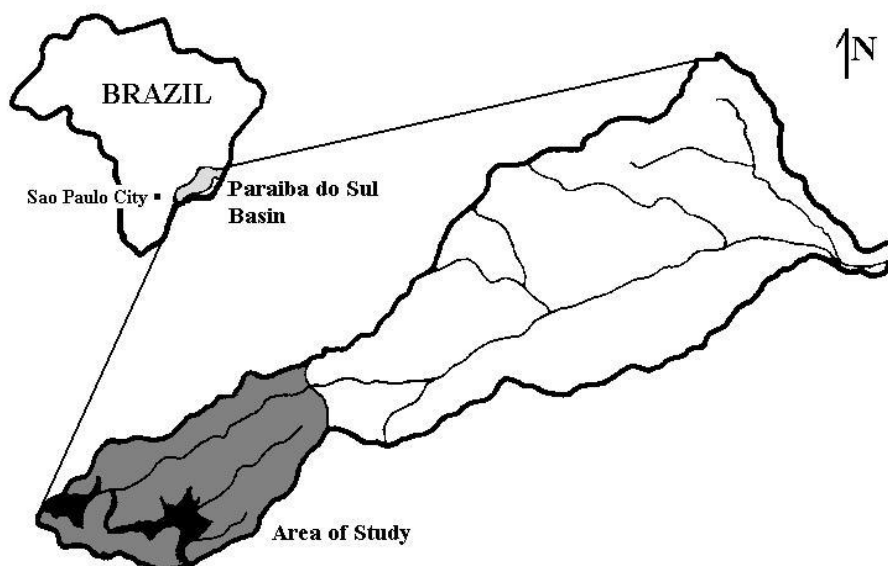


Figura 1 - Área de estudo

A bacia do rio Paraíba do Sul tem uma grande importância na história, cultura e economia do Brasil, com elevadas taxas de urbanização e atividades industriais ao longo do rio Paraíba do Sul. A bacia é caracterizada pela heterogeneidade geomorfológica, pedológica e hidrológica com altitudes variando de cerca de 400 m nas planícies aluviais-se a mais de 2.400 m no cume da montanha Mantiqueira. A paisagem é formada por um mosaico complexo de pastagens, floresta e áreas urbanas. A população do Paraíba do Sul corresponde a cerca de 6,4 milhões em 2010 e representa um enorme crescimento nos últimos anos (CEIVAP, 2011).

Devido à sua posição geográfica estratégica, reservatórios de uso múltiplo (geração de energia elétrica, controle de enchentes e regulação de fluxo) foram construídos pela primeira vez na década de 1950 e mais tarde na década de 1970. Desde 1952, um sistema de transposição leva água do rio Paraíba do Sul para a bacia do Rio Guandu, no estado do Rio de Janeiro. Cerca de 8,7 milhões de pessoas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro dependem de seus recursos para o abastecimento de água. Na área de estudo, a média de vazão do rio é  $217\text{m}^3/\text{s}$  os maiores retiradas de água são feitas para irrigação agrícola ( $10,4\text{ m}^3/\text{s}$ ), seguido pelo uso industrial, de  $6,5\text{ m}^3/\text{s}$  e uso doméstico, de  $3,4\text{ m}^3/\text{s}$  (São Paulo Governo do Estado, 2012). Portanto, o Rio Paraíba do Sul é um exemplo de uma gestão complexa dos recursos hídricos multiusos que liga a produção de energia hidroelétrica ao uso da água agrícola, industrial e doméstico.

Em 2001, uma seca severa foi responsável pela grave redução nos níveis de água nos reservatórios das muitas usinas hidrelétricas brasileiras (SIMÕES & BARROS, 2007). O período de escassez de água permaneceu até 2004. Em contraste, a partir de 2009, inicia-se um novo período o chuvoso. Em janeiro de 2010, São Luís do Paraitinga, uma pequena cidade localizada a cerca de 200 km de São Paulo, foi devastada por uma enchente e teve destaque na mídia nacional. A partir de 2014, um novo período de seca se inicia comprometendo a disponibilidade dos reservatórios do sudeste brasileiro para atender ao abastecimento doméstico. Portanto, a região apresenta um elevado grau de incerteza na avaliação a longo prazo dos recursos hídricos com uma elevada variabilidade intra e inter- anual da precipitação com sérias consequências para atender a disponibilidade hídrica para a região.

