

UMA PROPOSTA DE MODELAGEM DE DADOS GEOGRÁFICOS PARA HIDROLOGIA

Elizabeth Guelman Davis¹ e Clodoveu Augusto Davis Jr.¹

Resumo - O artigo propõe uma abordagem de sistemas de informação geográfica para o problema de gerenciamento de bancos de dados hidrológicos. Uma proposta de modelagem de dados geográficos para hidrologia é apresentada e discutida. São também apresentadas uma alternativa de implementação utilizando um sistema simples de *desktop mapping*, e descritas algumas das diversas aplicações viáveis.

Abstract - This article proposes a geographic information systems approach to the hydrological database management problem. A proposal for geographic data modeling for hydrology is presented and discussed. An implementation alternative, using a simple desktop mapping software, is described, along with some of the various viable applications.

Palavras-Chave - Sistemas de Informação Geográfica, Modelagem de Dados Espaciais, Bancos de Dados Hidrológicos

INTRODUÇÃO

A hidrologia é uma ciência que depende maciçamente da utilização de dados empíricos sobre o ciclo da água. Estes dados, tradicionalmente coletados em pontos discretos da superfície terrestre, vêm sendo reunidos e armazenados ao longo do tempo pelas agências governamentais cuja atividade requer uma melhor capacidade de compreensão e previsão do

¹ GeoPro Informática, Rua Alagoas, 314/1501 - 30130-160 - Belo Horizonte - MG
e-mail: clodoveu@unix.horizontes.com.br

comportamento das bacias hidrográficas. Em nosso país, esta atividade está principalmente a cargo das empresas geradoras de energia elétrica, e de órgãos do governo federal como a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, sucessora do DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica.

A melhor utilização destes dados por empresas e órgãos ligados à área de recursos hídricos é dificultada pela inexistência de padrões claros de codificação e armazenamento da informação hidrológica coletada. Cada entidade coletora utiliza, em geral, recursos de informática desenvolvidos *in-house* para realizar esta tarefa. Estes recursos são programas de computador desenvolvidos sem o apoio de Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBDs) padrão, abertos, de mercado, apesar dos grandes volumes de dados envolvidos. O interesse é apenas o de organizar o acesso aos dados, visando principalmente o uso interno, e para isto estruturas de armazenamento proprietárias, ou seja, específicas para um determinado sistema, são consideradas suficientes. No entanto, estas estruturas de armazenamento são incompatíveis com as usadas por outras instituições, gerando dificuldades no momento do uso. Diversos sistemas com este perfil estão sendo utilizados no país atualmente, e em cada um deles um razoável grau de esforço para transferência dos dados para outros sistemas é necessário. Este tipo de problema vem há muito tempo tirando eficiência dos estudos e projetos na área de recursos hídricos que necessitam utilizar dados hidrológicos.

O desenvolvimento de uma visão de sistemas de informação geográfica em relação aos dados hidrológicos oferece uma potencial solução para o problema de integração. Para isto, faz-se necessário promover uma evolução na visão de simples armazenamento e recuperação das informações hidrológicas, para uma visão de bancos de dados abertos, visando obter um maior grau de integração entre as diversas fontes. Adicionalmente, pode-se buscar uma maior agilidade e eficiência na elaboração dos estudos hidrológicos e ambientais através da incorporação aos sistemas, via georreferenciamento das informações, do

conhecimento sobre o relacionamento espacial entre os pontos de coleta de dados e o meio físico.

