



**Universidade de Brasília**



**50** 1962  
2012

Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas

Eduardo Costa Cheng

**Modelagem de Dados Geográficos e Aplicação de Indicadores para a Gestão dos Recursos Hídricos – Estudo de Caso da Bacia do Lago Paranoá - DF**

Dissertação apresentada à Banca  
Examinadora do **Instituto de Geociências**  
como exigência final para obtenção do  
título de **Mestre em Geociências Aplicadas**

Orientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig

Brasília  
2012

**Modelagem de Dados Geográficos e Aplicação de Indicadores para a Gestão dos Recursos Hídricos – Estudo de Caso da Bacia do Lago Paranoá - DF**

**Eduardo Costa Cheng**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Henrique Llacer Roig – IG/UnB**

---

**Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos – IG/UnB**

---

**Prof. Dra. Cláudia Valéria de Lima - UFG**

## Agradecimentos

As Geociências me fascinam desde 2003 quando num contato profissional despertaram uma incrível curiosidade sobre estes temas, onde desde então, persegui o objetivo de aplicar os conhecimentos da computação nesta área. Por este motivo agradeço a todas as pessoas que de alguma forma forneceram algum conhecimento ao meu processo de formação pessoal, científico e profissional.

Este trabalho foi motivado pelo desejo de utilizar tecnologias computacionais na forma de Sistemas de Informações e Banco de Dados Geográfico para auxiliar tarefas de análise e gestão da água e para isso o apoio de algumas pessoas foram necessárias, a começar pelo orientador deste trabalho o **Prof. Dr. Henrique Llacer Roig** que apostou em mim desde o começo e depositou sua confiança no meu trabalho, ao colega **Paulo Henrique** agora doutorando que esteve por perto para fornecer dados e tirar minhas dúvidas, à **Eluzai** e ao “**Serjão**” com o apoio no laboratório. Gostaria de agradecer aos professores da UnB que proveram a passagem de conhecimento através das disciplinas do Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas na modalidade Mestrado, área de concentração Geoprocessamento e Análise Ambiental, são eles: **Adriana Chatack, Antônio Nuno, Roberta Vidotti, Augusto Pires, Edilson Bias** e todos os outros que não tive contato direto, mas que fazem do instituto uma referência nacional.

A **ESRI** representada pela **Imagem Soluções de Inteligência Geográfica** no Brasil que disponibilizou as licenças do ArcInfo 10, ArcGIS Server 10 e ArcSDE 10 possibilitando assim a construção de parte significativa da solução computacional do trabalho e ao **Luiz Filho** da Imagem pelo apoio técnico sempre a disposição para ajudar.

Deixei por último com o objetivo de representar a base e a estrutura para qualquer trabalho, o agradecimento ao meu velho **Cheng**, minha mãe **Rejane**, meu segundo pai **Pedrosa** e meus irmãos **Alexandre, Júnior** e **Rebeka** por tornar isso possível, à minha família “Pernambuco-brasiliense” **Siqueira, Graças, Gibran** e **Thalles**, aos **amigos, aos colegas de curso** que estavam ali na batalha juntos e a **Rosa** que é a maior motivadora e patrocinadora do meu trabalho, eu te amo.

## Sumário

<b>Agradecimentos</b>	<b>III</b>
<b>Sumário</b>	<b>IV</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>VI</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de Anexos</b>	<b>VIII</b>
<b>Resumo</b>	<b>IX</b>
<b>Abstract</b>	<b>XI</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos	2
1.2. A Gestão Integrada dos Recursos Hídricos no Distrito Federal	3
1.3. O Estrutura da Dissertação	6
<b>2. Fundamentos Teóricos</b>	<b>7</b>
2.1. Modelagem Conceitual de Dados Geográficos	7
2.1.1. Técnica de Modelagem de Objetos para Aplicações Geográficas (OMT-G)	9
2.1.2. GeoProfile	10
2.1.3. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE	14
2.1.4. Open Geospatial Consortium (OGC)	15
2.2. Arquitetura de Sistemas de Informações Geográficas	18
<b>3. Materiais e Métodos</b>	<b>25</b>
3.1. Servidor de Banco de Dados	25
3.2. Servidor de Serviços Geográficos	25
3.3. Ferramenta de Modelagem de Banco de Dados	28
3.4. Extensões Espaciais	31
3.4.1. PostGIS	31
3.4.2. ArcSDE	35
3.5. Sistemas de Informações Convencionais e Geográficas de Apoio	37
3.5.1. ArcInfo 10	37
3.5.2. Quantum GIS (QGIS)	39
3.5.3. gvSIG	39
3.5.4. HidroWeb	39
3.5.5. Archidro Tools	42
3.5.6. SIG Solos	42
<b>4. Resultados</b>	<b>44</b>
4.1. Consolidação do Modelo de Banco de Dados Geográfico	44
4.1.1. Temas Relevantes Abordados no Processo de Modelagem	44
4.1.2. Utilização dos Modelos Existentes e Composição dos Modelos de Banco de Dados	45
4.1.3. Hidrografia	45
4.1.4. Hidrologia	47
4.1.5. Solos	49
4.2. Consolidação dos Relacionamentos dos Modelos de Dados	50
4.3. Construção do Banco de Dados	53
4.3.1. Criação do Modelo Lógico	53

4.3.2.	Hidrologia/Hidrografia .....	53
4.3.3.	Solos .....	54
4.3.4.	Criação do Modelo Físico .....	56
4.3.5.	Geração do Script de Construção do Banco de Dados .....	56
4.4.	Carga e Atualização do Banco de Dados Geográfico .....	59
4.4.1.	Identificação dos Dados de Origem .....	59
4.4.2.	Verificação de Atributos.....	62
4.5.	Verificação de Padronização do dado geográfico.....	64
4.5.1.	Sistema de Projeção Utilizado.....	64
4.5.2.	Escala de Representatividade .....	64
4.5.3.	Normalização dos Dados em Único Padrão Geográfico.....	64
4.5.4.	Utilização da Ferramenta shp2pgsql .....	64
4.6.	Capacidade de Conectividade do Banco de Dados Geográfico .....	67
4.7.	Aplicação de Indicadores e Utilização da Base de Dados para Gerar Informações Sobre Recursos Hídricos.....	69
4.7.1.	Indicador para Escoamento Superficial.....	69
4.7.2.	Indicador para verificar o Potencial de Recarga.....	72
4.7.3.	Indicador para verificar o Potencial a Erosão.....	75
4.8.	O Modelo de Banco de Dados Final.....	78
4.9.	O Banco de Dados Geográfico .....	78
4.10.	Os Indicadores Iniciais .....	79
<b>5.</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>82</b>
<b>6.</b>	<b>Trabalhos Futuros</b> .....	<b>83</b>
<b>7.</b>	<b>Bibliografia</b> .....	<b>84</b>

## Lista de Figuras

Figura 1: Área de abrangência dos estudos.....	3
Figura 2: Uso do solo da área de estudos.....	4
Figura 3: Classes de uso antrópico urbano.....	5
Figura 4: Paradigma dos quatro universos.....	7
Figura 5: Abstração das Unidades Hidrográficas da Bacia do Paranoá .....	8
Figura 6: Parte do modelo hidrográfico em OMT-G. ....	10
Figura 7: Estereótipos do Geoprofile.....	13
Figura 8: Estrutura geral de sistemas de informação geográfica.....	18
Figura 9: Arquitetura dual.....	19
Figura 10: Composição do Shape File. ....	20
Figura 11: Arquitetura Integrada. ....	21
Figura 12: Soma de vetores.....	22
Figura 13: Arquitetura dual.....	22
Figura 14: Arquitetura Integrada .....	23
Figura 15: Arquitetura do sistema ArcGIS Server 10.....	27
Figura 16: Arquitetura livre de serviços geográficos.....	28
Figura 18: Integração do ArcSDE. ....	35
Figura 19: Três exemplos de fluxos para a estratégia de versionamento.....	36
Figura 21: Interface do HidroWeb .....	40
Figura 22: Modelo do HidroWeb .....	41
Figura 23: Tela inicial do SIG Solos .....	42
Figura 25: Arquitetura do sistema SigSolos. ....	43
Figura 26: Modelo conceitual de banco de dados do SigSolos. ....	44
Figura 27: Modelo conceitual da ET-EDGV para Hidrografia. ....	46
Figura 28: Relações geográficas e não geográficas entre hidrografia e hidrologia.....	50
Figura 29: Relacionamento geográfico entre solos e bacia hidrográfica.....	51
Figura 30: Integridade geográfica entre elementos do modelo de dados. ....	52
Figura 31: Integração entre o modelo lógico hidrográfico e hidrológico.....	54
Figura 32: Integração entre os modelos hidrográfico e pedológico. ....	55
Figura 33: Processo de aplicação de script para criação do banco de dados geográfico.....	58
Figura 34: Processo de identificação e aquisição de dado para o trabalho no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial da Universidade de Brasília. ....	61
Figura 35: Processo para análise dos atributos descritivos e geográficos.....	63
Figura 36: Integração entre banco de dados e ferramentas de edição.....	68
Figura 37: Sequência de trabalho para a construção da imagem de escoamento superficial. ....	70
Figura 39: Fluxograma metodológico.....	73
Figura 41: Fluxograma conceitual o potencial a erosão. ....	76
Figura 43: Imagem resultante da aplicação do indicador de escoamento superficial na unidade hidrográfica do Lago Paranoá. ....	80
Figura 44: Imagem resultante da aplicação do indicador de potencial de recarga na unidade hidrográfica do Lago Paranoá. ....	81
Figura 45: Imagem resultante do indicador de potencial para produção de sedimentos ou erosão na unidade hidrográfica do Lago Paranoá.....	82

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Contribuições para o GeoProfile .....	11
Tabela 2: Valores limítrofes do PostgreSQL. ....	25
Tabela 3: Geometrias. ....	32
Tabela 4: Funções de análise do PostGIS 1.5. ....	33

## **Lista de Anexos**

**Anexo I:** Modelo Conceitual do Banco de Dados Geográfico para Gestão Integrada Dos Recursos Hídricos.

**Anexo II:** Modelo Lógico do Banco de Dados para Gestão Integrada dos Recursos Hídricos.



## **Resumo**

A gestão da água é um tema recorrente e está nas principais listas de discussões realizadas entre chefes de estados e organizações não governamentais. Por ser um recurso importante e escasso, sua gestão é fundamental para o processo de manutenção da vida na Terra. Para o processo de gerenciamento dos recursos hídricos são necessárias ferramentas capazes de fornecer dados precisos aos tomadores de decisão para minimizar os impactos ambientais e melhorar a eficiência do uso.

O Instituto de Geociências e a Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília são entidades que produzem, monitoram e realizam estudos relacionados à água. Observa-se que a cada novo trabalho ou ciclo de atividades, são gerados e acumulados grandes quantidades de dados com características geográficas em formatos diferentes e dispersos, ocasionando redundâncias e baixo índice de reuso, tornando-se, assim, com que um dado tenha um elevado custo de produção. A falta de organização dos dados geográficos, além de dificultar o trabalho colaborativo, limita o potencial de uso, manutenção e armazenamento.

Este trabalho objetiva organizar os dados geográficos e não-geográficos em Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBDs) que possuem uma plataforma computacional capaz de garantir facilidade de uso, manutenção e armazenamento. Os SGBDs fornecem funcionalidades que dão ao usuário a capacidade de manipular os dados em um ambiente integrado e seguro utilizando uma Linguagem de Consulta Estruturada (SQL – Structure Query Language). No trabalho de adequar os dados existentes ao SGBD, são necessários níveis de abstração da modelagem dos dados, iniciando com a compreensão do cenário real (observação da vazão do rio em um determinado período de tempo, por exemplo) até sua consolidação numa ferramenta computacional de banco de dados. Na composição do modelo de banco de dados foram contemplados modelos lógicos de dados existentes para os temas: hidrografia, hidrologia, uso do solo e pedologia, assim como o processo de seleção dos dados existentes à inserção destes no banco de dados. O SGBD neste trabalho tem uma característica central, pois os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) podem utilizar estes dados para a realização de análises e manutenções.

Organizado os dados num ambiente confiável e integrado, a criação e customização de ferramentas específicas para a análise e gerência da água puderam ser concebidas e desenvolvidas. Os índices de escoamento superficial, disponibilidade hídrica e o potencial de erosão, auxiliarão os agentes tomadores de decisão no processo de gestão dos recursos

hídricos. As ferramentas computacionais construídas neste trabalho foram direcionadas a funcionar na internet, utilizando as definições da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) que define os critérios de interoperabilidade para dados geográficos entre organizações, objetivando a colaboração entre instituições de pesquisas e outras entidades parceiras. Este trabalho é o início da composição de um conjunto organizado de base de dados e compartilhamento do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e outros temas como: geologia, clima, relevo, vegetação e etc., devem ser abordados e implementados neste ambiente de maneira incremental, fazendo do instituto uma referência no provimento de dados e informações geográficas para pesquisas correntes e futuras.

Palavras-Chave: Banco de Dados Geográficos, Gestão dos Recursos Hídricos, INDE, SIG

## ***Abstract***

Water management is a recurring theme and appears as a central issue in main lists of discussions amongst heads of states and nongovernmental organizations. It is a scarce and important resource, and therefore its management is central to the process of sustaining life on Earth. In order to allow decision makers minimize environmental impacts and improve the efficiency of water resources use, management tools are needed to provide accurate data.

The Institute of Geosciences and the Faculty of Technology in the University of Brasilia are entities that produce, monitor and conduct research related to water. It is observed that in each new job or cycle are generated and accumulated large amounts of data with geographic features and scattered in different formats, resulting in redundancies and low rates of reuse, becoming thus a specific high cost of production. The lack of organization of spatial data, and collaborative work difficult leads to the limitation of the potential for use, maintenance and storage of water resources.

This work aims to create an organizational pattern for the spatial data and non-geographic Management Systems Databases (DBMS) in a computing platform capable of ensuring ease of use, maintenance and storage. DBMSs provide features that allows the user the ability to manipulate data in an integrated and secure by using a Structured Query Language (SQL). For the adaptation of the existing data to the DBMS, are needed abstraction levels of data modeling, starting with understanding the real scenario (observation of a river flow at a given time period, for example) until they are a tool of database. In the composition of the model database were included logical data models for existing themes: hydrography, hydrology and soil conditions, as well as the selection process of the integration of existing data in the database. The DBMS in this work is a central feature, as the Geographic Information Systems (GIS) can use this data for analysis and maintenance.

Organized data in a trusted and integrated environment, the creation and customization of specific tools for analysis and management of water could be designed and developed. The rates of runoff, water availability and erosion potential allows the agents to assist decision makers in the process of water resource management. The computational tools built in this work were directed to work on the Internet, using the definitions of National Spatial Data Infrastructure (NSDI) which defines the criteria for interoperability of spatial data between organizations, aiming the collaboration between

research institutions and other entities partnerships. This work is the beginning of the composition of an organized and sharing database of the Institute of Geoscience, University of Brasilia and other topics such as geology, climate, topography, vegetation and so on. Must be addressed and implemented in this environment incrementally, making the institute a reference in the provision of data and geographic information for current and future research.

Keywords: Geographical Database, Water Resource Management, INDE, GIS

## 1. Introdução

A água é tema de discussões nas principais reuniões de chefes de estados e organizações não governamentais. Ela é uma componente essencial à sobrevivência da humanidade e sua disponibilidade está comprometida pelo próprio homem, que além de principal consumidor, é também quem modifica o modo como os sistemas funcionam explicam Echeverria (2007) e Isaias (2008).

Para Tonello (2005), a água é um recurso especial, devido ao seu uso múltiplo, mas também pode funcionar como um indicador ambiental da qualidade da manipulação do solo pelo homem.

Na tentativa de compreender o comportamento das variáveis ambientais, pesquisadores utilizam uma série de ferramentas capazes de auxiliar no processo de obtenção de informações. Muitas dessas ferramentas são sistemas computacionais com imensa capacidade de processamento de tarefas, antes incapazes de serem analisadas pelo homem num curto espaço de tempo. Os sistemas de computadores necessitam ser modelados e construídos de forma especializada para atender determinada necessidade.

No Distrito Federal, o Instituto de Geociências (IG) e a Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade de Brasília (UNB) já trabalham na geração, monitoramento e estudos dos aspectos relacionados à água em parceria com a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) e instituições alemãs como a Universidade de Dresden e a *Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung* (UFZ). Estes estudos são abordados em temas como: meteorologia, uso da terra, hidrologia, sedimentometria, qualidade da água e outros.

Com anos de trabalho, muito material de pesquisa foi produzido e muitos deles possuem valor histórico para futuras pesquisas. Com isso, existe a necessidade de integrar e compartilhar os dados elaborados entre outros pesquisadores, empresas e órgãos governamentais. Dessa forma, análises multidisciplinares serão realizadas de forma colaborativa e otimizadas.

Para que a integração entre os estudos seja realizada são necessárias a padronização e organização dos dados, constituindo, dessa forma, os principais motivadores desse trabalho, pois existe uma grande diversidade na forma de organização entre os produtores e utilizadores desses dados.

A estrutura responsável por armazenar os dados geográficos chama-se Banco de Dados Geográfico (BDG). É um sistema computacional que tem a especialidade de

armazenar dados tabulares e espaciais, que são utilizados pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). Sistemas esses também informatizados que têm a capacidade de usar dados espaciais contidos em um BDG e, utilizando algoritmos lógicos, realizam inferências e produzem respostas fundamentais que auxiliam a compreensão de comportamentos como, por exemplo, os ciclos hidrológicos em determinado período de tempo.

Os estudos realizado pela equipe do IG e FT da UnB, além dos trabalhos de monitoramento tem desenvolvido indicadores com o objetivo de identificar o impacto do processo de modificação do padrão do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos, onde pode-se destacar os trabalhos de Isaias (2008), Roig *et al.* (2009) Gonçalves *et al.* (2009), Banzhaf *et al.* (2009), Menezes (2010), Lorts *et al.* (2010 e 2011), Isaias *et al.* (2012). Menezes *et al.* (2012)

### **1.1. Objetivos**

O objetivo desse trabalho é a elaboração de um modelo conceitual de BDG e sua implementação, bem como o desenvolvimento de uma ferramenta multicritério baseado em SIG para avaliação da vulnerabilidade e sustentabilidade dos mananciais e sistemas aquáticos tomando-se como base os estudos de Isaias (2009), Gonçalves *et al.* (2009); Menezes (2010) e Roig *et al.* (2012).

O sistema deverá ser capaz de receber dados, realizar análises e obter respostas na forma de mapas temáticos ou relatórios estatísticos. A internet deverá ser utilizada para publicar os serviços através de um sítio, de modo que qualquer computador conectado à rede seja capaz de utilizar os recursos disponíveis.

Também é escopo desse trabalho o estudo e a implantação da infraestrutura computacional composta por computadores servidores, que abrigarão o BDG e o SIG citados acima, assim como a estruturação de disponibilização dos serviços entre a Universidade de Brasília (UnB), instituições alemãs (UFZ, TU Dresden, Uni BW Munchen, Uni Karlsruhe, Sachsen Wasser), que detêm grande conhecimento na área, e a própria CAESB, uma das principais interessadas nesse trabalho.

