

PGHYDRO – OBJETOS HIDROGRÁFICOS EM BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

Alexandre de Amorim Teixeira^{1}; Adalene Moreira Silva²; Gustavo Souto Fontes Moller³; Fábio Vicente Ferreira⁴; Aldir José Borelli⁵*

Resumo – O projeto pgHydro visa a implementação de um complemento em banco de dados geográficos compostos por uma série de objetos hidrográficos como tabelas, consultas, funções ou visões que podem ser utilizadas em conjunto, ou individualmente, para ajudar na tomada de decisão em recursos hídricos. Esses objetos hidrográficos compõem a inteligência hidrográfica do sistema e fazem parte do projeto pgHydro de código aberto que pode ser utilizado pelos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). O pgHydro representa a primeira inovação para utilização de inteligência hidrográfica como complemento em sistema gerenciador de banco de dados geográficos. Esse modelo utiliza os elementos lógicos derivados da codificação de bacias hidrográficas de Pfafstetter. Para tanto, esse novo modelo conceitual foi implementado no sistema gerenciador de banco de dados geográficos objeto-relacional PostGIS/PostgreSQL respeitando as restrições de integridade relacionadas à geometria dos objetos mapeados, as restrições definidas pelo usuário que respeitem os objetos lógicos da codificação de bacias de Pfafstetter e as restrições de integridade ligadas aos relacionamentos espaciais entre os objetos, que seguem as especificações da Open Geospatial Consortium (OGC).

Palavras-Chave – pgHydro, banco de dados geográficos, codificação de bacias de Pfafstetter.

PGHYDRO –HYDROGRAPHIC OBJECTS IN SPATIAL DATABASE MANAGEMENT SYSTEM

Abstract – The pgHydro project aims an add-on implementation on spatial database management system performed by a series of hydrographic objects such as tables, queries, functions or views that can be used individually to aid in water resources decision making. These objects make up the hydrographic basin of the intelligence system and are part of pgHydro open source project that can be used by the members of the National Water Resources Management (SINGREH). The pgHydro represents the first innovation of intelligence for use in watershed management applied as an add-on on spatial database management system. This proposal uses the logic elements based on Pfafstetter's basin coding system. To this end, this new conceptual model was implemented in the object-relational spatial database management system PostGIS/PostgreSQL respecting the integrity constraints related to the geometry of the mapped objects, the user-defined constraints that respects the logical objects based Pfafstetter's basin coding system and integrity constraints linked to the spatial relationships between objects, which follows the Open Geospatial Consortium (OGC) specifications.

Keywords – pgHydro, Spatial database management system, Pfafstetter basin coding.

Observação: este artigo não expressa a opinião institucional da Agência Nacional de Águas, e sim de seus autores.

¹ Especialista em Geoprocessamento, Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, (DF). Programa de Pós Graduação, Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, (DF). E-mail: alexandre.amorim@ana.gov.br.

² Professora do Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, (DF), Brasil. E-mail: adalene@unb.br

³ Especialista em Geoprocessamento, Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, (DF). E-mail: gustavo.moller@ana.gov.br

⁴ Especialista em Geoprocessamento, Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, (DF). E-mail: fabio.ferreira@ana.gov.br

⁵ Especialista em Geoprocessamento, Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, (DF). E-mail: aldir.borelli@ana.gov.br

* Autor Correspondente.

INTRODUÇÃO

O sistema gerenciador de banco de dados PostgreSQL (PostgreSQL, 2013) teve o início de sua concepção de desenvolvimento no ano de 1982, mas só em 1997 é que foi lançada a primeira versão formal, a 6.0. Desde então, o seu caráter como software livre possibilitou a constante manutenção e desenvolvimento dessa tecnologia sendo coordenado pela internet por meio de voluntários e desenvolvedores de banco de dados. Todo ano é lançada uma nova versão do PostgreSQL (PostgreSQL, 2013).

O PostgreSQL permite a incorporação de complementos de objetos que possibilitam a especialização das funcionalidades utilizadas em um banco de dados objeto-relacional. Utilizando essa funcionalidade foi possível a criação do projeto PostGIS (PostGIS, 2013), que possibilita que o PostgreSQL tenha suporte a objetos geográficos. O PostGIS teve sua primeira versão estável lançada em 2005 pela empresa Refrations Research. Em 2006 o PostGIS foi reconhecido pela Open Geospatial Consortium (OGC, 2013) como tendo implementado as especificações do Simple Feature Specification for SQL (SFS-SQL).