O desenvolvimento de sistemas de bancos de dados geográficos em hidrologia (ou, generalizando, em recursos hídricos ou meio ambiente) tem se tornado cada vez mais viável, com o recente desenvolvimento e popularização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Tornou-se tecnicamente possível e economicamente viável conceber e implementar bancos de dados dotados de inteligência espacial, capazes de, além de gerenciar as informações alfanuméricas convencionais, integrá-las segundo um poderoso denominador comum: a geografia. Naturalmente, esta tarefa é bastante grande, e extensivamente multidisciplinar. Seu ponto de partida, no entanto, é a realização de um estudo de modelagem de dados geográficos, em que se busca não apenas identificar e organizar as entidades envolvidas e seus relacionamentos, mas também obter uma visão de como as entidades interagem espacialmente. Este artigo apresentará a seguir uma proposta de modelagem de dados geográficos para hidrologia, visando explorar as possibilidades de uso desta tecnologia em estudos hidrológicos de consistência de dados.

UM MODELO DE DADOS GEOGRÁFICOS PARA HIDROLOGIA

O modelo que será apresentado a seguir foi construído com base em uma nova técnica de modelagem de dados, desenvolvida especialmente para sistemas de informação geográfica (Borges, 1997). Esta técnica utiliza os conceitos de orientação a objetos, e sua unidade básica é o *geo-objeto*. Geo-objetos são abstrações das entidades do mundo real, dotadas de representação gráfica e atributos alfanuméricos. São também representados no modelo de dados os relacionamentos entre os geo-objetos, sejam eles espaciais (geográficos) ou não. São intencionalmente deixados de lado, para o benefício da simplicidade de apresentação, todas as entidades ligadas ao regime hídrico que não são necessárias para a aplicação pretendida. O modelo proposto está

apresentado na Figura 2. As convenções e representações utilizadas serão apresentadas a seguir.

As principais formas de representação de geo-objetos com geometria são o polígono (região), a poligonal (linha) e o ponto (símbolo), correspondendo a entidades de dimensões respectivamente 2, 1 e 0. Estes geo-objetos poderão ter, além disto, um comportamento topológico especificado, possibilitando a modelagem de grafos e redes (Laurini e Thompson, 1992). Neste caso, pode-se ter linhas unidirecionadas ou bidirecionadas, e entidades simbólicas que constituem os nós da rede ou grafo. Cada um destes tipos de geo-objetos é representado no modelo por um retângulo dividido em quatro seções (Figura 1). As seções indicam, de cima para baixo, o nome e a modalidade de representação geométrica/topológica a adotar, o comportamento gráfico, os atributos alfanuméricos e procedimentos (métodos) ligados ao comportamento do objeto em situações como a criação, exclusão, apresentação em tela, plotagem e consulta. A quarta seção foi omitida do modelo apresentado na Figura 2 por questões de objetividade no enfoque do artigo. É possível ter, também, geo-objetos que não têm representação espacial. Estes objetos correspondem a simples tabelas alfanuméricas, e são representados no modelo com retângulos como os descritos acima, porém sem a seção relativa ao comportamento gráfico.