A área de estudo é a Bacia do Lago Paranoá - Distrito Federal. Porém, como o objetivo principal desse trabalho é a construção de um modelo computacional que processe variáveis relacionadas a alguns aspectos do uso da água, o mesmo poderá posteriormente ser utilizado em outras regiões que necessitem desse tipo de estudo.

## 1.2. A Gestão Integrada dos Recursos Hídricos no Distrito Federal

Em Isaias (2008) citando o CDRH (2005) descreve que o Distrito Federal (DF) apesar de ser uma região com abundante incidência de nascentes, possui cursos de água com extensões pequenas e de vazões modestas, fator limitante para o abastecimento. Nesta época, o CDRH (2005) relatava que a disponibilidade hídrica no DF encontrava-se abaixo do ideal. Com base neste cenário relativamente atual, observa-se a crescente preocupação com a gestão da água e a necessidade de fomentar e agregar métodos auxiliares neste processo de gestão.

O Distrito Federal possui um Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos (PGIRH) mantido pela Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA) que entre o período de 2004 a 2006 concebeu a primeira versão do plano, abrangendo um conjunto de bacias inseridas no DF e entorno sumarizando uma área de 67.288  $Km^2$ . Na **Figura 1** abaixo é possível visualizar a área de estudos que abrange plano de gerenciamento atualmente.

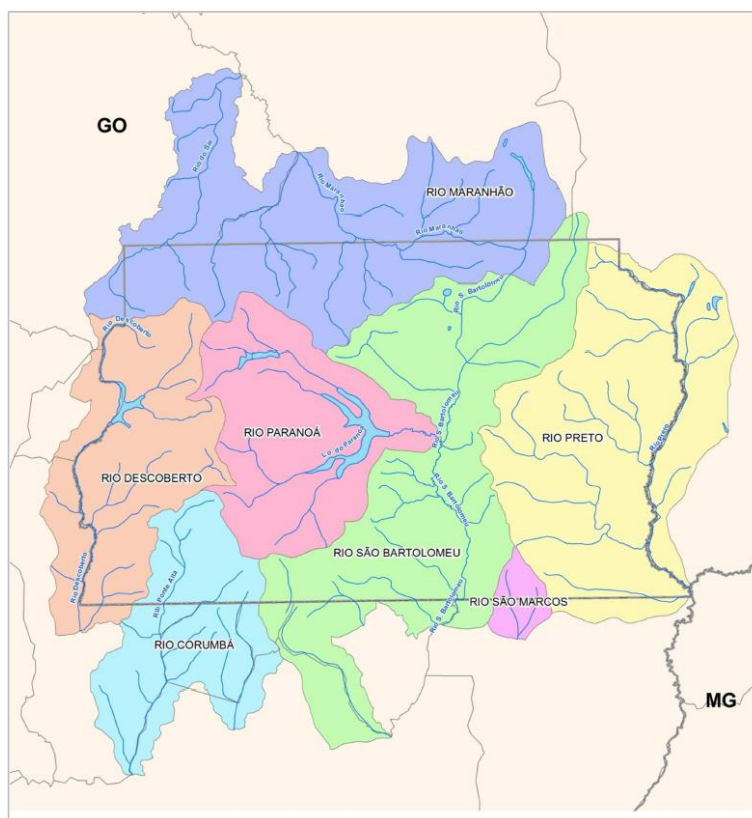


Figura 1: Área de abrangência dos estudos. Fonte: PGIRH (2012).

No PGIRH (2012), observa-se que foram necessários métodos e procedimentos para o processo de atualização dos dados. A exemplo dos resultados obtidos com o estudo, a **Figura 2** retrata o cenário atual do tema uso e ocupação do solo.

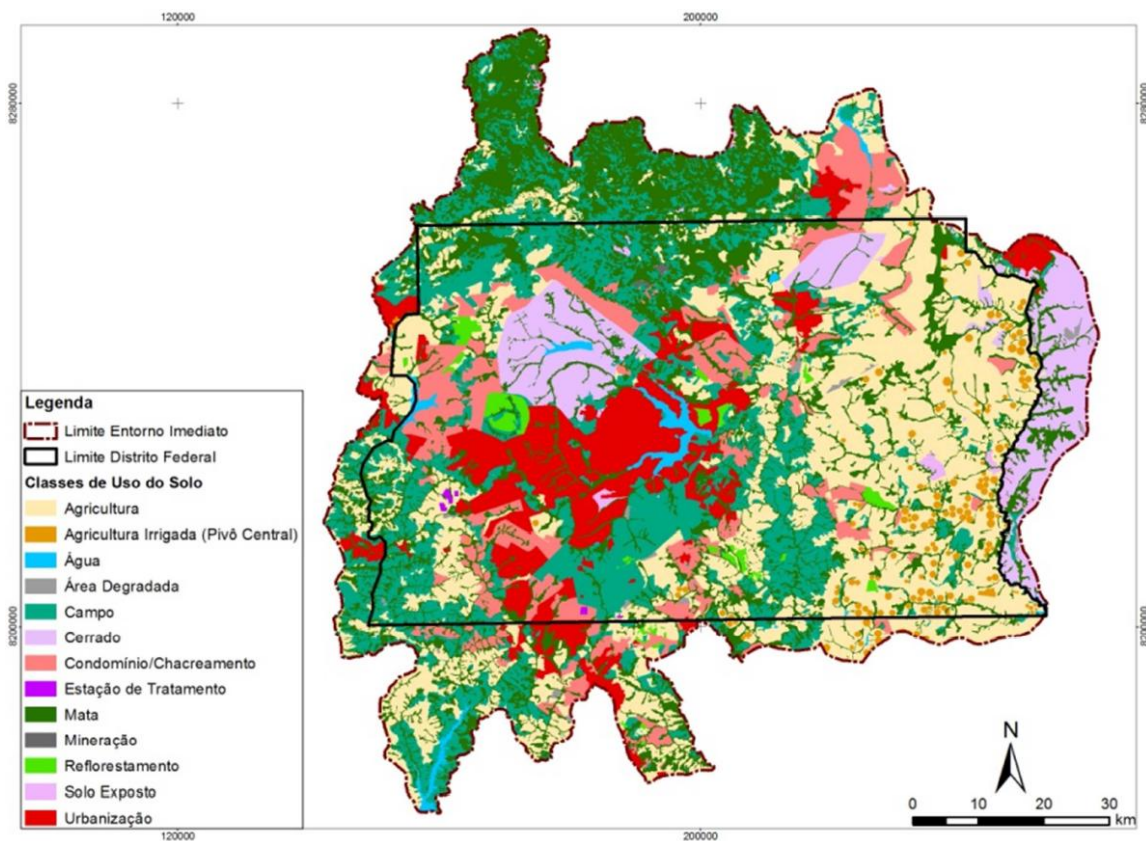


Figura 2: Uso do solo da área de estudos. Fonte: PGIRH/DF, 2012.

Verificando ainda o PGIRH (2012), observa-se o crescente aumento das áreas ocupadas por edificações, de acordo com o estudo, essa variação ocorreu principalmente nas áreas de urbanização espaçada, identificadas como regiões de condomínios e chacreamentos. A **Figura 3** mostra um gráfico do percentual de variação entre os anos de 2003 e 2011.



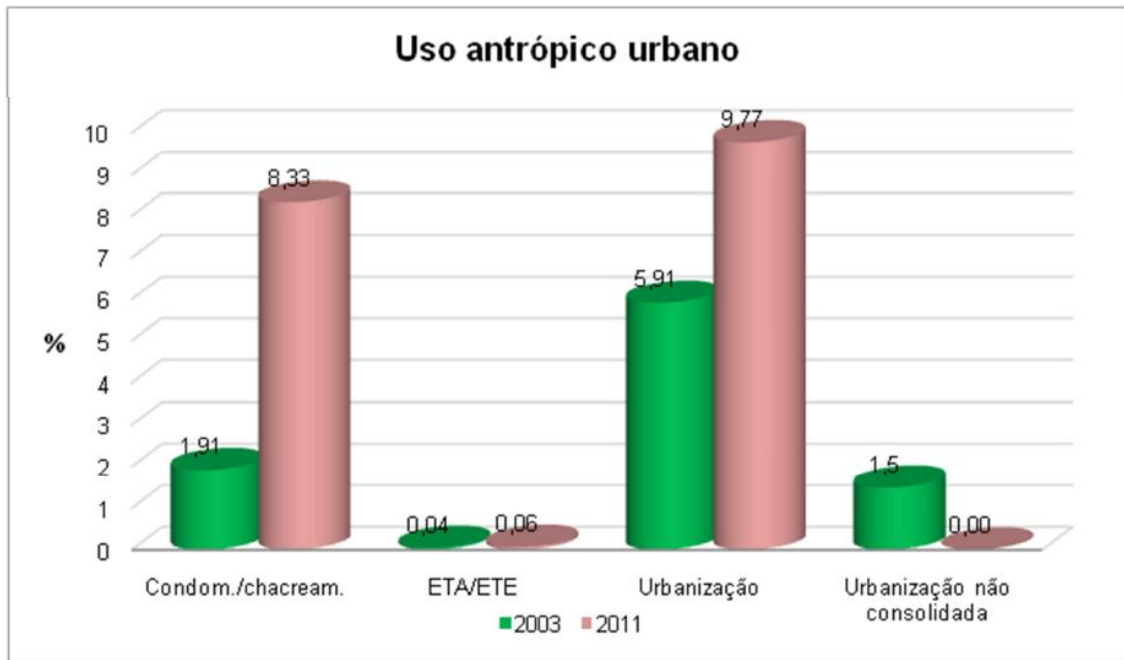


Figura 3: Classes de uso antrópico urbano. Fonte: PGIRH/DF, 2012.

Com base nestas informações e nos objetivos de Isaias (2008) que buscou a composição de indicadores de sustentabilidade de bacias hidrográficas, conclui-se que o processo de acompanhamento e manutenção torna-se periódico e cada vez mais em espaços de tempos menores devido à crescente expansão urbana, como observa-se a variação da ocupação no intervalo de nove anos na Figura 3.

### 1.3. O Estrutura da Dissertação

Este trabalho tem uma característica metodológica, uma vez que utiliza disciplinas e ferramentas da computação para criar ambientes computacionais orientados pela demanda específica da área fim, buscando favorecer os métodos de trabalho existentes nas geociências.

O **Capítulo 2** descreve os conceitos e técnicas existentes para o trabalho de concepção de bancos de dados geográficos. Os sistemas de informações e suas arquiteturas também são conceituadas neste capítulo de forma a prover o conhecimento da composição e organização dos dados desde onde ficam armazenados até a disponibilização para o uso.

No **Capítulo 3** são descritas as ferramentas computacionais necessárias para o desenvolvimento do trabalho, dentre as ferramentas estão os servidores de banco de dado, extensões espaciais e sistemas de informações de apoio.

No **Capítulo 3** também são descritos os métodos de trabalho e os modelos conceituais de dados são analisados para a composição do modelo lógico do banco de dados. Também são descritos os processos necessários para a criação efetiva do banco de dados modelado. Neste capítulo os procedimentos de carga do banco de dados, processo de aquisição de novos dados, capacidade de utilizar o banco de dados como agente integrador de tecnologias e a aplicação de indicadores ambientais em ferramenta de modelagem também são descritos.

O **Capítulo 4** descreve os resultados obtidos com este trabalho, que tiveram como produtos: um modelo de dados geográficos consolidado e aplicado à gestão das águas, o banco de dados implantado em tecnologia de armazenamento denominado Sistema Gerenciador de Banco de Dados e um conjunto de três indicadores ambientais (escoamento superficial, potencial de recarga e potencial a erosão).

No **Capítulo 5** são observadas as conclusões do trabalho e as evidências da utilização dos produtos consolidados no trabalho.

Por fim o **Capítulo 6** mostra as visões futuras que a elaboração deste trabalho poderá fornecer como a criação de novos indicadores ambientais e a expansão do modelo de banco de dados para suportar novos temas relevantes para o gerenciamento dos recursos hídricos.

## 2. Fundamentos Teóricos

### 2.1. Modelagem Conceitual de Dados Geográficos

Modelar conceitos de dados geográficos é abstrair elementos de interesse do ambiente real e transcrevê-los em outra linguagem de representação respeitando os comportamentos, suas características e as relações existentes entre os objetos modelados. Para Câmara *et al.* (2001) no contexto da representação da geoinformação é necessária a aplicação do *paradigma dos quatro universos*, proposto inicialmente por Gomes e Velho (1995). Este paradigma busca em seus quatro passos descrever um objeto qualquer do mundo real na sua representação computacional como mostra a **Figura 4**.

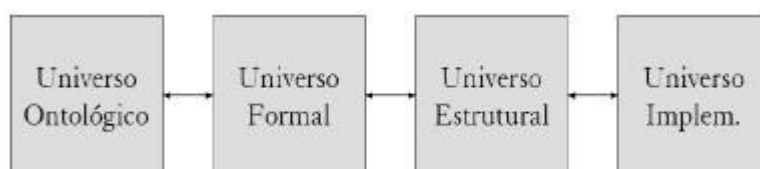


Figura 4: Paradigma dos quatro universos (Câmara *et al.*, 2005).

Segundo Câmara (1995), o primeiro universo retrata as percepções reais do observador, que é influenciado por suas habilidades e experiências em trabalhos passados semelhantes. Os objetos visualizados são materializados pelo observador e buscam responder questões como: Que entidades são necessárias para descrever o cenário desejado em estudo? (Smith, 2003). As entidades podem ser rede hidrográfica, tipos de solos, caracterização das formas do terreno.

O segundo universo representa como os elementos do primeiro universo se relacionam uns com os outros, quais as características e comportamentos serão retratados. A abstração, neste universo, é utilizada para representar apenas os aspectos interessantes ao estudo. A **Figura 5** retirada de Menezes (2010) ilustra a abstração das Unidades Hidrográficas e sua rede hidrográfica referenciada de uma imagem de satélite:

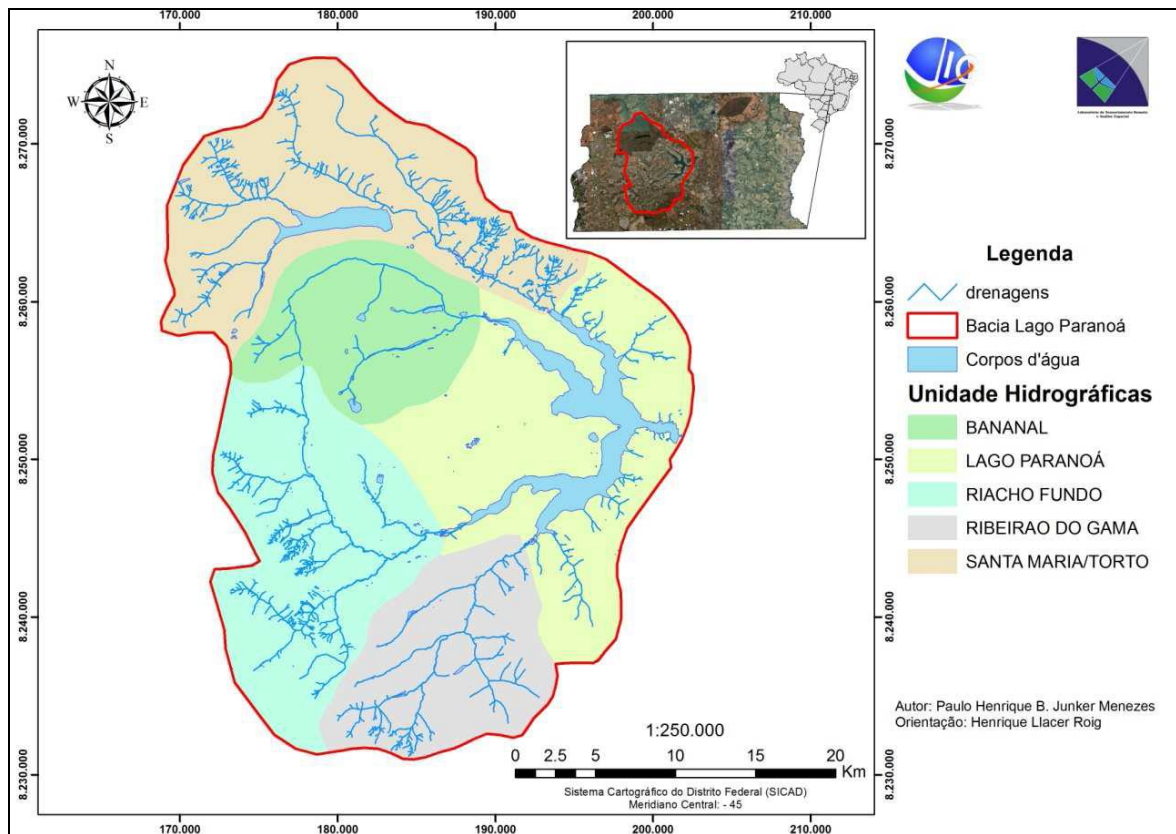


Figura 5: Abstração das Unidades Hidrográficas da Bacia do Paranoá (Menezes, 2010)

O modelo criado por Rumbaugh *et al.* (1991) chamado Object Modeling Technique (OMT) trabalha no nível do universo formal (segundo universo). Esta ferramenta é bastante utilizada por engenheiros de sistemas de informação para modelar os cenários reais e transformá-los em aplicações computacionais. Mais tarde os trabalhos de Davis *et al.* (2002) utilizam os conceitos e elementos do modelo OMT e agregaram a componente geográfica, criando uma nova forma de modelar dados geográficos chamado Object Modeling Technique for Geographic Applications (OMT-G) (Borges *et al.*, 2001). O OMT-G é a técnica utilizada no processo de consolidação do banco de dados geográfico desse trabalho.

O universo estrutural (terceiro universo) é um passo de refinamento do universo anterior. Aqui, os atributos, os tipos de dados e os algoritmos são identificados e descritos para a consolidação das estruturas de dados, sendo este, elemento básico utilizado na construção de sistemas computacionais. Neste universo, o objetivo é definir a arquitetura para sistemas gerenciadores de banco de dados (SGBD) e os aspectos de interoperabilidade que serão utilizados para que os dados sejam distribuídos.

Por último, o universo de implementação (quarto universo) é o mais próximo da realidade computacional, onde são definidas arquiteturas computacionais, linguagens e paradigmas de programação, métodos de acesso aos dados e outras componentes relacionadas à construção efetiva do sistema de informação.

A utilização do paradigma dos quatro universos como ferramenta de modelagem é uma forma de interpretar e compreender cenários reais e representá-los em meios computacionais.

### **2.1.1. Técnica de Modelagem de Objetos para Aplicações Geográficas (OMT-G)**

O modelo de dados OMT-G (Borges *et al.*, 2001) define um conjunto de primitivas gráficas que torna esta ferramenta capaz de representar estruturas geográficas de um ambiente real em diagramas. O OMT-G é uma extensão espacial do OMT que é baseado na definição da *Unified Modeling Language* (UML) (Rational Software Corporation, 1997). A UML já é utilizada no processo de modelagem de sistemas computacionais convencionais. Ela possui representações que podem descrever desde como o usuário irá interagir com o sistema, até o fluxo de dados entre os componentes internos do sistema.