## 2.2. Procedimento Metodológico

Como já mencionado anteriormente, a relação entre ArcGIS e ArcHydro representa um exemplo de modelo de integração porque todas as tarefas são desenvolvidas no interior do ambiente SIG. Neste aspecto, o ArcHydro contrasta com outros modelos hidrológicos que operam fora de um ambiente SIG e possuem pouca interação com um ambiente de análise geoespacial.

Para implementar um projeto no ArcHydro é necessário, antes de tudo, coletar dados e criar um *geodatabase* em que todos os objetos (classes de feição, tabelas) serão armazenados em um formato vetorial que permite operações topológicas. Durante este processo, é importante selecionar um sistema de projeção adequado que irá representar adequadamente diferentes áreas geográficas da bacia de interesse.

O primeiro passo na modelagem hidrológica é o de estabelecer uma área limite, no caso o contorno da bacia hidrográfica. Como o modelo é distribuído, em que o pressuposto é descrever processos de fluxo em cada ponto dentro da área selecionada, é necessário um modelo digital de elevação consistente (DEM) para delinear a drenagem e para estimar os parâmetros relacionados com a topografia. Nesta pesquisa foi utilizado o mapa topográfico do Estado de São Paulo em escala 1:50.000 o qual se encontra digitalizado e em formato *geodatabase*. Inicialmente se criou uma superfície TIN (Figura 2a) utilizando ferramentas de análise espacial disponíveis no ambiente SIG. O modelo raster (MDE) foi gerado a partir do TIN e foi utilizado como entrada do modelo no ArcHydro.

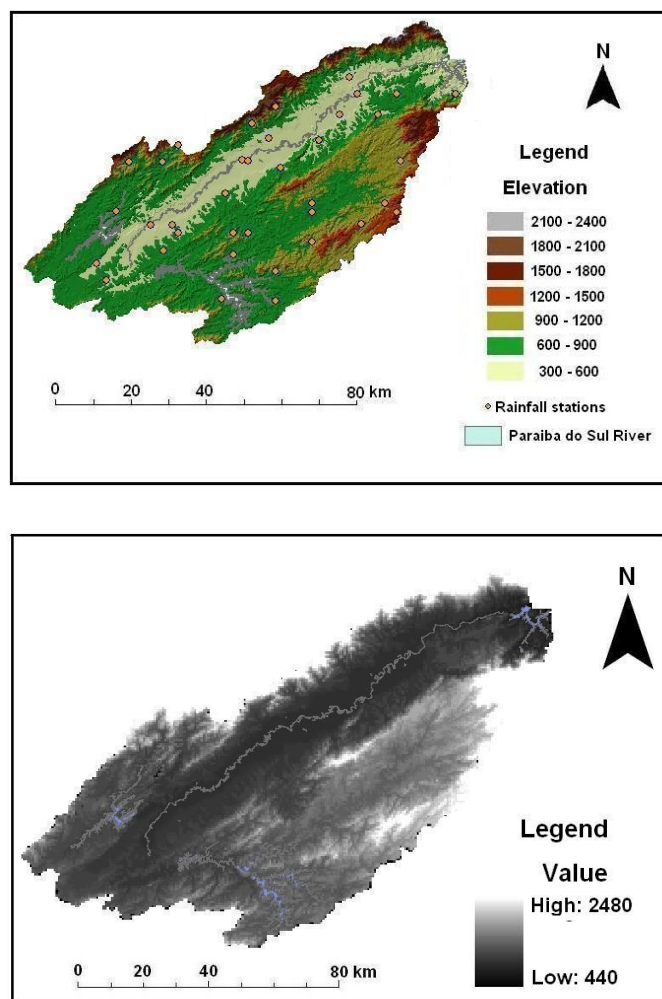


Figura 2 – (a) Modelo TIN; (b) Modelo Digital de Elevação (MDE)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro mapa obtido a partir do MDE é o mapa de direção do fluxo (Figura 3a). Este mapa consiste em estabelecer valores que indicam para qual célula vizinha a água vai fluir. Todo o processo é derivado da premissa de que a água flui de acordo com o modelo de oito direções em relação ao Norte (Oliveira et al., 2000). O MDE deve ter suficiente precisão de medição de elevação, é importante observar, para apoiar a determinação da direção de fluxo corretamente. Por outro lado, grandes extensões de áreas planas podem dificultar a aplicação do modelo nestas áreas de baixíssimas declividades. A bacia do rio Paraíba do Sul poderia ser um exemplo desta situação onde a várzea associado com o rio Paraíba do Sul ocupa uma área expressiva no meio da bacia, como pode ser visto na Figura 3a.