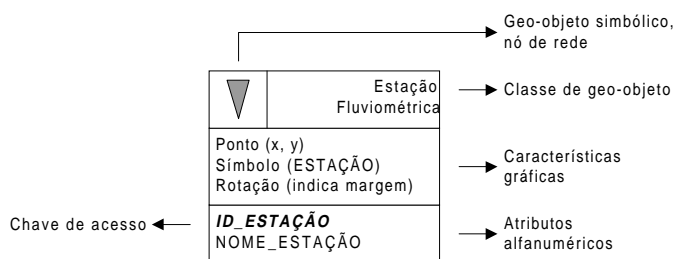


Figura 1 - Representação de um geo-objeto

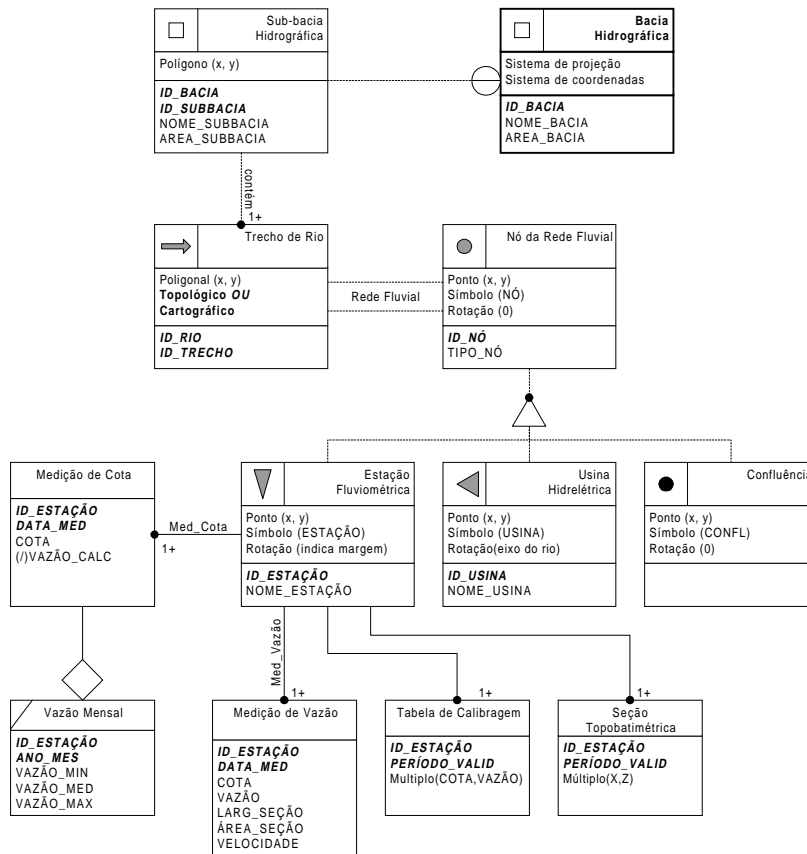
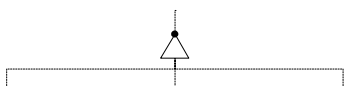


Figura 2 - Modelo de Dados Geográfico para Hidrologia

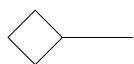
Os relacionamentos entre os geo-objetos são representados no modelo por meio de linhas entre os retângulos. As extremidades das linhas recebem símbolos, que representam tipos especiais de relacionamento, bem como a cardinalidade exigida. Alguns tipos de relacionamentos estão descritos a seguir, exemplificados com partes do modelo proposto.

Rede Fluvial

Relacionamento em grafo ou rede, denominado *Rede Fluvial*, entre os trechos de rio e os nós de rede.



Relação de generalização: cada objeto *Nó de Rede Fluvial* é, genericamente, uma estação fluviométrica, uma usina ou uma confluência de rios. O círculo preto no alto do triângulo indica que a relação é disjunta e total, ou seja, nenhum nó pode ter mais de um tipo, e nenhum nó deixa de ter tipo.



Agregação: cada registro de vazão mensal é obtido pela agregação de valores contidos nos registros de medição. Como as vazões mensais são *derivadas* dos valores contidos nos registros de medição, o retângulo recebe uma linha diagonal no canto superior esquerdo para denotar o fato.

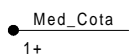


Subdivisão espacial: uma bacia hidrográfica é subdividida geograficamente em sub-bacias, sem superposição ou lacunas.



contém 1+

Relacionamento espacial: cada sub-bacia hidrográfica contém (geograficamente) um ou mais trechos de rio.



Med_Cota 1+

Relacionamento alfanumérico, denominado *Med_Cota*, indicando que a cada estação fluviométrica correspondem uma ou mais medições de cota.

Outro detalhe deve ser destacado no modelo proposto. Na descrição do geo-objeto *Trecho de Rio*, a representação poderá ser topológica ou cartográfica. No segundo caso, a representação cartográfica do rio e seus afluentes, em um sistema de coordenadas geográficas adequado, como em um mapa. No primeiro caso, esta representação é substituída por um modelo esquemático, capaz de indicar apenas as posições relativas dos elementos na bacia hidrográfica. A representação topológica é vantajosa

porque pode ser conseguida rapidamente, sem maiores esforços de digitalização de mapas, e posta a funcionar de maneira muito econômica, visando principalmente testar a validade do modelo proposto (Figura 3). Sua substituição pela representação cartográfica pode ser feita sem nenhuma conseqüência para o sistema de informações geográficas, e o operador vai ganhar apenas uma melhor percepção da geografia da bacia, além da possibilidade de deduzir informações como o comprimento de trechos de rio, cotas altimétricas e parâmetros de área de bacias e sub-bacias.