As primitivas para uma modelagem OMT-G são: estruturas topológicas “todo-parte”, estruturas de rede, múltiplas representações de objetos e relacionamentos espaciais permitindo a especificação de atributos e comportamentos associados a cada classe. O modelo é baseado em três conceitos principais: classes, relacionamentos e restrições de integridade espacial. Definindo os principais conceitos, temos:

- **Classes** - são estruturas de dados, com a função de representar um objeto do mundo real com características e comportamentos próprios.
- **Relacionamentos** - são estruturas que conectam semanticamente as classes, reproduzindo o elo existente na realidade. Por exemplo: o relacionamento existente entre um rio e a superfície de um terreno, é que um está sobreposto ao outro.
- **Restrições de integridade espacial** - estrutura que impede o relacionamento equivocado entre duas classes geográficas. Por exemplo: numa aplicação de cadastramento urbano, um lote deve estar sempre dentro dos limites de uma quadra; caso exista um lote sem uma quadra, ou ainda que um lote extrapole os limites da quadra, há um problema de restrição de integridade geográfica associada a uma regra

de negócio pré-estabelecida por alguma entidade, onde, no caso, pode ser a secretaria de cadastro técnico da prefeitura.

A **Figura 6** exibe um trecho da modelagem do banco de dados hidrográfico (INDE, 2008) desenvolvido com a ferramenta de modelagem StarUML (Lee *et al.*, 2005) e extensão OMT-G (Pinheiro, 2010).

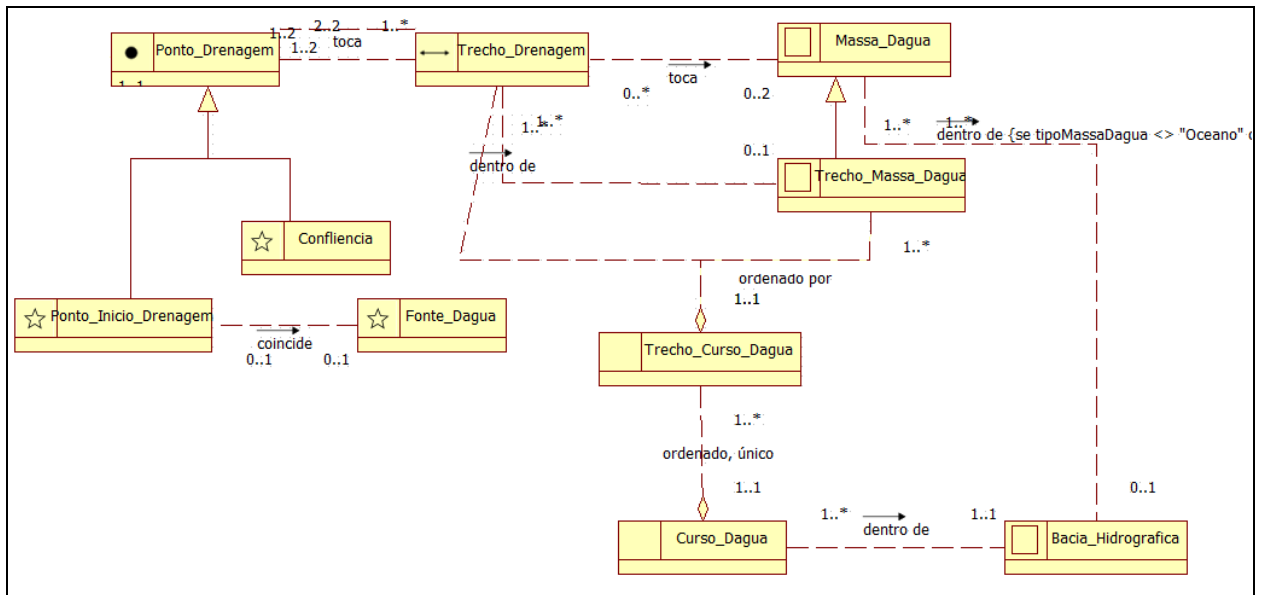


Figura 6: Parte do modelo hidrográfico em OMT-G.

### 2.1.2. GeoProfile

Do mesmo núcleo de pesquisadores do modelo OMT-G, o GeoProfile proposto por Sampaio (2009) discute sobre um Perfil UML para modelagem conceitual de banco de dados geográficos com as melhores características entre os modelos de dados geográficos OMT-G (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001), MADS (PARENT; SPACCAPIETRA; ZIMÁNUI, 2008), GeoOOA (KÖSTERS; PAGEL; SIX, 1997), UML-GeoFrame (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2008) e o modelo implementado na ferramenta Perceptory (BÉDARD, 1999).

Ao contrário dos outros modelos o GeoProfile reúne as seguintes características: fenômenos geográficos e objetos convencionais, visões de campo e objetos, aspectos espaciais, aspectos temáticos, múltiplas representações, relacionamentos espaciais e aspectos temporais. A **Tabela 1** mostra a relação de utilização de conceitos para compor o GeoProfile.

Tabela 1: Contribuições para o GeoProfile. Fonte: Sampaio (2009)

<i>Modelos X Requisitos</i>	<i>GeoOOA</i>	<i>MADS</i>	<i>OMT-G</i>	<i>Perceptory</i>	<i>UML-GeoFrame</i>	<i>Contribuição para o GeoProfile</i>
<b>Fenômenos geográficos e objetos convencionais</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Perceptory
<b>Visões de campo e objetos</b>	Parcial	Parcial	Sim	Não	Sim	OMT-G
<b>Aspectos espaciais</b>	Parcial	Sim	Sim	Sim	Sim	OMT-G, UML- GeoFrame
<b>Aspectos temáticos</b>	Não	Não	Sim	Sim	Sim	UML- GeoFrame
<b>Múltiplas representações</b>	Parcial	Sim	Sim	Sim	Sim	UML- GeoFrame
<b>Relacionamentos espaciais</b>	Parcial	Sim	Sim	Parcial	Parcial	MADS, OMT-G
<b>Aspectos temporais</b>	Parcial	Sim	Não	Sim	Parcial	MADS, Perceptory

- **Fenômenos geográficos e objetos convencionais** - é a capacidade de descrever objetos geográficos e convencionais no mesmo modelo conceitual. Geralmente, as características geográficas são notadas com um símbolo no canto superior esquerdo indicando o tipo de objeto geográfico seja ele ponto, linha, polígono, isolinhas, etc.
- **Visões de campo e objetos** - as visões de campos também chamados de geo-campos segundo Câmara (1995) representam objetos e fenômenos distribuídos continuamente no espaço, correspondendo a variáveis como tipo de solo, relevo e geologia. As visões de objetos ou geo-objetos representam objetos geográficos particulares, individualizáveis, associados a elementos do mundo real, como edifícios, rios e árvores. Pode-se exemplificar ainda, que os dados vetoriais sejam classificados como visões de objetos e dados matriciais, como imagens de sensoriamento remoto de visões de campos.
- **Aspectos espaciais** - é a capacidade de representar visões de campos e objetos nas classes do modelo, com o objetivo de facilitar a interpretação da modelagem.

- **Aspectos temáticos** - capacidade de representar campos ou objetos de mesma característica, agrupando-os de forma a facilitar a compreensão do projetista e de outras pessoas.
- **Múltiplas representações** - um mesmo fenômeno geográfico pode ter múltiplas representações, e isso é uma das características das aplicações geográficas. Um trecho de rio pode ser representado por uma linha ou também por um polígono dependendo do nível de representação e finalidade de uso.
- **Relacionamentos espaciais** - como comentado anteriormente, representar os relacionamentos existente entre as classes no modelo é fundamental para a modelagem dos dados. Além de serem umas das atribuições mais difíceis de identificar e descrever, existem muitos tipos e variações de relacionamentos, desde os topológicos, passando pelos métricos até os convencionais.
- **Aspectos temporais** - capacidade de modelagem de um banco de dados armazenar mudanças ocorridas num espaço de tempo. Pode ser representada por atributos descritivos e em elementos geográficos que são modificados com o passar do tempo. Como exemplo pode-se acompanhar a degradação ou recuperação de uma área de vegetação.

A **Figura 7** mostra as relações existentes entre os estereótipos do geoprofile.



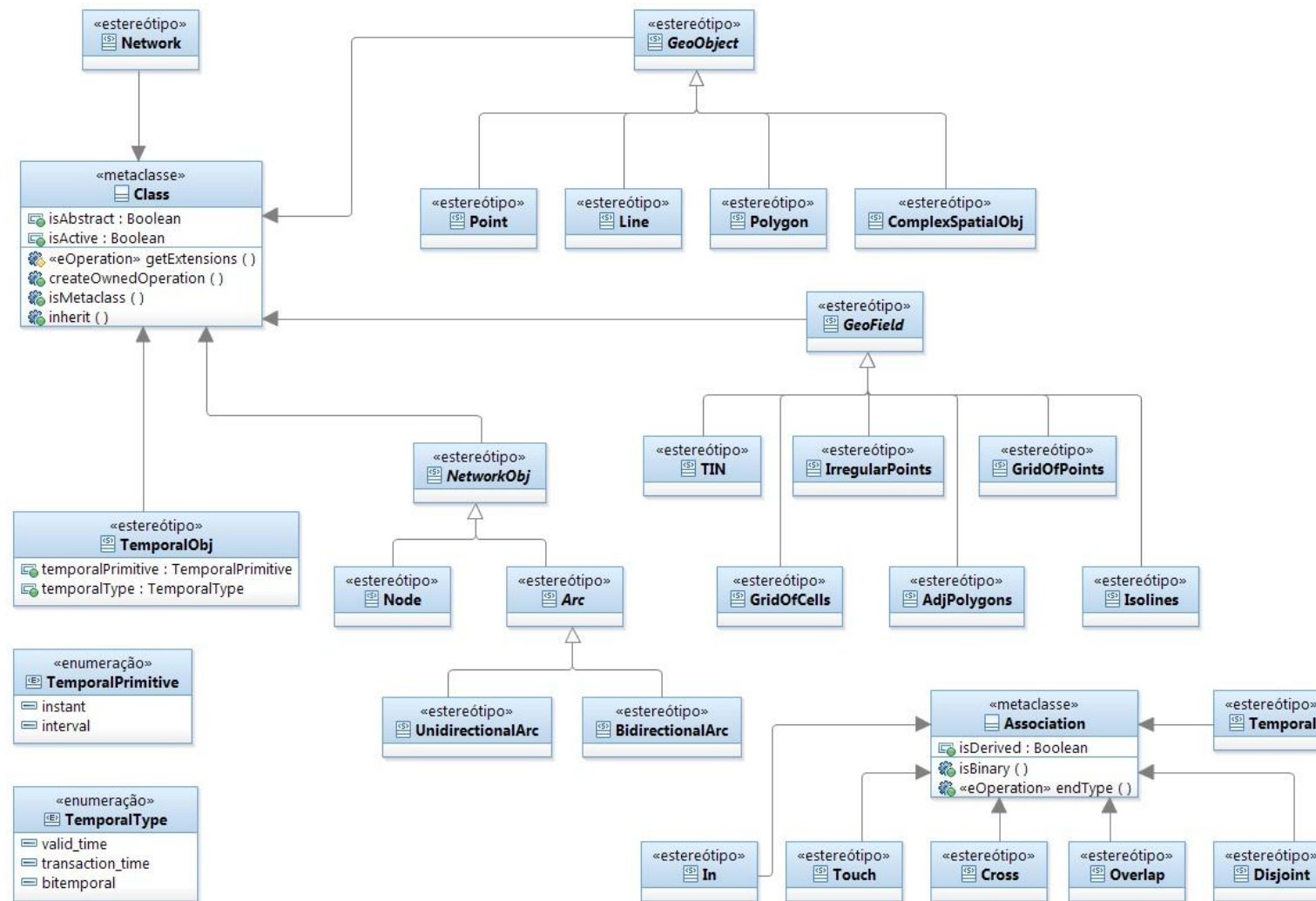


Figura 7: Estereótipos do Geoprofile. Fonte: Sampaio (2009)

### **2.1.3. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE**

A Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) é uma iniciativa do Governo Federal criada pelo Decreto Presidencial Nº 6.666, de 27 de Novembro de 2008. Tem como objetivo conforme o Art 1º:

*“I - promover o adequado ordenamento na geração, no armazenamento, no acesso, no compartilhamento, na disseminação e no uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal, em proveito do desenvolvimento do País;*

*II - promover a utilização, na produção dos dados geoespaciais pelos órgãos públicos das esferas federal, estadual, distrital e municipal, dos padrões e normas homologados pela Comissão Nacional de Cartografia - CONCAR; e*

*III - evitar a duplicidade de ações e o desperdício de recursos na obtenção de dados geoespaciais pelos órgãos da administração pública, por meio da divulgação dos metadados relativos a esses dados disponíveis nas entidades e nos órgãos públicos das esferas federal, estadual, distrital e municipal.*

*§ 1º Para o atendimento dos objetivos dispostos neste artigo, será implantado o Diretório Brasileiro de Dados Geoespaciais - DBDG, que deverá ter no Portal Brasileiro de Dados Geoespaciais, denominado “Sistema de Informações Geográficas do Brasil - SIG Brasil”, o portal principal para o acesso aos dados, seus metadados e serviços relacionados”.*

O decreto demonstra a necessidade da padronização e organização dos dados geográficos nos organismos públicos, que são grandes geradores e utilizadores das informações geográficas.

Na INDE há a Especificação Técnica da Estrutura de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV), no qual é composto de um conjunto de modelos conceituais elaborados pelos organismos competentes a cada área de interesse, como a Agência Nacional das Águas, o Ministério das Cidades, o Exército Brasileiro, o Ministério dos Transportes e outros órgãos. Estes modelos conceituais foram construídos utilizando as especificações de modelagem da OMT-G e estão disponíveis para serem utilizados como referência em projetos com característica geográfica e vetorial.

A definição dos modelos conceituais teve segundo a EDGV em sua versão 2.1 publicada em 2009, a colaboração do núcleo permanente que mantém a definição composta pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), Diretoria de Serviços Geográficos do Exército (DSG), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Cartografia da Aeronáutica (ICA), Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e pela Companhia Brasileira de Recursos Minerais. A Agência Nacional das Águas (ANA) participou como colaboradora nas definições específicas.

Assim como a ET-EDGV, a Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV versão 1.0) padroniza a forma de aquisição e concepção dos dados geográficos. Nessa especificação, aspectos relacionados à qualidade cartográfica, escalas de representação, padronização de metadados e as orientações para a construção dos objetos geográficos são definidos.

Para o caso da ET-EDGV existem alguns modelos conceituais de banco de dados já concebidos, tais como: hidrografia, relevo, vegetação, sistema de transporte, energia e comunicações, abastecimento de água e saneamento básico, educação e cultura, estrutura econômica, localidades, pontos de referência, limites, administração pública, saúde e serviço social.

#### **2.1.4. Open Geospatial Consortium (OGC)**

O consórcio geoespacial aberto, da sigla OGC em inglês é composto por um conjunto de 448 entidades de diversas categorias, que se subdividem em companhias, agências governamentais e universidades que estão distribuídas em vários países. Estas entidades realizam um trabalho colaborativo para a produção de padrões de interfaces para dados geoespaciais (OGC, 2012). Os padrões estabelecidos pela OGC suportam soluções interoperáveis baseadas na internet e que também são desenvolvidos para trabalhar com informações espaciais complexas e serviços utilizados por diferentes tipos de aplicações (OGC, 2012). Segundo pesquisa realizada em Março de 2011 pela organização, seus colaboradores estão concentrados na Europa, América do Norte, Ásia-Pacífico e a menor parte, porém em expansão, distribuído entre América do Sul, África e Oriente Médio.

O *OGC standard* é um documento estabelecido em consenso e aprovado por membros da organização, que provém um conjunto de regras e diretrizes, objetivando a interoperabilidade em um determinado contexto de utilização. O comitê técnico de políticas e procedimentos utiliza-se das definições da *International Organization for Standardization* (ISO).

Os padrões atualmente aprovados pela OGC estão agrupados em conjuntos temáticos de serviços de catálogo, serviços de processamento, codificação, serviços de dados, serviço de retrato (imagem) e outros padrões comuns. Abaixo serão descritos os principais padrões:

- **GeoAPI 3.0** - este é um padrão de implementação que define, a utilização da biblioteca GeoAPI, uma linguagem Java Application Programming Interface (API), incluindo um conjunto de tipos e métodos que podem ser usados para a manipulação de informação geográfica estruturada seguindo as especificações aprovadas pelo Comitê Técnico da *International Organization for Standardization* (ISO) e pela *Open Geospatial Consortium* (OGC).
- **Web Feature Service (WFS)** - é um padrão para especificar pedidos de recuperação de características geográficas na internet usando uma plataforma independente de camada. O padrão WFS define interfaces e operações para acesso a dados e manipulação de um conjunto de características geográficas incluindo: recurso de consulta com base em limitações espaciais e não espaciais, criar um dado espacial (recurso) novo, obter a descrição das propriedades e características de um recurso, excluir uma instância de recurso ou bloquear a instância de um recurso. A codificação principal para a representação dos recursos é a *Geography Markup Language* (GML), embora outras codificações também possam ser utilizadas.
- **Web Map Service (WMS)** - é um padrão que fornece uma interface *HyperText Markup Language* (HTML) simples para solicitar imagens geo-referenciadas de uma ou mais bases de dados geoespaciais distribuídas. Um pedido WMS define a(s) camada(s) geográfica(s) e área de interesse, para ser processado. A resposta ao pedido é uma ou mais imagens geo-referenciadas (retornada como JPEG, PNG, etc.) que podem ser exibidas em um aplicativo de navegador de internet. A interface também suporta a capacidade para especificar se as imagens enviadas devem ser transparentes, para que as camadas de vários servidores possam ser combinadas ou não. Por utilizar padrões de imagens simples, este serviço torna-se a principal forma de acessar dados geográficos disponibilizados em servidores. Observa-se, também, que todo processamento geográfico é realizado no servidor, ficando o navegador do usuário somente responsável por processar as imagens JPEG, por exemplo.