Outro projeto que utiliza a incorporação de complementos de objetos ao PostgreSQL é o projeto pgRouting (PgRouting, 2013). O pgRouting amplia a base de dados do PostGIS/PostgreSQL para prover funcionalidades de roteamento. O pgRouting utiliza os principais algoritmos de roteamento implementados por meio de algoritmos e funções.

O projeto pgHydro proposto para esse trabalho incorpora objetos ao PostgreSQL para criar e ampliar a base de dados do PostGIS/PostgreSQL para prover funcionalidades que ajudem na tomada de decisão em recursos hídricos baseada em informações extraídas de uma base hidrográfica. Isso é realizado por meio de modelo de dados hidrográficos em banco de dados geográficos e do desenvolvimento de procedimentos, consultas, funções ou visões específicas para isso. O pgHydro representa o primeiro projeto que utiliza inteligência hidrográfica em complemento de sistema gerenciador de bancos de dados geográficos.

PGHYDRO: OBJETOS HIDROGRÁFICOS EM SISTEMA GERENCIADOR DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS POSTGIS/POSTGRESQL

Os objetos hidrográficos do pgHydro engloba todas as tabelas, procedimentos, consultas, funções ou visões desenvolvidos em PostGIS/PostgreSQL com a finalidade de gerar informações que ajudem os gestores envolvidos na gestão de recursos hídricos. A partir desses objetos pode-se construir uma rede hidrográfica consistente que assegure a validade da geometria, a sua conectividade, o correto sentido do vetor de fluxo d'água e informações como codificação de bacia, hierarquização, ordenamento, seleção de trechos a montante/jusante, distância a foz da bacia, área de drenagem a montante, entre outras informações que ajudem na tomada de decisão em recursos hídricos.

O projeto pgHydro está dividido em pgHydro Scheme e pgHydro Tools. O pgHydro Scheme compreende os modelos conceitual e lógico dos objetos hidrográficos e a sua implementação física em banco de dados geográficos. O pgHydro Tools são todas as funcionalidade em banco de dados geográficos utilizadas para extrair as informação da rede hidrográfica e das áreas de contribuição hidrográfica implementadas pelo pgHydro Scheme para ajudar na tomada de decisão em recursos hídricos.

Arquitetura Tecnológica

A arquitetura tecnológica utilizada no desenvolvimento das funcionalidades que compõem o projeto pgHydro é composta pelo sistema gerenciador de banco de dados objeto-relacional de código aberto PostgreSQL (PostgreSQL, 2013) versão 9.0.6 e sua extensão para tratamento de dados geoespaciais: PostGIS versão 1.5.2 Outra funcionalidade utilizada na implementação dessas funcionalidades advém do projeto pgRouting (pgRouting, 2013) que incorpora algoritmos computacionais do tipo roteamento ao módulo espacial PostGIS do PostgreSQL. A versão utilizada é o pgRouting 1.03. A visualização espacial dos objetos do pgHydro ocorre por meio do Sistema de Informações Geográficas (SIG) Quantum GIS versão 1.7.0 (Quantum GIS, 2013)

O sistema gerenciador de banco de dados objeto-relacional PostgreSQL possui qualidades como confiabilidade, integridade de dados e conformidade a padrões, como, por exemplo, o padrão SQL:2008 (ISO, 2008), que o PostgreSQL possui a maioria das características implementadas. O PostgreSQL pode ser utilizado nos sistemas operacionais GNU/Linux, Unix (AIX, BSD, HP-UX, SGI IRIX, Mac OS X, Solaris, Tru64) e Microsoft Windows (PostgreSQL, 2013).

Em relação à capacidade de armazenamento de dados do PostgreSQL (PostgreSQL, 2013), o tamanho máximo do banco de dados é ilimitado, o tamanho máximo de uma tabela é de 32 TBytes, o tamanho máximo de uma linha é de 1,6 TBytes, o tamanho máximo de uma coluna é de 1 GByte, o tamanho máximo de linhas por tabela é ilimitado, o tamanho máximo de colunas por tabela varia entre 250 e 1600, dependendo do tipo de coluna, e o número máximo de índices por tabela também é ilimitado.