IMPLEMENTAÇÃO

Um ensaio de implementação deste modelo foi desenvolvido sobre o pacote de *desktop mapping* MapInfo, amplamente conhecido e utilizado no mercado de geoprocessamento. Por simplicidade na criação da base gráfica necessária, optou-se pela representação topológica. Foram criadas tabelas geográficas correspondentes a cada uma das principais entidades encontradas na bacia: estações fluviométricas, usinas hidrelétricas, confluências e rios. As divisões de bacia e sub-bacia foram deixadas de lado, pois não teriam interferência nas aplicações que se pretendia investigar.

O MapInfo provou ser uma ferramenta útil para este tipo de trabalho, embora esteja longe de ser o ideal. Suas limitações com relação à representação da rede fluvial impossibilitam automatizar alguns tipos de pesquisas e análises interessantes. Por outro lado, o MapInfo é bastante flexível ao utilizar dados codificados em formatos populares, como Excel, Access ou dBase. Por ser, no entanto, um aplicativo de baixo custo, baseado na interface do Windows, sua utilização acaba por se tornar interessante como ferramenta complementar a algum SIG mais completo.

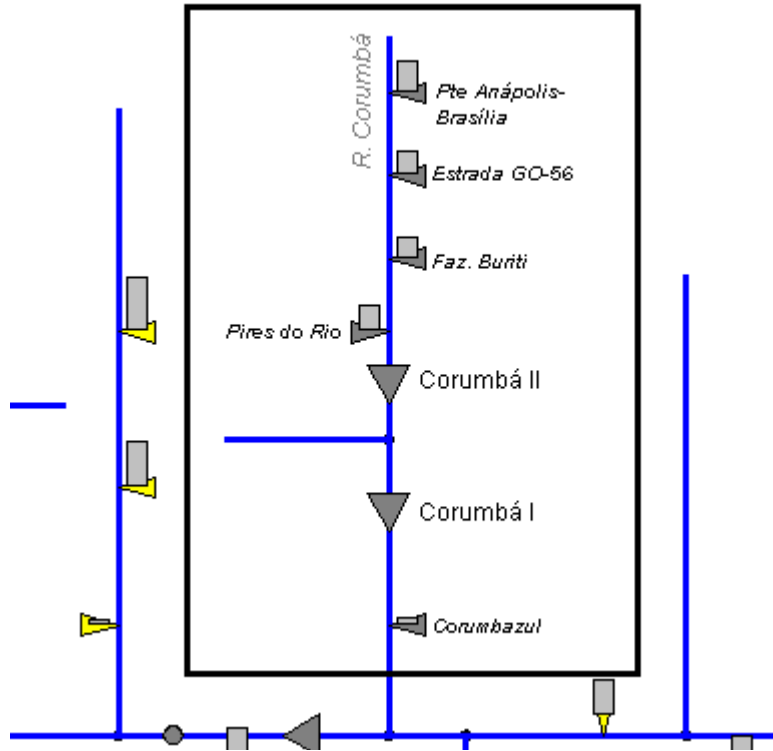
APLICAÇÕES

Conforme citado anteriormente, algumas aplicações voltadas para o desenvolvimento de estudos de consistência de dados foram concebidas. Este tipo de estudo envolve as etapas apresentadas na Tabela 1, assumindo que o banco de dados já tenha sido alimentado das informações necessárias.