- **Web Coverage Service (WCS)** - é um padrão que define uma interface padrão e operações que permitem o acesso interoperável para dados geoespaciais do tipo “matriz”. O termo “matriz” normalmente se refere a conteúdos como imagens de satélite, fotos aéreas digitais e dados de elevação digital. Este padrão também possui a definição de operação de transação, onde opcionalmente pode ser implementado por servidores WCS. Esta operação de transação permite ao usuário adicional, modificar e eliminar dados matriciais num servidor WCS. As referências de transação ou operação de solicitação incluem a criação de novo dado matricial ou modificação de um existente, abrangendo todos os metadados necessários para um dado matricial.
- **Keyhole Markup Language (KML)** - é um padrão de dados baseado em eXtensible Markup Language (XML) especializado para visualização de dados geográficos, incluindo anotação de mapas e imagens. A visualização geográfica permite a representação gráfica de dados do globo terrestre e também o controle de navegação do usuário no sentido de: para onde ir e olhar. Este padrão é utilizado pelo popular aplicativo Google Earth.
- **Geographic Markup Language (GML)** - é um padrão de dados baseado em eXtensible Markup Language (XML) para descrever características geográficas. O GML é utilizado como uma linguagem de modelação para sistemas geográficos, bem como um formato de intercâmbio aberto para transações geográficas na internet. Como a maioria das gramáticas XML base, existem duas partes para a gramática: o esquema que descreve o documento equivalente ao metadado e o documento de instância que contém os dados reais. Um documento GML é escrito utilizando um esquema GML. Isso permite que usuários e desenvolvedores possam descrever conjuntos de dados geográficos genéricos que contêm pontos, linhas e polígonos.
- **Simple Feature Specification (SFS)** - é a especificação que fornece um modelo bem definido e comum de armazenamento de recursos geográficos em banco de dados relacionais ou objeto-relacionais, de modo que os dados podem ser utilizados para suporte a outras aplicações através de um modelo com características comuns. As características do SFS descrevem os recursos geoespaciais utilizando elementos

vetoriais, tais como pontos, linha e polígonos. Esta especificação é dividida em duas partes. A primeira descreve a arquitetura comum do modelo geométrico e os operadores espaciais, a segunda define os métodos de acesso e manipulação dos dados geográficos.

## 2.2. Arquitetura de Sistemas de Informações Geográficas

Câmara *et al* (2005) descreve que em aspectos gerais um SIG é composto por uma interface de utilização, pontos de entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, métodos de visualização e plotagem e uma componente de armazenamento e recuperação de dados, sob um formato de banco de dados geográfico. Estas componentes interagem de forma hierárquica, desde a camada mais próxima do utilizado, caracterizando a interface do homem com a máquina, passando por uma camada intermediária, onde estão compreendidos os mecanismos de processamento dos dados espaciais e por fim o nível mais interno do sistema contemplado pelo sistema gerenciador de banco de dados, responsável pelo armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos descritivos. A **Figura 8** ilustra as partições em camadas.

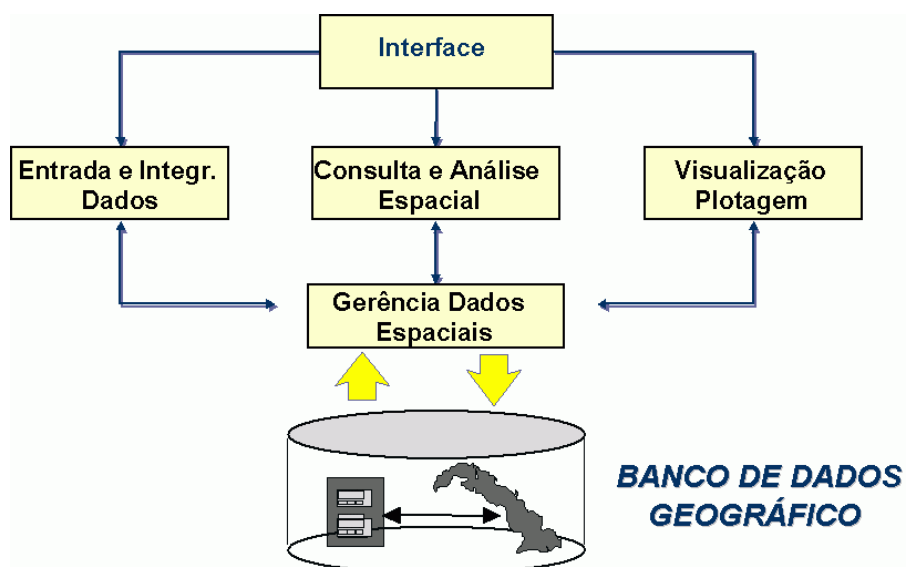


Figura 8: Estrutura geral de sistemas de informação geográfica adaptado de Câmara *et al.* (2005).

A principal característica que difere a arquitetura de um SIG de outro, é a forma como eles organizam e gerenciam os dados geográficos (Câmara *et al*, 2005). Ainda segundo Câmara *et al.* (2005) existem basicamente três arquiteturas diferentes de SIG que fazem uso de Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBDs) Objeto-Relacionais:

dual, integrada baseada em SGBDs relacionais e integrada baseada em extensões espaciais sobre SGBDs Objeto-Relacionais.

A **arquitetura dual** utiliza-se de um banco de dados responsável por armazenar os atributos descritivos no formato de tabelas (linhas e colunas) e arquivos para armazenar os atributos geométricos que se relacionam com os primeiros. As linhas de uma tabela equivalem aos registros e as colunas aos atributos que descrevem cada característica daquele registro. Cada registro da tabela contido em um banco de dados tem seu equivalente geométrico no arquivo de geometrias e para que isso ocorra é necessária a existência de um atributo-chave, também chamado de identificador único que tem o papel de estabelecer a relação lógica entre os dois tipos de dado.

Este modelo de arquitetura tem como principal benefício o uso de SGBDs, que possuem ferramentas de consulta e análise de dados descritivos. Os dados geográficos, por sua vez, estão fora do contexto do SGBD, dificultando a otimização das consultas, o controle transacional, a integridade e a administração da concorrência dos dados. Existem comercialmente sistemas que trabalham com esta arquitetura dual, são eles: ArcView (ESRI) e Spring (INPE) (Câmara, 1995). A **Figura 9** ilustra o contexto de uma abordagem *dual*.



Figura 9: Arquitetura dual. Fonte: Câmara *et al.* (2005).

Além de sistemas com arquiteturas duais, existem padrões de arquivos que também seguem esta mesma arquitetura, como no caso do padrão de armazenamento de dados da especificação *Shape File* (SHP) (ESRI, 1998) que é um exemplo de arquitetura dual. Como

ilustrado na **Figura 10**, são necessários três tipos de arquivos para compor o formato SHP, onde cada um tem uma função específica.

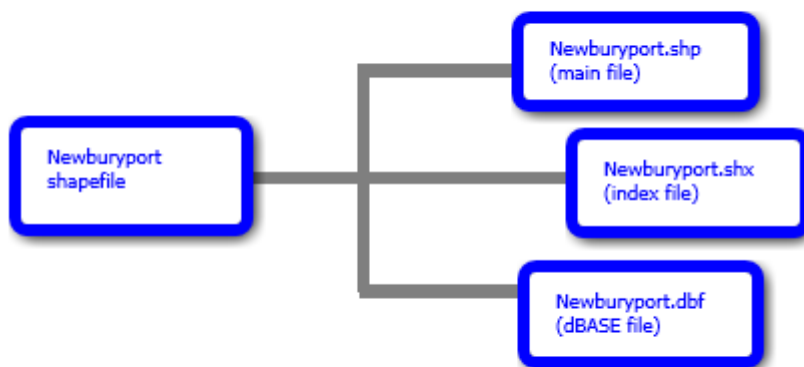


Figura 10: Composição do Shape File. Fonte: ESRI (1998).

O arquivo cuja extensão é *shp*, é responsável por armazenar as estruturas geográficas no formato de vetores, o arquivo com extensão *dbf*, é responsável por abrigar os dados que descrevem as geometrias e, por fim, o arquivo *shx* tem um papel integrador entre as partes espaciais e descritivas, utilizando a definição de identificador para a composição da relação lógica entre os diferentes tipos de dados.

A abordagem da **arquitetura integrada** consiste na utilização SGBDs, assim como na arquitetura dual, integrando a componente geográfica no SGBD. Assim se obtém dados alfanumérico e espacial num único contexto tecnológico de armazenamento. Neste cenário, as ferramentas existentes no SGBD podem ser compartilhadas para gerenciar dados alfanuméricos e espaciais, eliminando a manutenção do arquivo de dados espaciais como na abordagem *dual* e concentrando em um único ponto a administração dos dados. A **Figura 11** ilustra o contexto da abordagem integrada.



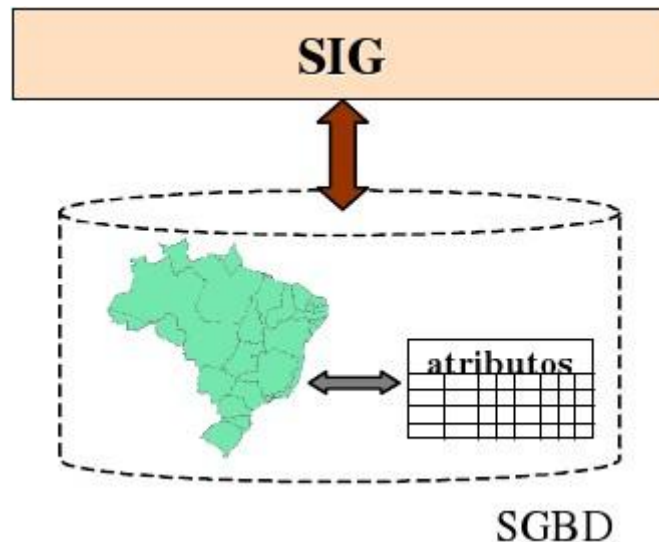


Figura 11: Arquitetura Integrada. Fonte: Câmara *et al.* (2005).

Na abordagem integrada existem duas formas de armazenar os dados, o que está diretamente relacionado com a capacidade do SGBD guardar os dados espaciais. Ela pode estar baseada em SGBDs relacionais ou então em extensões espaciais aplicadas sobre o SGBD objeto-relacional. A primeira utiliza o formato binário de atributo, também conhecido como *Binary Large Object* (BLOB), que dá ao banco de dados a capacidade de armazenar imagens, arquivos textos e também estruturas gráficas. Esta forma de armazenar o dado espacial, limita-se apenas a esse contexto, pois da forma como os “binários” são dispostos, não é possível conhecer a semântica do conteúdo e o SGBD passa a ter apenas o papel de “armazenador”, ficando a responsabilidade de processamento e otimização de consultas a critério do SIG.

A segunda forma utiliza extensões espaciais, desenvolvidas para serem integradas ao SGBDs objeto-relacionais. Estas extensões possuem um conjunto de funções e procedimentos que dão ao SGBD a capacidade de armazenar dados espaciais na forma de vetor, possibilitando a utilização de expressões matemáticas que realizem operações para cálculo de área, distância e interseção por exemplo. No contexto da segunda forma, um cálculo para soma de vetores poderia facilmente ser realizada utilizando as funções da extensão espacial, conforme a **Figura 12**, uma ilustração de soma de vetores.

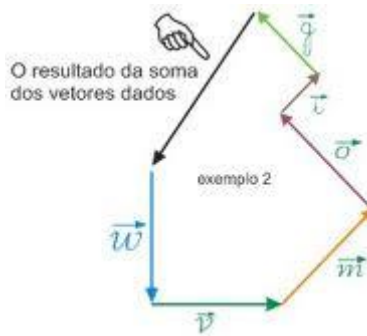


Figura 12: Soma de vetores.

As diferentes técnicas de arquitetura utilizadas em Sistemas de Informações Geográficas segundo Câmara *et al.* (2005) podem ser configuradas em vários formatos: tradicional, dual, baseada em *Computer-Aided Design* (CAD), relacional, orientado a objetos, *Desktop Mapping*, baseado em imagens e integrado com uso de imagens e vetores. Para este trabalho apenas duas das arquiteturas acima mencionadas serão referenciadas.

A primeira é a **arquitetura dual**, que por consequência da caracterização do SGBD e dos arquivos de dados espaciais, é estruturada conforme a **Figura 13**.

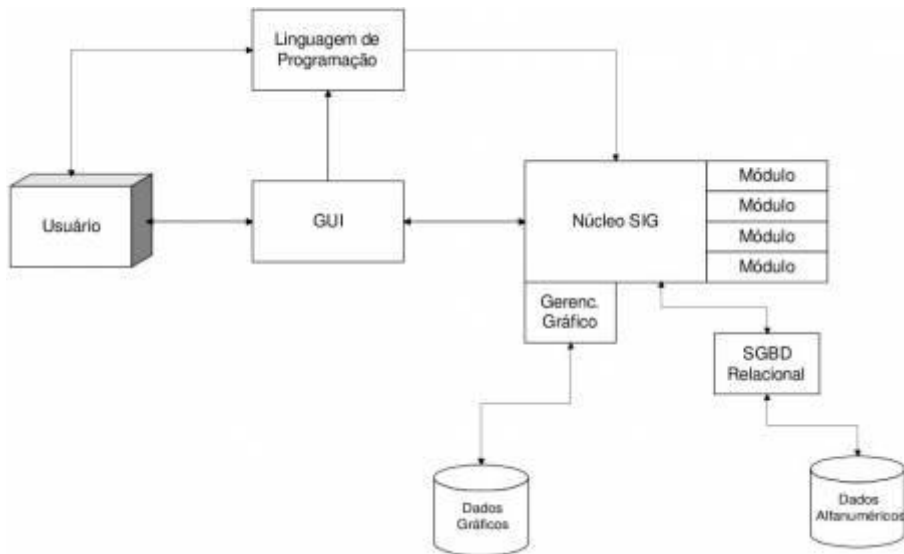


Figura 13: Arquitetura dual. Fonte: Câmara *et al.* (2005)

Esta arquitetura é composta de um SGBD independente, capaz de gerenciar os dados alfanuméricos e atuar como interface entre os dados propriamente ditos e o núcleo do SIG. A base de dados geográficos, nessa arquitetura, necessita de funcionalidades extras agregadas ao núcleo do SIG para garantir a operacionalização e a integração com seus respectivos atributos descritivos. O SIG está dividido em **Núcleo do SIG** onde são realizadas as operações espaciais comuns como: cálculo de área, relações de união ou

interseção, distâncias, dentre outros. Módulos específicos são agregados para dar suporte a determinadas particularidades como, por exemplo, um conjunto de funções para identificar uma rede de drenagem. Uma **Graphical User Interface (GUI)**, como o próprio nome diz, disponibiliza uma forma gráfica para o usuário utilizar as funcionalidades do SIG. Em muitas implementações observa-se a existência de um **módulo de programação** que permite ao usuário construir funcionalidades customizadas com o apoio de uma GUI ou utilizando um terminal de comando que irá sensibilizar diretamente o núcleo do SIG. A manipulação dos dados, nesse cenário, deve ser supervisionada e criteriosa, pois a relação entre geometria e texto só existe no nível da aplicação.

A segunda é a **arquitetura integrada**, que consolida no mesmo SGBD os aspectos de atributos descritivos e espaciais. A **Figura 14** ilustra a implementação deste ambiente.

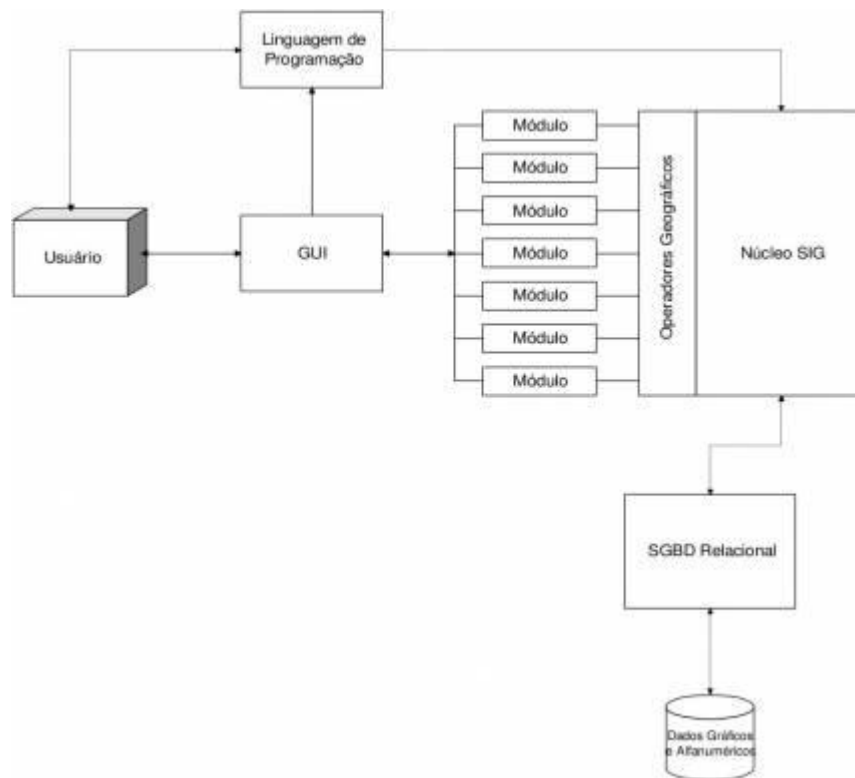


Figura 14: Arquitetura Integrada, Fonte: Câmara *et al.* (2005)

A **arquitetura integrada** é considerada uma evolução da arquitetura dual, pois tem como principal característica a integração dos dados num ponto focal (o SGBD). Desta forma o Núcleo do SIG pode manipular os dados de maneira integral e confiável, sendo capaz de gerenciar o acesso simultâneo de usuários e outros benefícios que um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) pode prover. Com a adição da extensão geográfica ao SGBD, a utilização da *Structure Query Language (SQL)* pode ser utilizada

através de funções para selecionar e manipular dados espaciais, um dos pontos mais importantes dessa arquitetura, por exemplo: selecionar todos os bairros de um determinado município que estão dentro ou na região de uma bacia hidrográfica em estudo.

Com a garantia de manipulação dos dados descritivos e geográficos, as implementações no Núcleo do SIG tornam-se mais dinâmicas e customizáveis, os módulos específicos podem ficar externos ao núcleo principal, aumentando a capacidade de customização, adicionando ou removendo os módulos de acordo com a necessidade de cada cenário de aplicação.

Para Câmara *et al.* (2005), uma das linhas de pesquisas em geoprocessamento que está ganhando importância na comunidade, é o uso da internet para acessar e manter dados geográficos. Com isso várias arquiteturas são propostas, mas ainda não há um padrão claro de uso. Uma das alternativas utilizadas consiste em disponibilizar ao usuário uma interface através de um navegador de internet, que utilizando um formulário de solicitação, informa descritivamente as características geográficas e submete para processamento no servidor; após analisar a solicitação o servidor envia para o navegador cliente um conjunto de imagens relacionadas aos parâmetros solicitados. Esta alternativa é problemática, pois onera o servidor de aplicação no caso de vários usuários solicitarem simultaneamente e o gerenciamento das imagens pode comprometer o desempenho do servidor. Trafegar as imagens pela internet também é oneroso e compromete a performance da aplicação, aumentando o tempo de resposta ao usuário solicitante.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Servidor de Banco de Dados

Para este trabalho utilizou-se o Servidor de Banco de Dados ou Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL em sua versão 8.4. O PostgreSQL é um SGBD objeto-relacional de código aberto, seu processo ativo de desenvolvimento e amadurecimento tem mais de 15 anos, foi iniciado na Universidade de Berkeley na Califórnia. Este SGBD tem compatibilidade com os Sistemas Operacionais (SOs) GNU/Linux, Unix e Microsoft Windows.