O PostgreSQL possui suporte completo a chaves estrangeiras (foreign key), junções (joins), visões (views), gatilhos (triggers) e procedimentos armazenados em múltiplas linguagens. O PostgreSQL também suporta a maior parte dos tipos de dados do padrão SQL:1999 (ISO, 1999), como os tipos numérico(numeric), booleano (boolean), caractere (char), caractere variável (varchar), data(date), intervalado(interval), e timestamp. Além disso, suporta o armazenamento de objetos binários, como figuras, sons, vídeos ou geometrias de objetos espacializados. Por meio de interfaces específicas do PostgreSQL é possível desenvolver algoritmos nas linguagens C/C++, Java, .Net, Perl, Python, Ruby, Tcl, R e ODBC.

A Procedural Language extensions to SQL ou PL/pgSQL é uma linguagem estruturada estendida da Structure Query Language (SQL) que tem por objetivo auxiliar as tarefas de programação no sistema gerenciador de banco de dados PostgreSQL. Ela incorpora à linguagem SQL características procedurais e estruturas de controle e possui essa funcionalidade a partir da versão 6.4 (PostgreSQL, 2013).

PostGIS (PostGIS, 2013) é uma extensão desenvolvida para o sistema gerenciador de banco de dados objeto-relacional PostgreSQL (PostgreSQL, 2013), que permite o armazenamento, a manipulação e a análise espacial de objetos geográficos em banco de dados. Essa extensão possui suporte a índice espacial baseado na estrutura de dados do tipo GiST (Generalized Search Tree). Além disso, o conjunto de tipos de geometrias vetoriais, operações topológicas, operações métricas, além do esquema de tabelas para metadados das informações espaciais as funções e tipos do PostGIS estão de acordo com as especificações da

Simple Features Specification for SQL (SFS-SQL) da Open Geospatial Consortium (OGC, 2013).

As funcionalidades do pgHydro podem ser acessadas por qualquer aplicativo ou Sistema de Informações Geográficas (SIG) desde de que possam se conectar ao PostgreSQL e visualizar e editar as feições geométricas das tabelas geográficas do PostGIS (figura 1). Um exemplo disso é o aplicativo desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA) intitulado “Construção Base-Ottocodificada” (BRASIL, 2013) que foi desenvolvido na linguagem computacional Python e aciona todas as funcionalidades do pgHydro com a finalidade de construir uma base hidrográfica ottocodificada (figura 2).

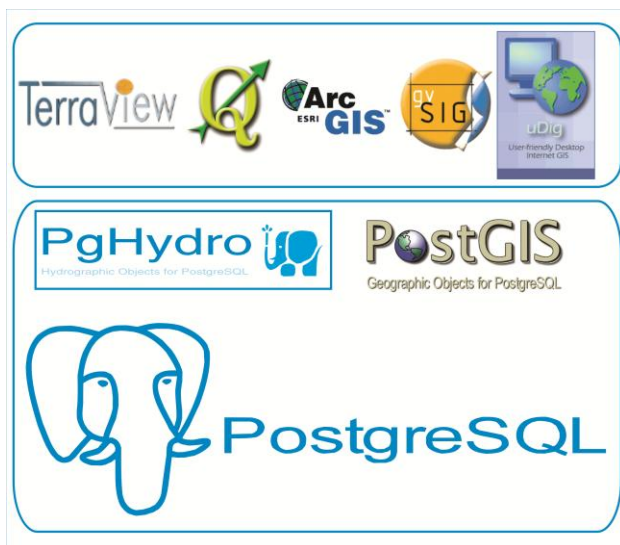


Figura 1 - Arquitetura tecnológica para acessar os objetos hidrográficos do projeto pgHydro a partir de SIGs.