Tabela 1 - Etapas de um estudo de consistência de dados hidrológicos e potencial de utilização de aplicações geográficas

Etapa	Aplicações Geográficas
Seleção das estações fluviométricas de interesse para o estudo, com base em parâmetros como área de drenagem ou confiabilidade da série histórica.	Este tipo de seleção pode ser automatizado, com base em atributos alfanuméricos associados a cada estação
Análise comparativa dos períodos em que há disponibilidade de dados em cada estação.	Seleção de estações topologicamente próximas para comparação em grupos (Figura 3) Elaboração de diagramas de barras, para melhor visualização dos períodos comuns e falhas de observação (Figura 3)
Definição e análise de curvas-chave; Traçado e análise de cotogramas; Transformação de cotas diárias em vazões diárias	Procedimentos hidrológicos tradicionais
Traçado e análise de hidrógrafos	Seleção de estações topologicamente próximas para comparação em grupos Escolha de período comum para análise
Geração das séries de vazões mensais	Procedimentos hidrológicos tradicionais
Análise de continuidade de vazões médias mensais	Verificação da ocorrência de incrementos negativos e outros tipos de inconsistências, por comparação entre estações ou grupos de estações
Preenchimento de falhas	Escolha de estações topologicamente vizinhas e transformação dos dados por correlação
Análise regional	Seleção de regiões de estudo com base na topologia e na geografia da bacia

Geração de séries de vazões em locais de aproveitamento hidrelétrico, potencial ou existente	Escolha de estações-chave, próximas ao local de aproveitamento e com boa qualidade de informações (falhas preenchidas) para transferência das vazões naturais médias mensais
--	--



Rio Corumbá

Código	Nome	Início	Final	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
60600000	Corumbazul	23/04/72	31/07/79																												
60545000	Pires do Rio	01/10/71	31/12/94																												
60510000	Faz. Buriti	17/06/75	31/12/94																												
60445000	Estrada GO-56	25/07/73	31/12/94																												
60430000	Pte Anápolis Brasília	01/08/65	31/12/94																												

Figura 3 - (sup.) Fragmento de representação topológica indicando a seleção de uma série de estações para análise; as barras verticais

representam a quantidade de anos de dados disponíveis em cada estação.
(inf.) Diagrama de barras correspondente às estações selecionadas.

CONCLUSÕES - OPORTUNIDADES DE APERFEIÇOAMENTO

A mais importante das oportunidades de aperfeiçoamento deste estudo parece ser o refinamento do modelo e sua transformação em um projeto físico, para implementação em um SIG comercial, associado a um SGBD relacional. Este SIG precisaria dispor de recursos de gerenciamento de redes, além de uma linguagem de programação que viabilize o desenvolvimento dos programas técnico-científicos necessários. Outra linha de expansão está na incorporação, ao modelo, dos demais elementos ligados à gestão de recursos hídricos, tais como estações meteorológicas, climatológicas, pluviométricas, sedimentométricas e de qualidade da água, e suas respectivas séries históricas (Costa et al., 1995). As aplicações poderão se expandir para abranger áreas como a outorga do direito de uso das águas, usos em irrigação, tratamento para uso humano e industrial, análises ambientais, entre outras.

Mas o grande potencial da aplicação da tecnologia SIG à hidrologia está na integração de diferentes agências por meio do estabelecimento de padrões apoiados em modelos conceituais, facilitando o intercâmbio e tornando mais eficiente a disseminação das informações hidrológicas.

REFERÊNCIAS

Borges, K. A. V. *Modelagem de Dados Geográficos*, Dissertação de Mestrado, Escola de Governo da Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, MG, 1997 (a publicar).

Laurini, R. e Thompson, D. *Fundamentals of Spatial Information Systems*, Academic Press, London, 1992.

Costa, J. R., Lacerda, M. e Jesus, H. B. *The Portuguese Water Resources Information System: Using OOP to Integrate Time Series and GIS*, publicado na Internet, em <http://www.esri.com/base/common/userconf/proc95/to300/p296.html>, 1995.