O PostgreSQL possui total compatibilidade com conceitos de ACID (acrônimo de **A**utenticidade, **C**onsistência, **I**solamento e **D**urabilidade), este é conceito definido na computação para a caracterização da transação (operação de manipulação de dado no SGBD), suporte a chaves estrangeiras, junções (JOINS), visões, gatilhos e procedimentos armazenados (em múltiplas linguagens) e dentre outras características, possui compatibilidade com os principais tipos de dados definidos na ISO SQL:1999.

Usado em projetos corporativos, o PostgreSQL é dotado de funcionalidades sofisticadas que possibilitam o controle de concorrência multiversionado, recuperação dos dados em um ponto no tempo, cópias de segurança, um planejador de consultas e registrador de transações seqüencial para tolerância a falhas. A **Tabela 2** descreve os valores limítrofes desta tecnologia de armazenamento.

Tabela 2: Valores limítrofes do PostgreSQL.

<i>Limite</i>	<i>Valor</i>
Tamanho Máximo do Banco de Dados	Ilimitado
Tamanho Máximo de uma Tabela	32TB
Tamanho Máximo de uma Linha	1,6TB
Tamanho Máximo de um Campo	1GB
Máximo de Linhas por Tabela	Ilimitado
Máximo de Colunas por Tabela	250-1600 dependendo do tipo de coluna
Máximo de Índices por Tabela	Ilimitado

Fonte: Site oficial do PostgreSQL.

(<http://www.postgresql.org/about/>).

Acessado em 12 de Dezembro de 2011.

#### 3.2. Servidor de Serviços Geográficos

É uma componente tecnológica que constitui parte do segmento de uma arquitetura de SIG, sua atribuição é fornecer através de um canal de comunicação funcionalidades de

visualização e manipulação de dados geográficos vetoriais e matriciais. Atualmente, estes serviços são fornecidos por um computador servidor a outros computadores clientes numa rede de computadores local (intranet) ou global (internet).

Para possibilitar a comunicação entre o servidor e seus clientes, são utilizados um conjunto de protocolos, o TCP (Transmission Control Protocol) e o IP (Internet Protocol), conhecidos como Protocolos TCP/IP. Com este conjunto de protocolos de comunicação pode-se implementar padrões interoperáveis específicos. A OGC, citada anteriormente, é uma das entidades que produzem estes padrões específicos para dados geográficos, a exemplo do WMS (Web Map Service) que é definida numa interface de hipertexto, o HTML é definido na camada de aplicação dos protocolos TCP/IP.

Um servidor de serviços geográficos é um software que em seu núcleo implementa funcionalidades capazes de administrar serviços geográficos. Para este trabalho foram contemplados dois servidores sendo eles o Geoserver (Geoserver, 2011) em sua versão 2.1.3 de 21 de Dezembro de 2001, possui código fonte aberto e projetado para garantir a interoperabilidade entre sistemas de informações, por isso permite o uso de padrões abertos definidos pela OGC (WCS 1.0, WMS 1.1.1 e WFS 1.0). O outro servidor de serviços geográficos é o proprietário ArcGIS Server 10 mantido pela empresa Norte Americana ESRI (ESRI, 2010); o ArcGIS Server 10 além de seus próprios padrões de comunicação, também implementa a especificações abertas da OGC dando compatibilidade com outros sistemas.

A empresa ESRI fornece uma suíte composta por *softwares* especializados para manutenção e distribuição de dados espaciais. A **Figura 15** mostra a integração entre as soluções fornecidas.

## The ArcGIS Server System Architecture

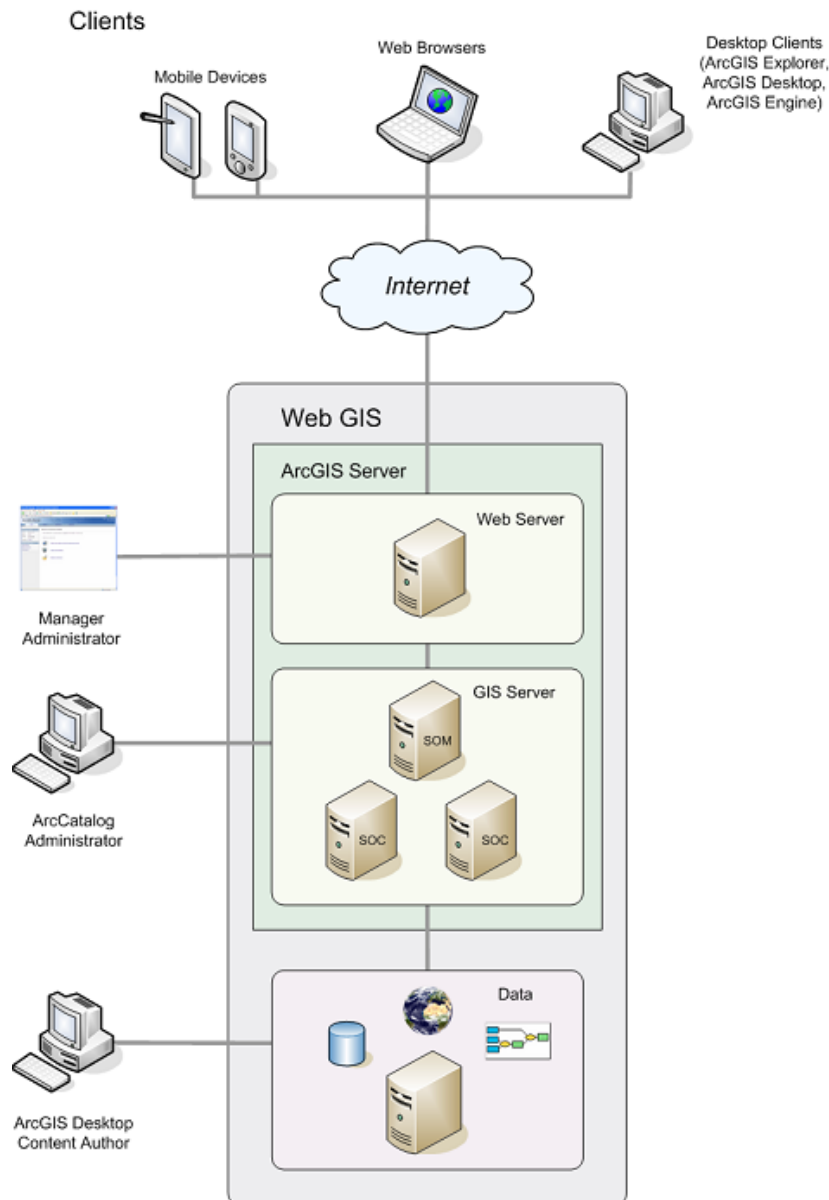


Figura 15: Arquitetura do sistema ArcGIS Server 10. Fonte:

[http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3/java/index.htm#components\\_of\\_server.htm](http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3/java/index.htm#components_of_server.htm). Acessado em 12 de Janeiro de 2011.

O ArcGIS Server 10 foi utilizado neste trabalho como principal ferramenta para publicação dos serviços na internet, pois o Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial da Universidade de Brasília (LABSRAE/UnB) utiliza as ferramentas da ESRI para produção de mapas, uma vez que os dados produzidos estarão num banco de dados e serão acessados pelo aplicativo ArcSDE 10.

Observando a vertente de *software* livre este trabalho não descarta a possibilidade de utilização do servidor de serviços geográficos GeoServer. Para um cenário de softwares livres, a arquitetura de sistemas poderia ter um formato conforme a **Figura 16**.

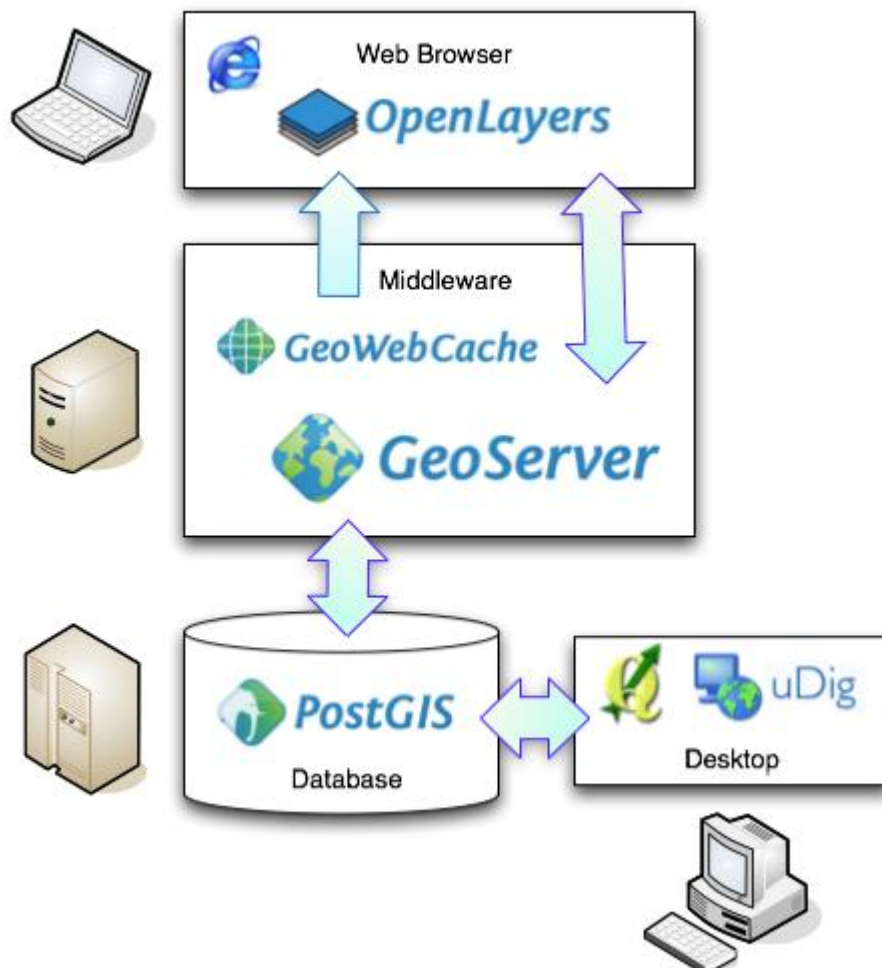


Figura 16: Arquitetura livre de serviços geográficos. Fonte: OpenGEO (<http://opengeo.org/publications/opengeo-architecture/>. Acessado em Janeiro de 2011).

### 3.3. Ferramenta de Modelagem de Banco de Dados

Durante o processo cognitivo de compreensão do problema, é utilizada a técnica de abstração do cenário com o objetivo de restringir as variáveis e identificar as componentes específicas relacionadas aquele problema. Este é o início da modelagem dos dados. Para esta tarefa é necessária uma ferramenta computacional de apoio para conceber graficamente os modelos conceituais, lógicos e físicos.

No processo de modelagem de banco de dados geográfico, observou-se que não havia ferramenta de modelagem capaz de auxiliar produtivamente os aspectos geográficos, em contrapartida havia a necessidade de representar graficamente as relações espaciais



existentes entre entidades geográfica-geográfica e geográfica-descritiva. Por este motivo utilizou-se duas ferramentas de modelagem de dados geográficos.

Para representar as características geográficas utilizou-se a ferramenta de modelagem unificada de código aberto StarUML (Lee *et al*, 2005) com a extensão espacial OMT-G (Pinheiro, 2010) para implementar o modelo conceitual, adquirindo as características que possibilitaram a modelagem dos dados geográficos com as características da OMT-G (Borges *et al.*, 2001), seguindo assim o postulado da INDE (2008). Desta forma, o modelo de dados geográfico pôde ser visualizado e avaliado de maneira mais adequada, porém o processo para transformar este modelo efetivamente num banco de dados geográfico foi classificado como improdutivo, devido a inexistência de funcionalidades da ferramenta de modelagem geográfica StarUML (Lee *et al*, 2005). Sendo necessária a utilização da segunda ferramenta especializada em modelagem de banco de dados descrita abaixo.

Para adquirir eficiência e conseguir as abstrações necessárias durante o processo de modelagem do banco de dados geográfico, a ferramenta ER Studio (Embarcadero) foi utilizada para manter e atualizar o modelo nos níveis lógico e físico. Este *software* possui um conjunto de funcionalidades capaz de representar as características objeto-relacionais, ficando as representações geográficas no modelo produzido pelo StarUML e extensão OMT-G. Utilizando o ER Studio houve a possibilidade de, através do modelo de banco de dados, gerar o banco de dados no SGBD PostgreSQL efetivamente, obtendo *scripts SQL* ou realizando uma conexão diretamente no Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD). A **Figura 17** mostra o processo para modelagem do banco de dados.

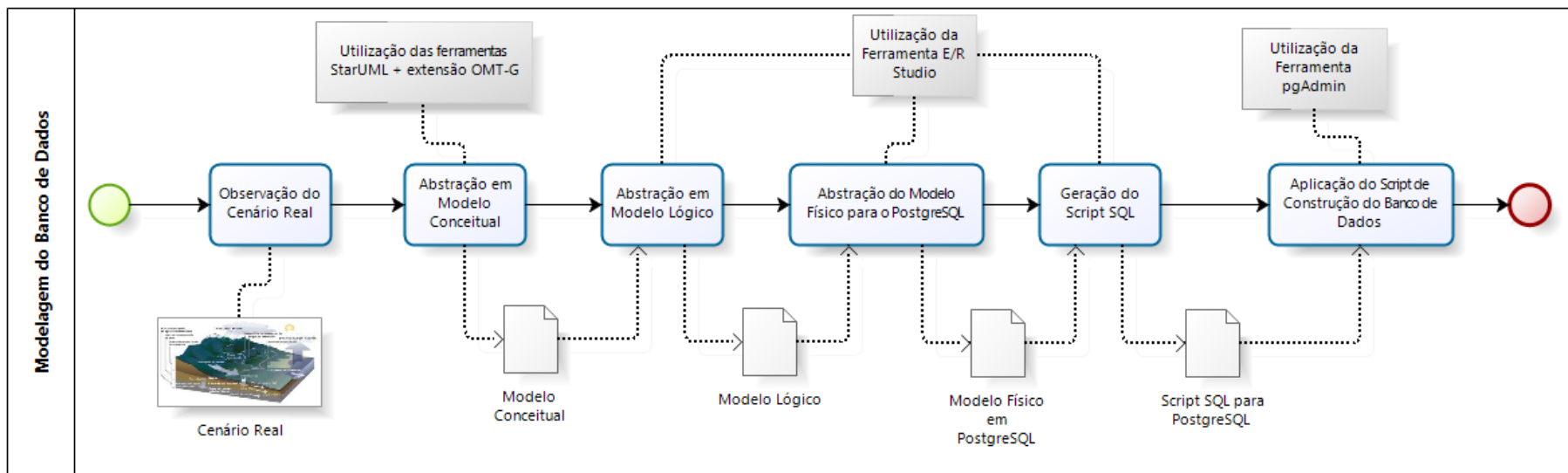


Figura 17: Processo de modelagem do banco de dados.

### 3.4. Extensões Espaciais

O PostgreSQL, como citado anteriormente, não possui a capacidade de manipular nem armazenar dados geográficos de forma adequada, para isso é necessária uma ferramenta com tal capacidade. O que difere uma entidade geográfica de outra não-geográfica, num determinado banco de dados, é apenas um atributo que tem em sua definição as características necessárias para armazenar um dado na forma de vetores. Junto à definição vetorial do atributo está a característica geográfica que posiciona aquele conjunto de vetores no plano terrestre, utilizando uma definição cartográfica específica (Sistema de Referência Espacial).

Com a diferença de conceitual centralizada no atributo da entidade, os fabricantes e mantenedores de SGBDs construíram extensões com funcionalidades capazes de manipular dados geográficos e um novo tipo de dado geométrico. Estas extensões são agregadas aos seus respectivos SGBDs, tornando-os aptos a trabalharem com este novo tipo de dado. Neste trabalho foram utilizadas duas extensões espaciais, uma de código aberto aqui representada pelo PostGIS (OSGeo Project) e outra proprietária representada pelo ArcSDE (ESRI). O objetivo de utilizar as duas extensões foi aumentar o rol de aplicativos capazes de conectar ao banco de dados e fazer uso deles.

#### 3.4.1. PostGIS

O PostGIS é um projeto mantido pelo *Open Source Geoespacial Foundation* (OSGeo), como o próprio nome sugere, esta extensão espacial foi concebida para ser integrada especificamente com o PostgreSQL. Atualmente, na versão 2.0 liberada para utilização em Abril de 2012, porém a versão utilizada neste projeto foi a 1.5 devido a sua compatibilidade e estabilidade com a versão 8.4 do PostgreSQL.

Esta extensão adota o padrão aberto *Simple Feature Specification* (SFS) da OGC para definir a forma de armazenar e manipular os dados geográficos. Ao instalar o PostGIS, é adicionado um conjunto de funções programadas em PL/pgSQL (*Procedural Language of PostgreSQL*) no SGBD além do novo tipo de dado geográfico denominado *geometry*.

O atributo *geometry* é capaz de armazenar diferentes formas geográficas vetoriais. A **Tabela 3** lista todas as formas de representação suportadas pela extensão.

Tabela 3: Tipos de geometrias existentes.

<i>Tipo de Geometria</i>	<i>Descrição</i>
Point	a Point
LineString	a LineString with 3 points
Polygon	a Polygon with 1 exteriorRing and 0 interiorRings
Multipoint	a MultiPoint with 2 points
MultiLineString	a MultiLineString with 2linestrings
MultiPolygon	a MultiPolygon with 2 polygons
GeomCollection	a GeometryCollection consisting of 2 Point values and a LineString value
Polyhedron	A polyhedron cube, corner at the origin and opposite corner at (1, 1, 1).
Tin	A tetrahedron (4 triangular faces), corner at the origin and each unit coordinate digit.
Point	a 3D Point
Point	the same 3D Point with M value of 40
Point	a 2D Point with M value of 40

Fonte: adaptado de OGC (2012).

Com este conjunto de funções, as geometrias podem ser avaliadas conforme necessidade do negócio para o qual o banco de dados geográfico foi concebido. A **Tabela 4** lista um conjunto de operações geográficas para análise de relacionamentos e medidas espaciais possíveis entre dados geográficos para a versão 1.5 do PostGIS (utilizada neste trabalho).

Tabela 4: Funções de análise do PostGIS 1.5.