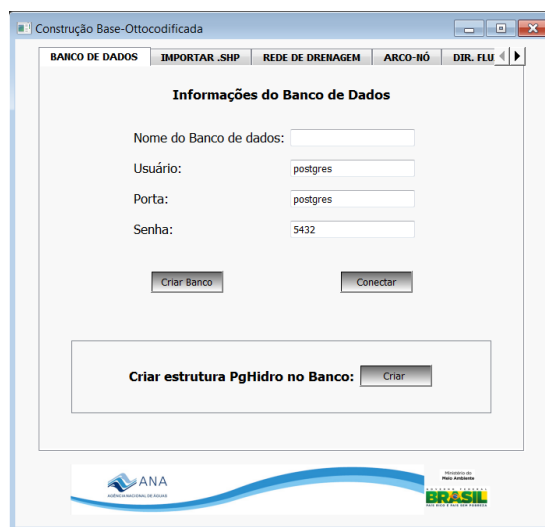


Figura 2 - Interface do programa computacional “Construção Base-Ottocodificada”.

pgHydro Scheme: Modelo Conceitual, Modelo Lógico e Modelo Físico dos Objetos Hidrográficos em Banco de Dados Geográficos

O pgHydro Scheme compreende os modelos conceitual e lógico dos objetos hidrográficos (figura 3) e a sua implementação física em banco de dados geográficos (figura 4). Esses modelos se baseiam na proposta para o pacote de Hidrografia da Estrutura de Dados Geoespaciais Digitais Vetoriais (EDGV) da Concar (2012), que segue a proposta de Borges et al. (2005) para o mapeamento de esquemas OMT-G no nível de representação conceitual para esquemas de implementação física.

O modelo conceitual é baseado no pacote de Hidrografia da EDGV (Concar, 2013) e é bem abrangente, pois tem o objetivo de apresentar a interação da rede hidrográfica com todos os possíveis elementos que possam interferir na representação da hidrografia, como corredeiras, barragens, eclusas, entre outros. No pgHydro Scheme são implementadas apenas as classes principais desse modelo, que são pertinentes à construção de uma base hidrográfica. Assim, as classes mais importantes consideradas para este trabalho compreendem as classes trecho rede drenagem, trecho drenagem, curso d’água, curso d’água principal, nó trecho drenagem, ponto drenagem, ponto início drenagem, ponto fim drenagem, confluência, área de contribuição hidrográfica e bacia hidrográfica (Figura 3).