O mapa de acumulação do fluxo é calculado a partir do mapa de direção de fluxo. Como destacado por Oliveira et al. (2000) a partir do ponto de vista físico, a acumulação de fluxo corresponde a área de escoamento medido em unidades de células. Portanto, ele indica quantas células estão a montante de um determinado local. A acumulação de fluxo pode ser utilizada - juntamente com a direção do fluxo, o comprimento do fluxo e declividade - para estabelecer áreas com tendência a inundação (Kraus, 2000; Chen et al., 2003). O mapa de acumulação de fluxo para a bacia do rio Paraíba do Sul mostra, claramente, a dinâmica fluvial da área de estudo e a complexidade do sistema de drenagem da bacia onde o rio Paraíba do Sul muda de direção na região de Guararema e volta a correr na mesma direção mas em sentido oposto (Figura 3b). Os valores de células são designadas como 1, onde ocorre fluxo de água e *NoData* nas demais áreas. Portanto, todas as células de fluxo são designadas de forma idêntica, com um valor de 1 conforme mostra a Figura 3b.

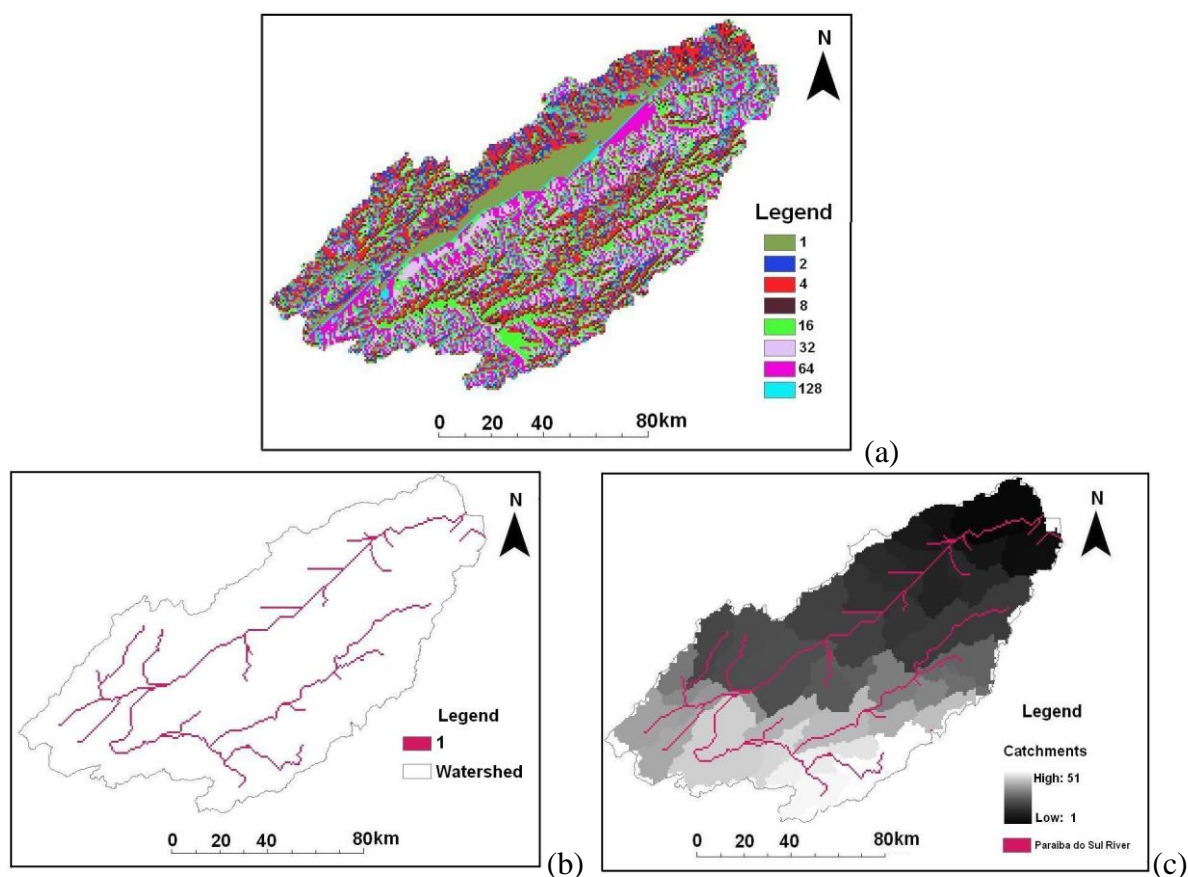


Figure 5 – (a) The flow direction grid of the Paraíba do Sul basin ; (b) Drainage lines; (c) Catchment delineation