Function	Description
ST_Area	Returns the area of the surface if it is a polygon or multi-polygon. For "geometry" type area is in SRID units. For "geography" area is in square meters.
ST_Azimuth	Returns the angle in radians from the horizontal of the vector defined by pointA and pointB
ST_Centroid	Returns the geometric center of a geometry.
ST_ClosestPoint	Returns the 2-dimensional point on g1 that is closest to g2. This is the first point of the shortest line.
ST_Contains	Returns true if and only if no points of B lie in the exterior of A, and at least one point of the interior of B lies in the interior of A.
ST_ContainsProperly	Returns true if B intersects the interior of A but not the boundary (or exterior). A does not contain properly itself, but does contain itself.
ST_Covers	Returns 1 (TRUE) if no point in Geometry B is outside Geometry A. For geography: if geography point B is not outside Polygon Geography A
ST_CoveredBy	Returns 1 (TRUE) if no point in Geometry/Geography A is outside Geometry/Geography B
ST_Crosses	Returns TRUE if the supplied geometries have some, but not all, interior points in common.
ST_LineCrossingDirection	Given 2 linestrings, returns a number between -3 and 3 denoting what kind of crossing behavior. 0 is no crossing.
ST_Disjoint	Returns TRUE if the Geometries do not "spatially intersect" - if they do not share any space together.
ST_Distance	For geometry type Returns the 2-dimensional cartesian minimum distance (based on spatial ref) between two geometries in projected units. For geography type defaults to return spheroidal minimum distance between two geographies in meters.
ST_HausdorffDistance	Returns the Hausdorff distance between two geometries. Basically a measure of how similar or dissimilar 2 geometries are. Units are in the units of the spatial reference system of the geometries.
ST_MaxDistance	Returns the 2-dimensional largest distance between two geometries in projected units.
ST_Distance_Sphere	Returns minimum distance in meters between two lon/lat geometries. Uses a spherical earth and radius of 6370986 meters. Faster than ST_Distance_Spheroid, but less accurate. PostGIS versions prior to 1.5 only implemented for points.
ST_Distance_Spheroid	Returns the minimum distance between two lon/lat geometries given a particular spheroid. PostGIS versions prior to 1.5 only support points.
ST_DFullyWithin'	Returns true if all of the geometries are within the specified distance of one another
ST_DWithin	Returns true if the geometries are within the specified distance of one another. For geometry units are in those of spatial reference and For geography units are in meters and measurement is defaulted to use_spheroid=true (measure around spheroid), for faster check, use_spheroid=false to measure along sphere.
ST_Equals	Returns true if the given geometries represent the same geometry. Directionality is ignored.
ST_HasArc	Returns true if a geometry or geometry collection contains a circular string
ST_Intersects	Returns TRUE if the Geometries/Geography "spatially intersect" - (share any portion of space) and FALSE if they don't (they are Disjoint). For geography -- tolerance is 0.00001 meters (so any points that close are considered to intersect)
ST_Length	Returns the 2d length of the geometry if it is a linestring or multilinestring. geometry are in units of spatial reference and geography are in meters (default spheroid)
ST_Length2D	Returns the 2-dimensional length of the geometry if it is a linestring or multi-linestring. This is an alias for ST_Length
ST_Length3D	Returns the 3-dimensional or 2-dimensional length of the geometry if it is a linestring or multi-linestring.

ST_Length_Spheroid	Calculates the 2D or 3D length of a linestring/multilinestring on an ellipsoid. This is useful if the coordinates of the geometry are in longitude/latitude and a length is desired without reprojection.
ST_Length2D_Spheroid	Calculates the 2D length of a linestring/multilinestring on an ellipsoid. This is useful if the coordinates of the geometry are in longitude/latitude and a length is desired without reprojection.
ST_Length3D_Spheroid	Calculates the length of a geometry on an ellipsoid, taking the elevation into account. This is just an alias for ST_Length_Spheroid.
ST_LongestLine	Returns the 2-dimensional longest line points of two geometries. The function will only return the first longest line if more than one, that the function finds. The line returned will always start in g1 and end in g2. The length of the line this function returns will always be the same as st_maxdistance returns for g1 and g2.
ST_OrderingEquals	Returns true if the given geometries represent the same geometry and points are in the same directional order.
ST_Overlaps	Returns TRUE if the Geometries share space, are of the same dimension, but are not completely contained by each other.
ST_Perimeter	Return the length measurement of the boundary of an ST_Surface or ST_MultiSurface value. (Polygon, Multipolygon)
ST_Perimeter2D	Returns the 2-dimensional perimeter of the geometry, if it is a polygon or multi-polygon. This is currently an alias for ST_Perimeter.
ST_Perimeter3D"	Returns the 3-dimensional perimeter of the geometry, if it is a polygon or multi-polygon.
ST_PointOnSurface	Returns a POINT guaranteed to lie on the surface.
ST_Relate	Returns true if this Geometry is spatially related to anotherGeometry, by testing for intersections between the Interior, Boundary and Exterior of the two geometries as specified by the values in the intersectionMatrixPattern. If no intersectionMatrixPattern is passed in, then returns the maximum intersectionMatrixPattern that relates the 2 geometries.
ST_ShortestLine	Returns the 2-dimensional shortest line between two geometries
ST_Touches	Returns TRUE if the geometries have at least one point in common, but their interiors do not intersect.
ST_Within	Returns true if the geometry A is completely inside geometry B

Fonte: Manual PostGIS 1.5 ([http://postgis.refractor.net/documentation/manual-1.5/reference.html#Geometry\\_Processing](http://postgis.refractor.net/documentation/manual-1.5/reference.html#Geometry_Processing). Acessado em Janeiro de 2012).

### 3.4.2. ArcSDE

O ArcSDE é uma tecnologia para banco de dados mantida pela empresa ESRI. Ela é uma evolução do *geodatabase* (ESRI), que possui suas versões *Personal Geodatabase*, *File Geodatabase* e o *ArcSDE Geodatabase*, os dois primeiros tipos de banco de dados geográfico seguem uma especificação tecnológica desenvolvida pela própria ESRI para manutenção, controle e armazenamento dos dados. Estas duas soluções dispensam a utilização de um SGBD, pois já possuem seu controle interno, porém limitado. A terceira tecnologia, o *ArcSDE Geodatabase* pode ser classificada como uma ferramenta de extensão espacial, pois esta agrega-se a um SGBD objeto-relacional, tornando-o capaz de manipular dados geográficos, assim como o PostGIS e, com isso, todos os benefícios de um SGBD são agregados. O ArcSDE possui uma forma própria de armazenar e controlar os dados geográficos, limitando a interoperabilidade com outros aplicativos de padrão aberto.

O ArcSDE tem versões que podem ser agregadas aos mais populares sistemas gerenciadores de banco *open source* e proprietários, sendo eles: IBM DB2, Informix Dynamic Server, Microsoft SQL Server, Oracle e PostgreSQL.

Devido à especificação própria de armazenamento dos dados geográficos, sua utilização fica restrita ao uso das ferramentas proprietárias da suíte ESRI, que possuem notável habilidade de produção e manutenção geográfica. O ArcInfo, produto integrante da suíte ESRI, é uma importante ferramenta para o processo de criação e manutenção de dados espaciais vetoriais e matriciais, pois ela contém um grande conjunto de funcionalidades, desde edição de dados vetoriais até sua validação topológica. A **Figura 18** mostra como estas ferramentas podem ser integradas num ambiente operacional.

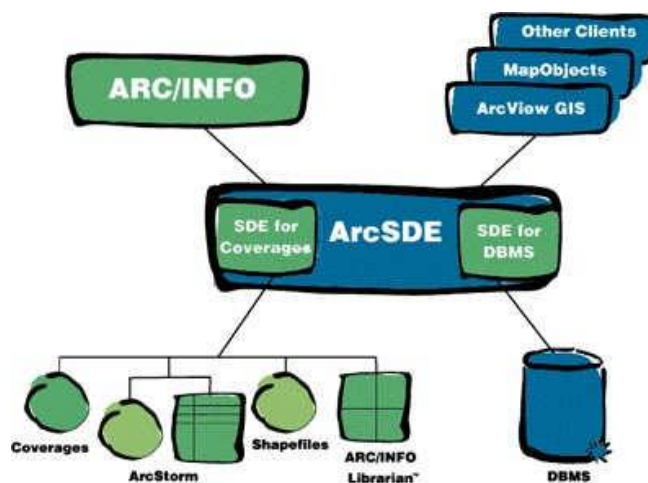


Figura 18: Integração do ArcSDE.

Fonte:ESRI (<http://www.esri.com/news/arcuser/0799/arcde.html>. Acessado em Dezembro de 2011).

Outra característica importante desta tecnologia de armazenamento é sua capacidade de registrar todas as operações de criação, edição e exclusão de dados geográficos, possível com a associação do ArcSDE com o ArcInfo. Esta característica é utilizada em ambientes produtivos que envolvem grupos de trabalho onde se deseja administrar as fases da construção de mapas, este cenário deverá compor o processo de trabalho do laboratório do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. A **Figura 19** descreve estratégias utilizadas para gerenciar o processo de produção de dados geográficos.

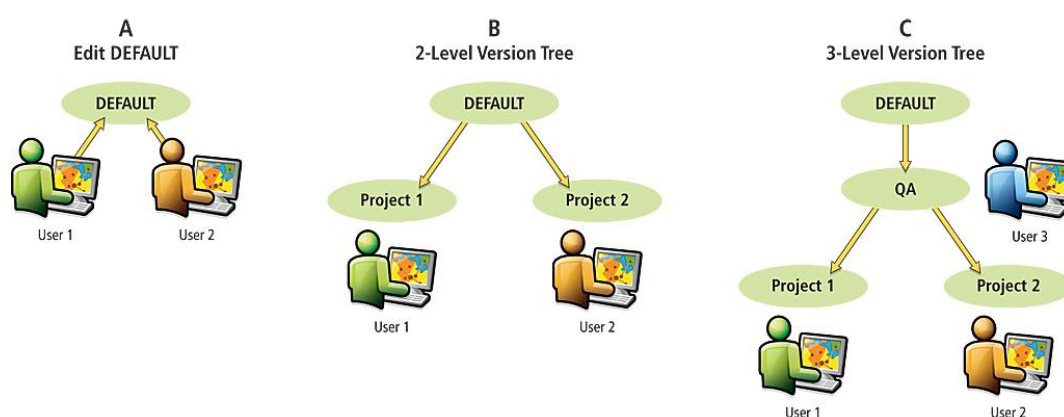


Figura 19: Três exemplos de fluxos para a estratégia de versionamento.  
 Fonte: ESRI (<http://www.esri.com/news/arcuser/0110/versioning101.html>. Acessado em Dezembro de 2011).

O exemplo “A” aborda dois usuários trabalhando com os dados geográficos diretamente no mesmo nível. Esta abordagem requer um alto grau de gerenciamento entre os indivíduos, pois pode haver perdas por sobreposição, exclusão ou alteração do dado motivado pela concorrência e o baixo gerenciamento. O exemplo “B” insere uma camada para casa usuário. Esta abordagem deve manter o gerenciamento entre os indivíduos, porém desta forma cada usuário tem sua cópia (versão) dos dados. Ao consolidar sua cópia com as alterações na cópia localizada no nível hierárquico superior, avaliará as alterações antes de consolidar a versão principal e, assim, farão os outros usuários as operações de avaliar sua versão com o nível superior e consolidar. O exemplo “C” assemelha-se ao exemplo B, inserindo a figura de um agente responsável pelo controle da qualidade. Este agente é responsável por acompanhar e coordenar as consolidações na camada de qualidade e, só posteriormente, é levada ao maior nível hierárquico ou nível de utilização pelo usuário final. As três abordagens descritas anteriormente são utilizadas conforme a necessidade de controle de manutenção de cada projeto.



### 3.5. Sistemas de Informações Convencionais e Geográficos de Apoio

As ferramentas abaixo foram utilizadas durante o processo de construção deste trabalho com dois objetivos. Primeiro, analisar as características funcionais do HidroWeb, SIG Solos e ArcHidro e posteriormente a utilização efetiva dessas ferramentas para desenvolver as atividades de manipulação de dados geográficos.

#### 3.5.1. ArcInfo 10

O ArcInfo 10 (ESRI) é uma ferramenta proprietária, como citado anteriormente, e sua utilização foi importante para o processo de, geração, manutenção e análise dos dados geográficos (vetoriais e matriciais) e descritivos. Esta ferramenta foi a principal opção para a manipulação de dados, devido a sua capacidade de suportar tipos distintos de arquivos geográficos ou não.

Este trabalho tem como um dos objetivos a implementação e sistematização dos indicadores propostos por Isaias (2009), Gonçalves *et al.* (2009); Meneses (2010) e Roig *et al* (2012). Para isso, optou-se por utilizar uma ferramenta denominada *Model Builder* que está integrada ao ArcInfo 10 (ESRI, 2010). Esta ferramenta tem a característica de facilitar a utilização de outras ferramentas, propondo um ambiente gráfico no qual o pesquisador pode construir seu fluxo de trabalho adotando ferramentas específicas. Uma vez criado o fluxo, este poderá ser reutilizado diversas vezes, eliminando o esforço para atividades repetitivas.

A **Figura 20** descreve um fluxo implementado, utilizando o auxílio do *Model Builder*. Este fluxo utiliza a ferramenta de intersecção entre os dados de solo e uso do solo, por exemplo, para ao final gerar um indicador de escoamento superficial.

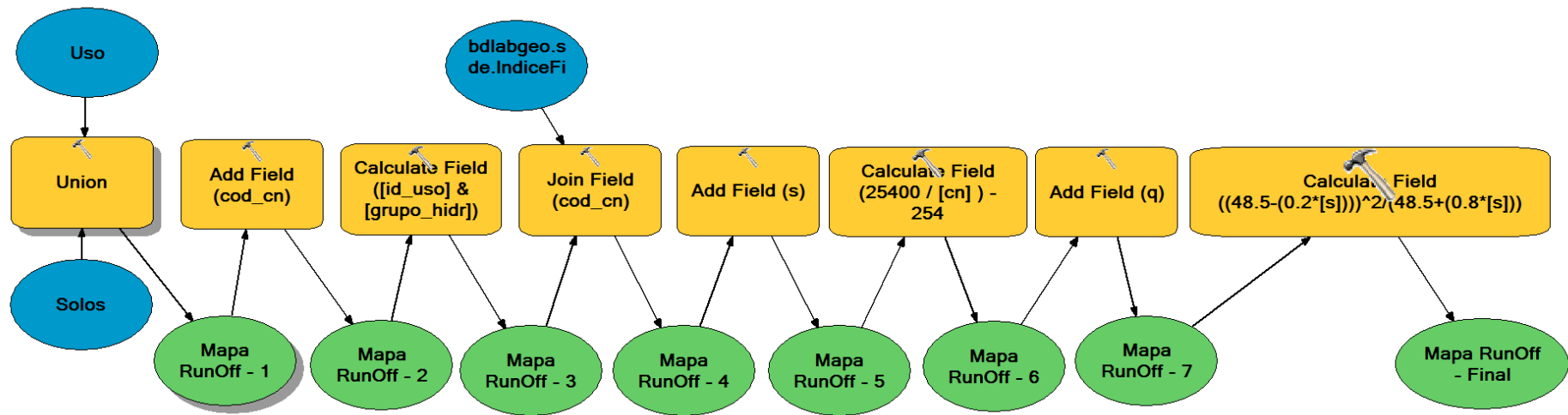


Figura 20: Exemplo de construção do índice de escoamento superficial.

### **3.5.2. Quantum GIS (QGIS)**

Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto mantido pelo OSGeo (*Open Source Geospatial Foundation*). É compatível com os Sistemas Operacionais mais utilizados do mercado e possui um grande rol de funcionalidades, *plugins* (programas acopláveis) e um ambiente de programação para customização e criação de novas funcionalidades.

O QuantumGIS (QGIS) possui a capacidade de realizar conexão com bancos de dados, inclusive, o PostgreSQL com o PostGIS. Como o PostGIS e o QGIS utilizam os padrões da OGC para especificação dos dados geográficos, eles são interoperáveis e os dados geográficos podem ser visualizados, analisados e alterados utilizando-se o SIG. Outra característica implementada dos padrões da OGC, é a capacidade de conexão com os serviços de mapas WMS (*Web Map Service*) e WFS (*Web Feature Service*).

Devido a característica de interoperabilidade com o PostGIS e às definições da OGC, o QGIS foi utilizado para validar a conectividade com o banco de dados geográfico deste trabalho, assim como, seus respectivos serviços disponibilizados na rede.

### **3.5.3. gvSIG**

O gvSIG é um sistema de informação de código aberto mantido pela comunidade que colabora com códigos-fontes, testes e outros valores que mantêm o projeto gvSIG Association (OSGeo). Possui uma estrutura profissional de projeto que engloba a equipe que realiza todas as tarefas relacionadas à manutenção do projeto. Esta equipe é responsável por coordenar todos os membros colaboradores.

A utilização do gvSIG, neste projeto, teve a mesma finalidade que o Quantum GIS, colaborando para o processo de validação e uso do banco de dados geográfico e aumentando o rol de ferramentas capazes de manipular os dados deste trabalho.

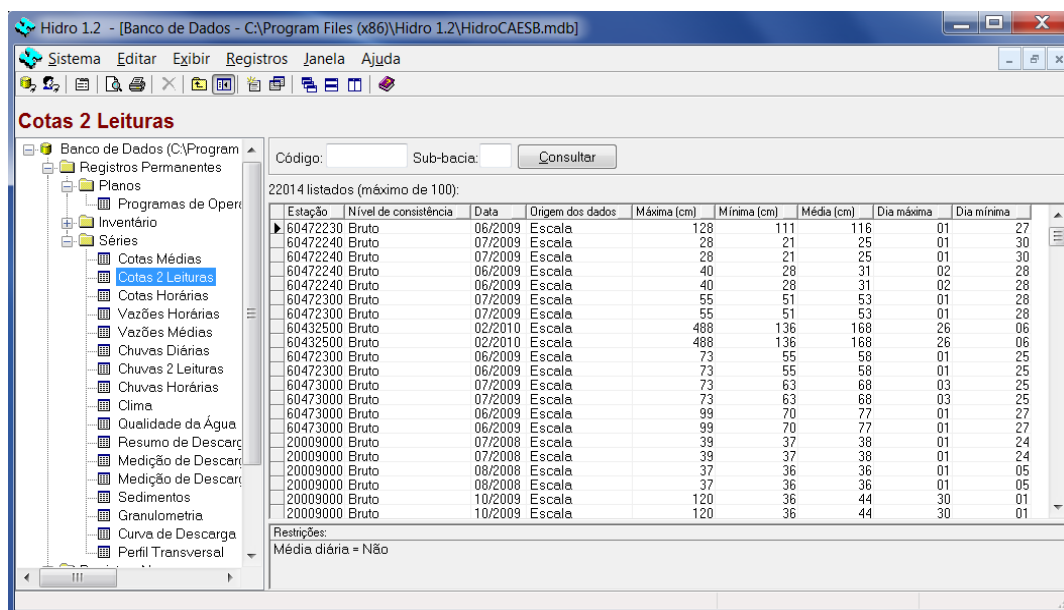
### **3.5.4. HidroWeb**

O HidroWeb é um Sistema de Informações Hidrológicas mantido pela Agência Nacional de Águas (ANA), autarquia responsável por implementar e coordenar a gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos e regular o acesso a água, fornece esta solução computacional para que entidades administrativas façam uso das variáveis hidrometeorológicas para gestão. O HidroWeb não está orientado para trabalhar com dados geográficos, uma vez que seu direcionamento de uso está em medições hidrometeorológicas em locais específicos e utilizando estações de medição. A CAESB,

companhia responsável pelo abastecimento de água no DF, utiliza o HidroWeb como ferramenta para auxiliar o controle e gerenciamento dos dados hidrológicos.