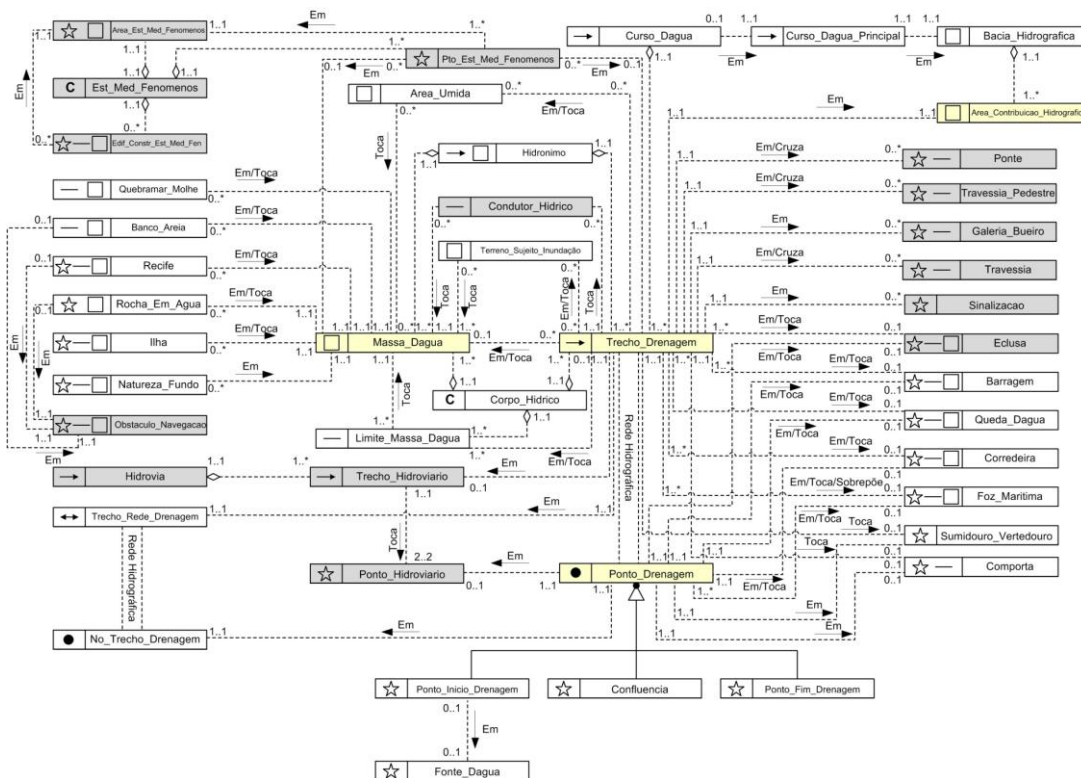


Figura 3 - Modelo Conceitual/Lógico: Diagrama de Classes do pgHydro Scheme.

Na implementação física desse modelo, cada classe convencional ou georreferenciada do modelo OMT-G é implementada no banco de dados geográficos como uma tabela em que cada atributo dessa tabela é representado por uma coluna, sendo que uma dessas colunas representa a chave primária da tabela, sem duplicidade ou valores nulos (figura 4). As classes georreferenciadas se diferem das classes convencionais porque apresentam uma coluna com dados no formato BLOB que armazena os dados que representam a geometria da classe, que pode ser dos tipos: ponto, linha ou polígono.

No modelo físico, a associação simples entre classes de cardinalidade 1:1 é materializada no modelo por meio da inserção da chave primária de uma das tabelas na outra tabela da relação sendo materializada como chave-estrangeira. Se a relação possuir cardinalidade 1:N, a tabela caracteriza como N terá a inserção da chave-primária da outra tabela como chave-estrangeira da tabela do lado da relação igual a 1 (figura 4).

O relacionamento espacial entre as tabelas com dados geométricos no banco de dados físico ocorre por meio da inserção da chave primária da tabela relacionada na outra tabela da relação, sendo materializada como chave-estrangeira. O tipo de relacionamento espacial entre os pares de classes relacionadas advém da chave-estrangeira de uma tabela, onde estão determinados os tipos de relacionamento espacial entre o par de classes baseado na proposta de relacionamentos topológicos baseado no método de nove interseções dimensionalmente estendida (DE-9IM) de Clementini et al.(1993): “Em”, “Toca”, “Cruza”, “Sobrepõe” ou “Disjunto” e de duas colunas, onde cada uma apresenta os tipo de geometria das classes relacionadas dos tipos de geo-objetos “Ponto”, “Linha” e “Polígono” e de uma coluna que representa os nove caracteres que descrevem as relações topológicas do método DE-9IM especificado pela OGC (2013).

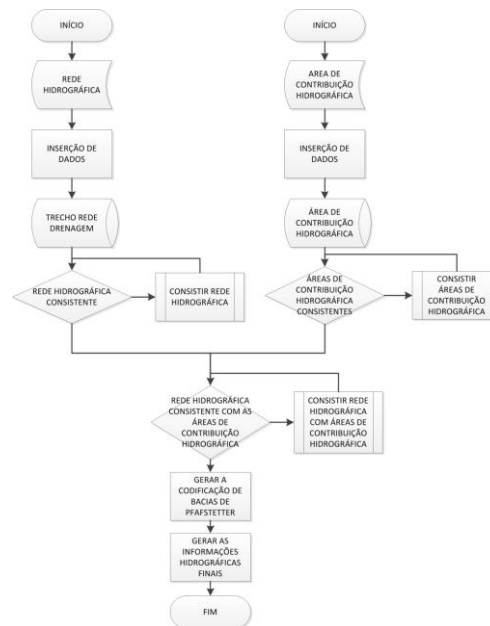


Figura 5 - Fluxograma geral do processo de construção da base hidrográfica ottocodificada.