Finalmente, foi realizada a delimitação das sub-bacias hidrográficas para a área de estudo (Figura 3) onde se observa que, para cada linha de acumulação de fluxo, o ArcHydro estabelece apenas uma única sub-bacia. Esta grade raster pode ser convertida, posteriormente, em um conjunto de polígonos utilizando as funções de conversão raster-vetor em ambiente SIG e integrado com outros mapas vetoriais temáticos disponíveis para a região como mapas geológicos, geomorfológicos e pedológicos.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho procura mostrar as possibilidades de trabalhar na interface entre SIGs e modelagem matemática o qual se constitui em uma das fronteiras de avanço das geotecnologias integrando abordagens metodológicas distintas e aproximando pesquisadores com formação em recursos hídricos e análise geoespacial.

A análise, ainda que preliminar, mostrou que a interação SIG e modelos hidrológicos em um mesmo ambiente possibilita aumentar a flexibilidade para extração de redes hidrológicas utilizando tanto arquivos com formatos topológicos (geodatabase) quanto arquivos raster gerados a partir de mapas topográficos consistentes.

Os próximos passos desta pesquisa são: a) incluir a localização dos reservatórios polivalentes situadas ao longo do rio Paraíba do Sul; b) incorporar dados de séries temporais de precipitação para construir modelos de chuva-vazão dentro de um ambiente GIS, a fim de produzir um modelo espaço-temporal que possa contribuir para que os comitês de bacias hidrográficas regionais possam tomar decisão em relação a disponibilidade hídrica disponível.

#### Referências Bibliográficas

CEIVAP **Bacia do Rio Paraíba do Sul – Subsídios às ações de melhoria da gestão 2011**. Technical Report, Resende, AGEVAP/CEIVAP. 2011.



- CHEN, Y., HU, J. and YU, J., A flash flood forecast model for the Three Gorges basin using GIS and remote sensing. **IAHS publication**, n. 282, 2003.
- CLARK, M. Putting water in its place: A perspective on GIS in hydrology and water management. In: A.M. Gurnell and D.R. Montgomery (eds.) **Hydrological application of GIS**. Chichester, John Wiley, p. 3-14, 1999.
- COLSON, T.P.; GREGORY, J.D.; MITASOVA, H.; NELSON, S. Comparison of stream extraction models using LIDAR DEMs. **AWRA Spring Conference**, Houston, May 2006.
- KAWASAKI, A.; TAKAMATSU, M.; HE, J.; ROGERS, P. Potential impact of precipitation and land-cover changes on stream flow in Srepok River Basin in Vietnam and Cambodja: An analysis process for local level water resources adaptation. November 2008, **ABCD-GIS Working Groups**, Harvard University, 2008a.
- KAWASAKI, A.; HERATH, S.; MEGURO, K. Developing a universal water resource assessment model for sustainable water security: The case of Kanagawa Basin, Japan and the Mekong River Basin. November 2008, **ABCD-GIS Working Groups**, Harvard University, 2008b.
- KRAUS, R.A. Floodplain determination using ArcView GIS and HEC-RAS. In: D. Maidment and D. Djokic (eds.) **Hydrologic and Hydraulic. Modeling support**. Redland, ESRI Press, p. 177-189, 2000.
- MAIDMENT, D.R **ArcHydro. GIS for water resources**. Redland, ESRI Press, 2002.
- OLIVEIRA, F., FURNANS, J., MAIDMENT, D., DJOKIC, D.; YE, Z. Drainage systems. In: D.R.Maidment (ed.) **ArcHydro. GIS for water resources**. Redlands, ESRI Press, p. 55-86, 2000.
- RAMROOP, S. Flooding analysis strategy using GIS. **2005 ESRI International User Conference**, San Diego, 2005.
- SIMOES, S.J.C. AND BARROS, A.P., Regional climate variability and its effects on Brazil's 2001 energy crisis. **Management Environment Quality**, v.18, n. 3, p. 263-273, 2007.