Para este trabalho obteve-se da CAESB uma base de dados, resultado do acompanhamento e gerenciamento dos pontos de monitoramento a que ela é responsável. Estes dados foram utilizados para agregar ao banco de dados geográfico da região e poder ser utilizado no processo de tomada de decisão.

Outra contribuição do sistema HidroWeb para o trabalho foi a utilização do seu modelo de banco de dados que influenciou a modelagem de dados do trabalho objetivando a integração do HidroWeb diretamente no banco de dados consolidado em PostgreSQL, acoplado mais uma ferramenta de análise ao contexto do estudo. A **Figura 21** mostra uma das interfaces de operação do sistema de informação. A **Figura 22** mostra o modelo de banco de dados físico do sistema HidroWeb, nesta figura estão representados os principais elementos.



The screenshot shows the Hidro 1.2 software interface. The title bar reads 'Hidro 1.2 - [Banco de Dados - C:\Program Files (x86)\Hidro 1.2\HidroCAESB.mdb]'. The menu bar includes 'Sistema', 'Editar', 'Exibir', 'Registros', 'Janela', and 'Ajuda'. The main window is titled 'Cotas 2 Leituras'. On the left, a tree view shows the database structure with 'Cotas 2 Leituras' selected. The main area displays a table with 22014 records (maximum of 100 shown). The table has columns: Estação, Nível de consistência, Data, Origem dos dados, Máxima (cm), Mínima (cm), Média (cm), Dia máxima, and Dia mínima. Below the table, there are search filters for 'Código:' and 'Sub-bacia:' with a 'Consultar' button. At the bottom, there are 'Restrições:' and 'Média diária = Não'.

Estação	Nível de consistência	Data	Origem dos dados	Máxima (cm)	Mínima (cm)	Média (cm)	Dia máxima	Dia mínima
60472230	Bruto	06/2009	Escala	128	111	116	01	27
60472240	Bruto	07/2009	Escala	28	21	25	01	30
60472240	Bruto	07/2009	Escala	28	21	25	01	30
60472240	Bruto	06/2009	Escala	40	28	31	02	28
60472240	Bruto	06/2009	Escala	40	28	31	02	28
60472300	Bruto	07/2009	Escala	55	51	53	01	28
60472300	Bruto	07/2009	Escala	55	51	53	01	28
60432500	Bruto	02/2010	Escala	488	136	168	26	06
60432500	Bruto	02/2010	Escala	488	136	168	26	06
60472300	Bruto	06/2009	Escala	73	55	58	01	25
60472300	Bruto	06/2009	Escala	73	55	58	01	25
60473000	Bruto	07/2009	Escala	73	63	68	03	25
60473000	Bruto	07/2009	Escala	73	63	68	03	25
60473000	Bruto	06/2009	Escala	99	70	77	01	27
60473000	Bruto	06/2009	Escala	99	70	77	01	27
20009000	Bruto	07/2008	Escala	39	37	38	01	24
20009000	Bruto	07/2008	Escala	39	37	38	01	24
20009000	Bruto	08/2008	Escala	37	36	36	01	05
20009000	Bruto	08/2008	Escala	37	36	36	01	05
20009000	Bruto	10/2009	Escala	120	36	44	30	01
20009000	Bruto	10/2009	Escala	120	36	44	30	01

Figura 21: Interface do HidroWeb. Fonte: ANA (2011).

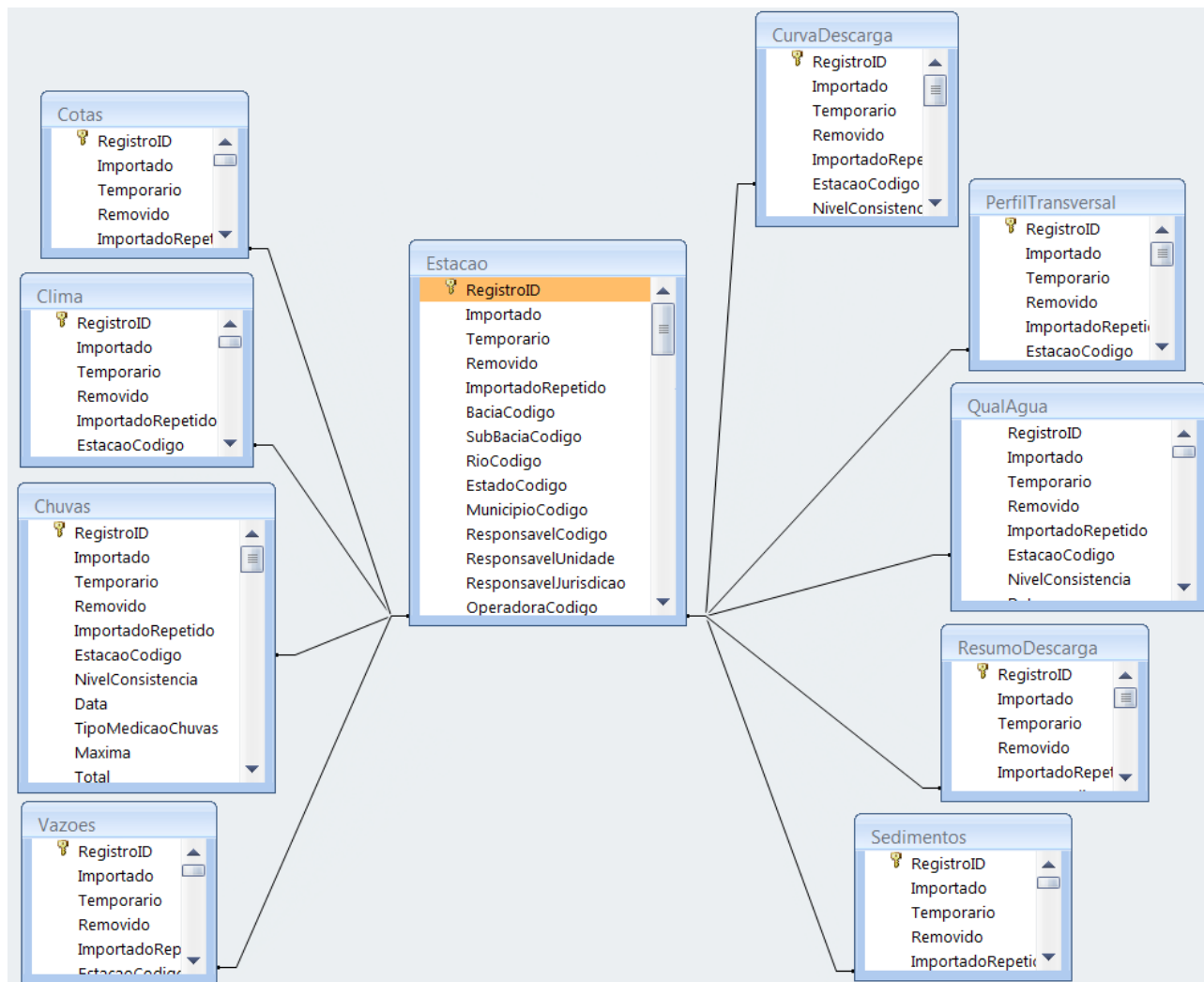


Figura 22: Modelo do HidroWeb. Fonte: ANA (2011).

### 3.5.5. ArcHidro Tools

É um conjunto de ferramentas desenvolvidas pelo *Center for Research in Water Resources* (CRWR) localizado na Universidade do Texas em Austin (EUA) e mantido pela ESRI com distribuição gratuita. Por ser uma ferramenta o ArcHidro necessita como pré-requisito, a instalação do SIG proprietário ArcGIS. Analisou-se a estrutura conceitual de dados utilizada pela ferramenta, porém para este trabalho não foi utilizado nenhum conceito específico da tecnologia.

### 3.5.6. SIG Solos

É um Sistema de Informações Geo-referenciadas de Solos desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias) (figuras 23 e 24), este sistema foi estruturado para permitir o armazenamento de informações oriundas de diferentes fontes, níveis e escalas de levantamentos de solos, tendo, como base, normas e conceitos utilizados na ciência do solo. A entidade “Trabalho” neste sistema foi estabelecida como figura central para reduzir a necessidade de compatibilizações e normatizações na aquisição dos dados, considerando as diferentes fontes e níveis de levantamento de solos existentes no Brasil (Chagas *et al.*, 2004).



Figura 23: Tela inicial do SIG Solos. Fonte: Chagas *et al.* (2004).

Trabalhos	
Selecione Trabalho	Levantamento Semidetalhado e Aptidão Agrícola dos Solos do Município de Rio de Janeiro, RJ.
Dados Gerais   Metodologia   Métodos Físicos   Mét. Químicos pg.1   Mét. Químicos pg.2   Métodos Mineralógicos	
Título do Trabalho	Levantamento Semidetalhado e Aptidão Agrícola dos Solos do Município do Rio de Janeiro, RJ.
Ano	1980
Número	66
Tipo de publicação	BOLETIM TÉCNICO
Tipo de trabalho	LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO E AVALIAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA
Nível Levantamento pedológico	LEVANTAMENTO SEMIDETALHADO
Sistema de Projeção	UTM SAD 69
Órgão Executor	CNPS
Laboratório Responsável	CNPS
Convênio	
Meridiano Central/Origem	
Escala de Publicação	1:50.000
Área (km <sup>2</sup> )	1,356.00
Pontos Amostragem   Componentes   Unidades Mapeamento   Menu   Sair	

Figura 24: Tela de manutenção dos trabalhos. Fonte: Chagas *et al.* (2004).

A arquitetura de SIG utilizada no projeto de desenvolvimento do SIGSolos está baseado na Arquitetura Dual, que consiste na existência de um SGBD para armazenar os dados alfanuméricos e um SIG para manipular os dados geográficos externo ao banco de dados. A **Figura 25** descreve a arquitetura do sistema do SIGSolos.

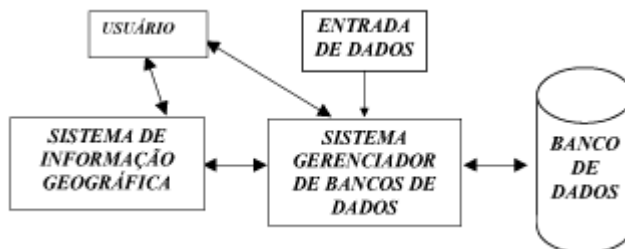


Figura 25: Arquitetura do sistema SigSolos. (Chagas *et al.*, 2004).

O modelo conceitual de dados do SIGSolos foi abstraído no aspecto dos pontos de amostragem por trabalho realizado e associados geograficamente à bacia hidrográfica, resultando em ocorrências de levantamentos de solos. Com isso agrega-se valor para o processo de gestão do recurso hídrico no local. A **Figura 26** mostra o modelo conceitual do banco de dados.

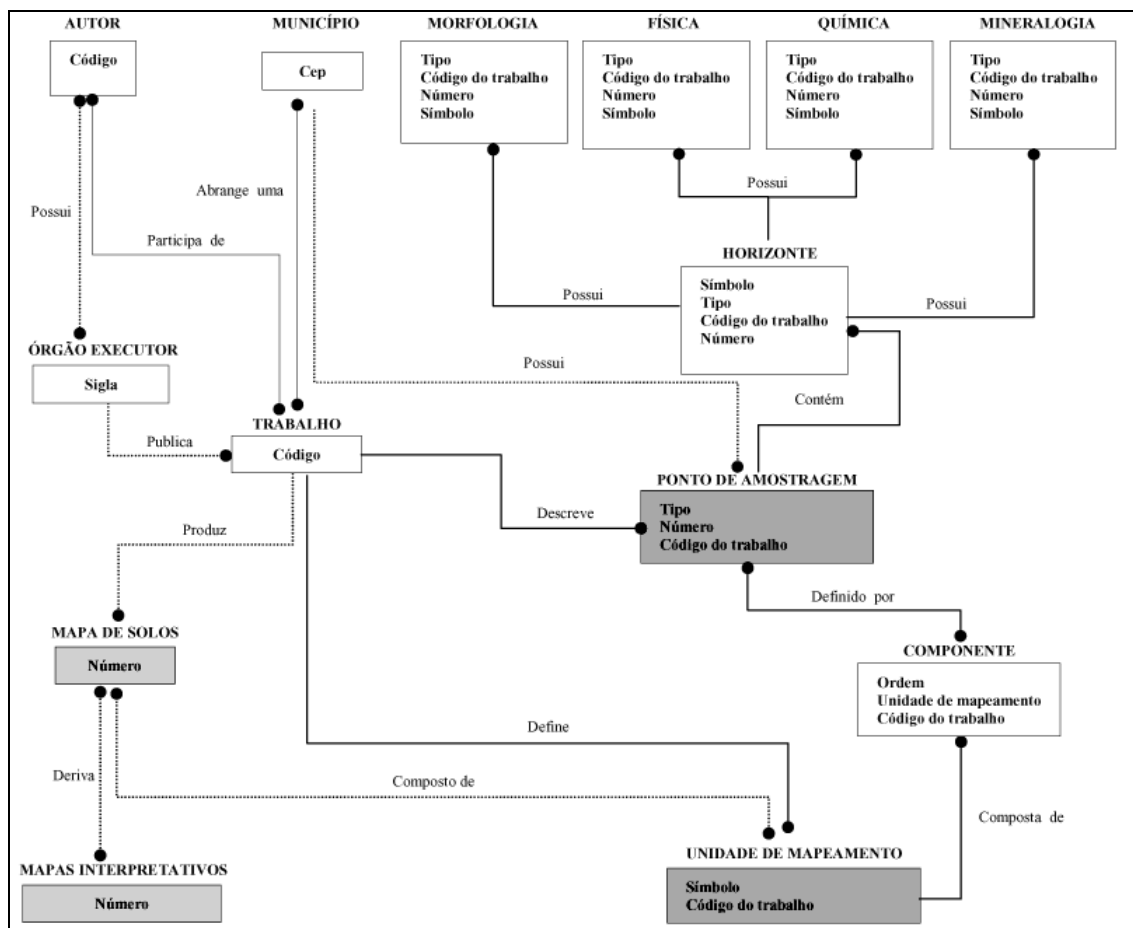


Figura 26: Modelo conceitual de banco de dados do SigSolos. (Chagas *et al.*, 2004).

## 4. Resultados

### 4.1. Consolidação do Modelo de Banco de Dados Geográfico

#### 4.1.1. Temas Relevantes Abordados no Processo de Modelagem

Embora exista uma base de dados maior, tanto no IG como na FT, somente os temas abaixo foram utilizados neste trabalho que foi limitado pelo período do programa de mestrado.

**Hidrografia:** Representação vetorial dos objetos básicos que compõem uma estrutura hidrográfica baseado na ET-EDGV categoria Hidrografia.

**Hidrologia:** Representação vetorial dos objetos que compõe a estrutura hidrológica, também baseada na ET-EDGV categoria Pontos de Referência e das definições do sistema HidroWeb (ANA).



**Solos:** Representação vetorial dos objetos pertencentes a estrutura pedológica concebidos a partir da definição do SIG Solos (EMBRPA) e da UnB. A ET-EDGV não especifica os objetos e as relações para este item.

**Uso do Solo:** Possui uma representação vetorial fornecida pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análises Espaciais da Universidade de Brasília (LSRAE/UnB), os quais foram construídos na dissertação de Menezes (2010).

**MDT:** Possui uma representação matricial e foi construído a partir das curvas de nível, pontos cotados e hidrografia fornecidas pela TERRACAP na escala de 1:10.000. Para a geração deste modelo foi utilizada uma ferramenta especializada em dados do tipo *raster* e os produtos derivados foram – declividade, aspecto, fluxo acumulado, área de contribuição e o Fator LS.

#### **4.1.2. Utilização dos Modelos Existentes e Composição dos Modelos de Banco de Dados**

A utilização dos modelos conceituais existentes na ET-EDGV, no HidroWeb (ANA) e no SIG Solos (EMBRAPA) foram fundamentais para este trabalho, por que reduziu o custo temporal e de retrabalho para especificar temas que já haviam concepção mesmo que em nível conceitual.

#### **4.1.3. Hidrografia**

Na representação da hidrografia, o modelo conceitual utilizado como referência inicial foi o definido na ET-EDGV, Seção 1, Hidrografia. Este modelo busca representar “*o conjunto das águas interiores e oceânicas da superfície terrestre, bem como elementos, naturais ou artificiais, emersos ou submersos, contidos no ambiente*” (definição da EDGV versão 2.1 para hidrografia). Com isso um conjunto de vinte e sete classes representará graficamente o conceito do cenário hidrográfico.

Para compreender este modelo conceitual é necessário conhecer como se deu o processo de concepção e transformação dos cenários reais em formatos gráficos de classes. Como descrito anteriormente, a ET-ADGV descreve a forma de interpretação de cada objeto. Na categoria Hidrografia, é possível observar as interpretações a cerca de cada objeto que compõe o modelo hidrográfico. A **Figura 27** representa o modelo conceitual hidrográfico segundo a ET-EDGV.



#### 4.1.4. Hidrologia

A hidrologia está composta da integração de dois conceitos, na especificação da EDGV. A categoria *Pontos de Referência* descreve uma modelagem conceitual geográfica que delimita a área relacionada aos equipamentos utilizados para coletar os dados hidrológicos de determinado local, assim como os atributos necessários para descrevê-los.

Para agregar valor a este modelo, o sistema mantido pela ANA chamado HidroWeb também teve seu banco de dados avaliado. O HidroWeb é um sistema de informação computacional capaz de realizar análises utilizando diversas variáveis geradas pelas estações de medição e trabalhos de coleta de campo, porém em sua definição, a componente geográfica limita-se apenas a um par de coordenadas que indicam a localização do equipamento. Mas sua utilidade não está relacionada à geografia, mas sim a seleção dos atributos descritivos existentes.

Explorando o modelo de dados observa-se que as entidades encontram-se dispostas em relação à entidade “Estação”, que contém as características geográficas de localização. Abaixo será descrito as atribuições de representação de cada entidade:

- **Estação** - contém propriedades relacionadas à sua localização, contemplando também os aspectos hidrográficos de bacia e sub-bacia, responsável por manter a estação, os tipos de medições que ela é capaz de realizar (registrador de nível, sedimentos, qualidade da água, registrador de chuvas e outros), relações temporais para cada instrumento de medição indicando o período da coleta e sua situação de operação (Hidro).
- **Cotas** - relacionada ao equipamento responsável por registrar as cotas, possui propriedades temporais que a capacidade de armazenar diariamente os valores cotados, assim como a máxima, mínima e média. Estes dados servirão para o processo de análise do regime de determinado rio durante um período de medição (Hidro).
- **Clima** - relacionado ao equipamento capaz de medir aspectos do clima, prever em sua modelagem os registros diários de medição, sua máxima, mínima, média, dia do registro de máxima e mínima e o número de dias de chuva. Registra também

características temporais para futuros estudos de alterações de comportamento de cada propriedade (Hidro).