As informações hidrográficas finais compreendem:

- Código de bacia de Pfafstetter;
- Código de curso d'água derivado do código de bacia de Pfafstetter;
- Comprimento dos trechos de drenagem;
- Comprimento dos cursos d'água;
- Área de contribuição hidrográfica por trecho de drenagem;
- Área a montante;
- Distância a foz da bacia a partir do trecho;
- Distância a foz da bacia a partir do curso d'água;
- Direção do fluxo do trecho de drenagem de montante para jusante;
- Trecho a montante;
- Trecho a jusante;
- Trecho afluente;
- Ordem de curso d'água;
- Nível do código de bacia de Pfafstetter;
- Nível do código de curso d'água derivado do código de bacia de Pfafstetter;
- Nível da ordem de curso d'água.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como foi apresentado nesse trabalho, o projeto pgHydro amplia a utilização do PostGIS/PostgreSQL para ajudar na tomada de decisão em recursos hídricos. Isso é realizado por meio de modelo de dados hidrográficos em banco de dados geográficos e do desenvolvimento de objetos hidrográficos como procedimentos, consultas, funções ou visões para a construção de uma base hidrográfica ottocodificada de referência. O pgHydro foi desenvolvido por meio de softwares livres e levou em consideração as principais padronizações para facilitar a sua utilização pelos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (BRASIL, 1997). O pgHydro também pode ser acessado pelos principais Sistemas de Informações

Geográficas (SIG) proprietários ou livres, desde de que consigam se conectar ao PostGIS/PostgreSQL.

Além disso, como o PostgreSQL (PostgreSQL, 2013) permite a utilização de outras linguagens de programação por meio de linguagens procedurais como PL/Tcl, PL/Perl, PL/Python, PL/Java, PL/R, entre outras, pode-se utilizar as bibliotecas computacionais de outros projetos na área de recursos hídricos e incorporá-los ao pgHydro. Assim, o pgHydro seria o centralizador dessas funcionalidades, com a vantagem de incorporar em seus processos as funcionalidades de um sistema gerenciador de banco de dados geográficos como: redução de redundância, compartilhamento, consistência e integridade dos dados, suporte a transações, segurança reforçada, armazenamento e processamento de grande volume de dados e processamento das informações hidrográficas por bacia de interesse sem a necessidade de processar toda a base de dados.

REFERÊNCIAS

- BORGES, K. A. V.; DAVIS JÚNIOR, C. A.; LAENDER, A. H. F. (2005). Modelagem Conceitual de Dados Geográficos. In: CASANOVA, M. A.; CÂMARA, G.; DAVIS Jr, C. A.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. (Org) *Bancos de Dados Geográficos*. 1 ed. Curitiba: MundoGeo, 2005. p. 93-146.
- BRASIL. (1997). Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470.
- BRASIL. (2013). Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: maio 2013.
- CLEMENTINI, E.; DIFELICE, P.; VAN OOSTEROM, P. (1993). A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction. In: 3rd SYMPOSIUM ON SPATIAL DATABASE SYSTEMS, 3., 1993, Singapore. *Proceedings...* Singapore. 1993. p. 277-295.
- CONCAR. (2013). Comissão Nacional de Cartografia. Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Digitais Vetoriais. Disponível em: <<http://www.concar.ibge.gov.br>>. Acesso em: março 2013.
- ISO. (1999). International Organization for Standardization. ISO/IEC 9075-1:1999: Information technology - Database languages - SQL - Part 1: Framework (SQL/Framework), 1999.
- ISO. (2008). International Organization for Standardization. ISO/IEC 9075-1:2008: Information technology - Database languages - SQL - Part 1: Framework (SQL/Framework), 2008.
- OGC. (2013). Open Geospatial Consortium Standards. Disponível em: <<http://www.opengeospatial.org/standards>>. Acesso em: mar 2013.
- PFAFSTETTER, O. (1989). *Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação*. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989. p. 19. Trabalho não publicado.
- PGROUTING. (2013). pgRouting Project. Disponível em: <<http://www.pgrouting.org/>>. Acesso em: março 2013.
- POSTGIS. (2013) PostGIS manual. Disponível em: <<http://www.postgis.org/documentation/manual-1.5/>>. Acesso em: março 2013.
- POSTGRESQL. (2013). PostgreSQL manual. Disponível em: <<http://www.postgresql.org/docs/9.0/interactive/index.html>>. Acesso em: maio 2013.
- QUANTUM GIS. (2013). Quantum GIS Project. Disponível em: <<http://www.qgis.org/>>. Acesso em: março 2013.