- **Chuvas** - responsável por armazenar os dados referentes ao equipamento de medição de chuvas, tem em sua modelagem a capacidade de armazenar diariamente os níveis de chuva, a ocorrência do nível máximo, o dia do registro da máxima e assim como a entidade clima também registra a quantidade de dias que choveu naquele mês. Estes dados têm importância para o estudo dos ciclos hidrológicos e seu acompanhamento periódico (Hidro).
- **Vazões** - relacionado ao instrumento que realiza a medição da vazão, onde as propriedades modeladas referem-se às ocorrências registradas diariamente dentro de um ciclo mensal, possuem também registros de máxima e mínima com a identificação do dia dessa ocorrência, o método utilizado para a obtenção da vazão é registrado, a média diária e anual. Também colabora com dados significativos para o processo de monitoramento e estudo hidrológico e hidrográfico (Hidro).
- **Perfil Transversal** - esta entidade descreve, através de suas propriedades, as características do perfil transversal que se encontra aquelas estações de medição no caso específico de localizações em rios. As principais propriedades descritas nessa entidade são o tipo de seção, número de verticais, distâncias máxima e mínima em relação aos eixos X e Y, cotas máximas e mínimas em relação aos respectivos eixos X e Y e o registro temporal do levantamento. Estes dados têm a utilidade de fornecer as informações acerca de onde aquela estação de medição está obtendo os dados; estas propriedades influenciarão no cálculo das vazões por exemplo (Hidro).
- **QualAqua** - entidade responsável por armazenar propriedades relacionadas à qualidade da água. Em sua modelagem, dados de características químicas como pH, alcalinidade ( $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$  e  $\text{OH}$ ), cloretos, sulfatos e outras; as características físicas são registros de cor, dureza, turbidez, profundidade de coleta e outros; há ainda propriedades biológicas como a ocorrência e seus percentuais de salmonelas, pseudomonas, fungos, algas e outros. Todos estes dados também são registrados segundo uma data e hora podendo-se assim acompanhar periodicamente a situação da

qualidade da água naquele local de coleta. Esta entidade possui dados importantes e que são utilizados na construção de muitos indicadores relacionados à gestão da água daquele local ou região (Hidro).

- **ResumoDescarga** - esta entidade consolida informações sobre cota, vazão, área molhada, largura, velocidade média e profundidade registrada numa determinada estação de medição. Estes dados também possuem valores temporais de registro (Hidro).
- **Sedimentos** - esta entidade tem objetivo de armazenar os dados obtidos do instrumento de medição responsável por registrar propriedades como a concentração de material suspenso, cota de medição, temperatura da água, concentração da amostra, condutividade elétrica, vazão, área molhada, largura e velocidade média. Assim como nas outras entidades, esta também realiza os registros temporais das coletas (Hidro).
- **CurvaDescarga** - esta entidade tem o objetivo de representar uma curva Cota x Vazão de uma seção transversal de um rio. Essa curva pode ser representada algebricamente, através de uma equação, ou discretamente, através de uma tabela de Cota x Vazão (Hidro).

#### 4.1.5. Solos

Assim como a abordagem feita no modelo de dados do HidroWeb, o SIG Solos também teve retirado do seu modelo os aspectos relevantes à análise para gestão dos recursos hídricos. O SIG Solos, nos aspectos geográficos, é orientado aos pontos de amostragem, local onde são analisados os horizontes.

Os horizontes de determinado ponto de amostragem são analisados quanto a sua morfologia, física, química e mineralogia de forma descritiva. Estas descrições foram úteis para o processo de agregação de valor ao modelo hidrológico, pois o solo tem grande influência sobre a dinâmica da água. No entanto, características relevantes para a análise hidrológica não são contempladas no SIG Solos, como a capacidade de carga, classe hidrológica do solos entre outros. Para a seleção destes parâmetros foi utilizada a tabela de referência do SWAT (SWAT, 2012) que é um software para modelagem hidrológica utilizado pelos pesquisadores do LSRAE/UnB.

## 4.2. Consolidação dos Relacionamentos dos Modelos de Dados

A integração das bases de dados acontece por meio dos relacionamentos existentes entre as entidades, onde uma entidade ou mais são associadas à outras entidades. Este relacionamento deve obedecer à semântica do contexto modelado, lembrando que este se dá por atributos descritivos em forma de códigos chamados de chaves primárias e estrangeiras.

Para o processo de integração de bases de dados, são utilizados dois tipos de critérios de integridade dos relacionamentos, o relacional descritivo e o geográfico, ambos possuem características e aplicações diferentes.

Entre os bancos de dados Hidrográfico, Hidrológico, Solo e Uso da Terra houve integrações de dados localizados nos pontos relacionais mantendo a lógica cognitiva da observação do cenário real. O mesmo acontece com as feições tipo polígono que tem um vínculo com os pontos de amostragem, onde sua relação pode ser do tipo direta um ponto para um polígono ou estatística onde um polígono pode ter mais de uma ponto como por exemplo geoquímica dos horizonte de solo.

O banco de dados principal composto pela hidrografia teve agregado a ele todos os outros bancos. O hidrológico teve uma relação espacial com a hidrografia. A Hidrologia é definida em dois grupos, um grupo geográfico que representa o ponto de monitoramento e as edificações de suporte. Os dados do modelo do HidroWeb que têm características descritivas e orientadas à estação de medição. Visualizando os pontos de contato entre os modelos, na **Figura 28**, observa-se que há um relacionamento geográfico identificado pela linha pontilhada e outro descritivo representado por uma linha contínua.

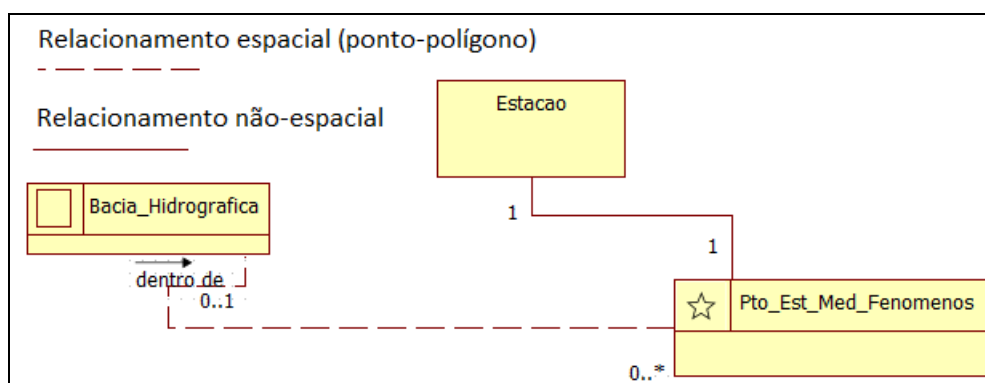


Figura 28: Relações geográficas e não geográficas entre hidrografia e hidrologia.

O modelo de solos está integrado à hidrografia por meio de um relacionamento geográfico no qual um solo está contido numa determinada região de bacia, como mostrado no trecho de relacionamento da **Figura 29**.

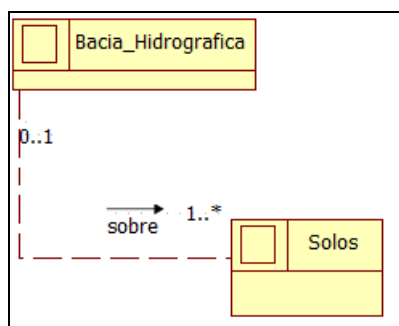


Figura 29: Relacionamento geográfico entre solos e bacia hidrográfica.

As relações geográficas em suas características particularidades possuem um critério denominado integridade topológicas, que no processo de modelagem é utilizada para garantir a lógica da composição dos dados geográficos. Este tipo de integridade é definido conforme o objeto de estudo e a necessidade. Na modelagem da rede hidrográfica existem critérios topológicos a serem seguidos, onde todo trecho hidrográfico deve, necessariamente, estar conectado a outro trecho hidrográfico por meio de um nó e, assim até a completa formação da representação da rede. Outra restrição de integridade no modelo hidrográfico é a obrigatoriedade de determinado rio pertencer a uma determinada bacia, essas e inúmeras regras de integridade descritiva ou geográfica fazem parte do processo de análise para construção do banco de dados. A **Figura 30** contém componentes indicativos de relação topológica que por sua vez resultará na integridade geográfica dos objetos relacionados. Ainda na mesma figura exemplifica-se esta situação quando é indicado que uma entidade do tipo **Massa\_Dagua** está **dentro de** outra entidade geográfica denominada **Bacia\_Hidrografica** também representada por um polígono.

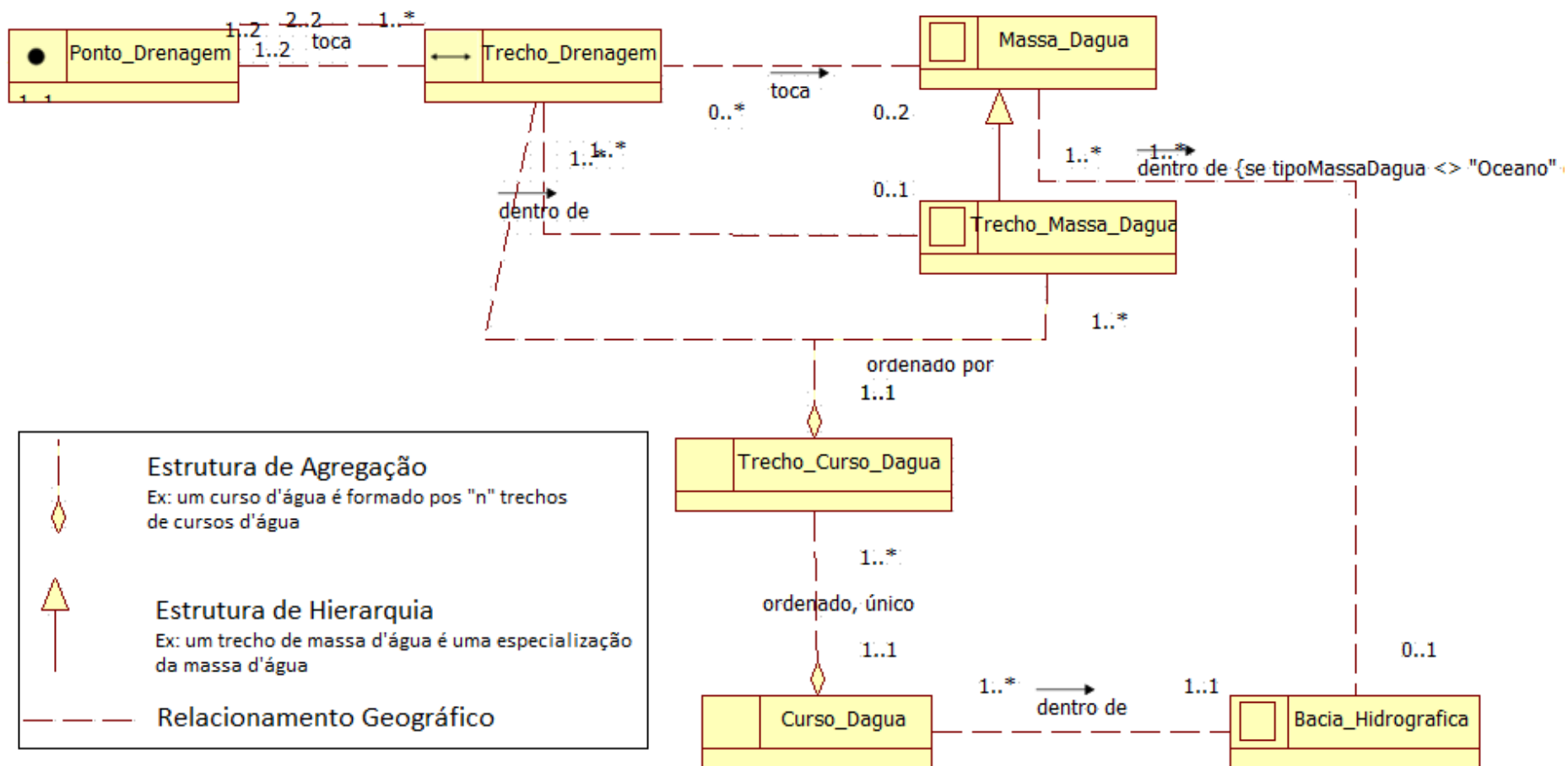


Figura 30: Integridade geográfica entre elementos do modelo de dados.



### 4.3. Construção do Banco de Dados

Consolidado o modelo conceitual com suas devidas integrações entre hidrografia, hidrologia e pedologia, este item tratará dos aspectos de criação do banco de dados, efetivamente em meio computacional. Para isso algumas etapas descritas a seguir são necessárias.

#### 4.3.1. Criação do Modelo Lógico

O modelo lógico é parte integrante do processo de criação de um banco de dados, aqui o modelo conceitual é utilizado como parâmetro de entrada. Nesta fase todos os atributos das diversas classes são identificados, têm seus nomes padronizados e recebem uma tipificação (tipo de dado que esta propriedade será capaz de armazenar).

#### 4.3.2. Hidrologia/Hidrografia

Para os modelos de Hidrografia e Pontos de Referência (utilizado pela hidrologia em especial) a ET-EDGV traz um anexo com a Relação de Classes de Objetos e Seus Atributos (RCO), cujo objetivo é definir os atributos, tipos de dados e qual sua capacidade de armazenamento, descrição da definição do atributo, o seu conjunto de domínio, se houver, e sua obrigatoriedade de preenchimento. Estas definições são feitas para cada atributo identificado, com isso o modelo lógico da hidrografia está representado em anexo.

Para este modelo ainda foram analisadas as entidades descritas na RCO, pois estas, no processo lógico, deixam de ser atributos para se tornarem entidades com seus próprios atributos. Estas entidades também são chamadas de tabelas de apoio.

Observando que a ET-EDGV não possui em suas especificações descrições sobre hidrologia, o banco de dados do sistema HidroWeb foi utilizado como referência para construção do modelo lógico, tendo sua definição mantida conforme concebido conceitualmente pela ANA. A abordagem de manter o modelo semelhante ao utilizado pelo HidroWeb é a oportunidade dos usuários continuarem trabalhando com o sistema, só que gravando os dados num ambiente consolidado. A **Figura 31** representa o modelo lógico e a integração entre a componente hidrográfica representada pela entidade **Bacia\_Hidrográfica** e a hidrológica representada pela entidade **Pto\_Est\_Med\_Fenomenos** (estação de medição de fenômenos).

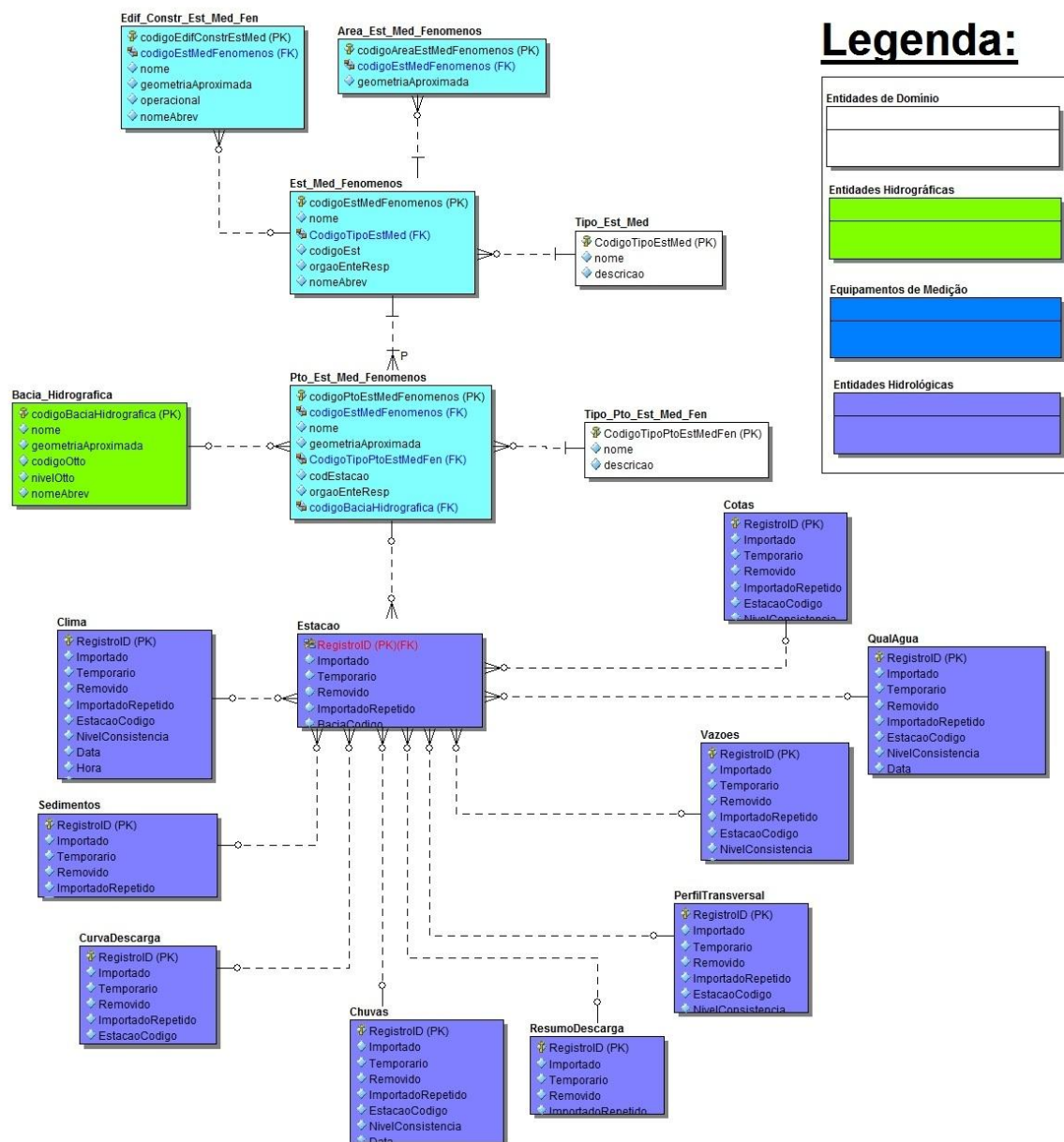


Figura 31: Integração entre o modelo lógico hidrográfico e hidrológico.

### 4.3.3. Solos

A pedologia, teve como referência o modelo conceitual do sistema SIGSolos, sendo que deste modelo apenas o conceito de pontos de amostragens, horizontes e suas respectivas características física, química, morfológica e mineralógica foram utilizadas. Para o processo de identificação dos atributos foram tomadas como referência as tabelas do SWAT, pois além dos dados padrões/básico utilizados pela EMBRAPA também foram abordadas as variáveis hidrológicas do solo como capacidade de carga e permeabilidade, obtidas no LSRAE/UnB. A **Figura 32** integra a hidrografia representada pela entidade **Bacia\_Hidrografica** com a entidade representativa da pedologia **AreaSolo**, este modelo ainda possui em sua definição, a representação dos pontos de amostragem realizados por

levantamentos de campo e representado aqui pela entidade **Pto\_Amostragem\_Solo** (ponto de amostragem do solo).

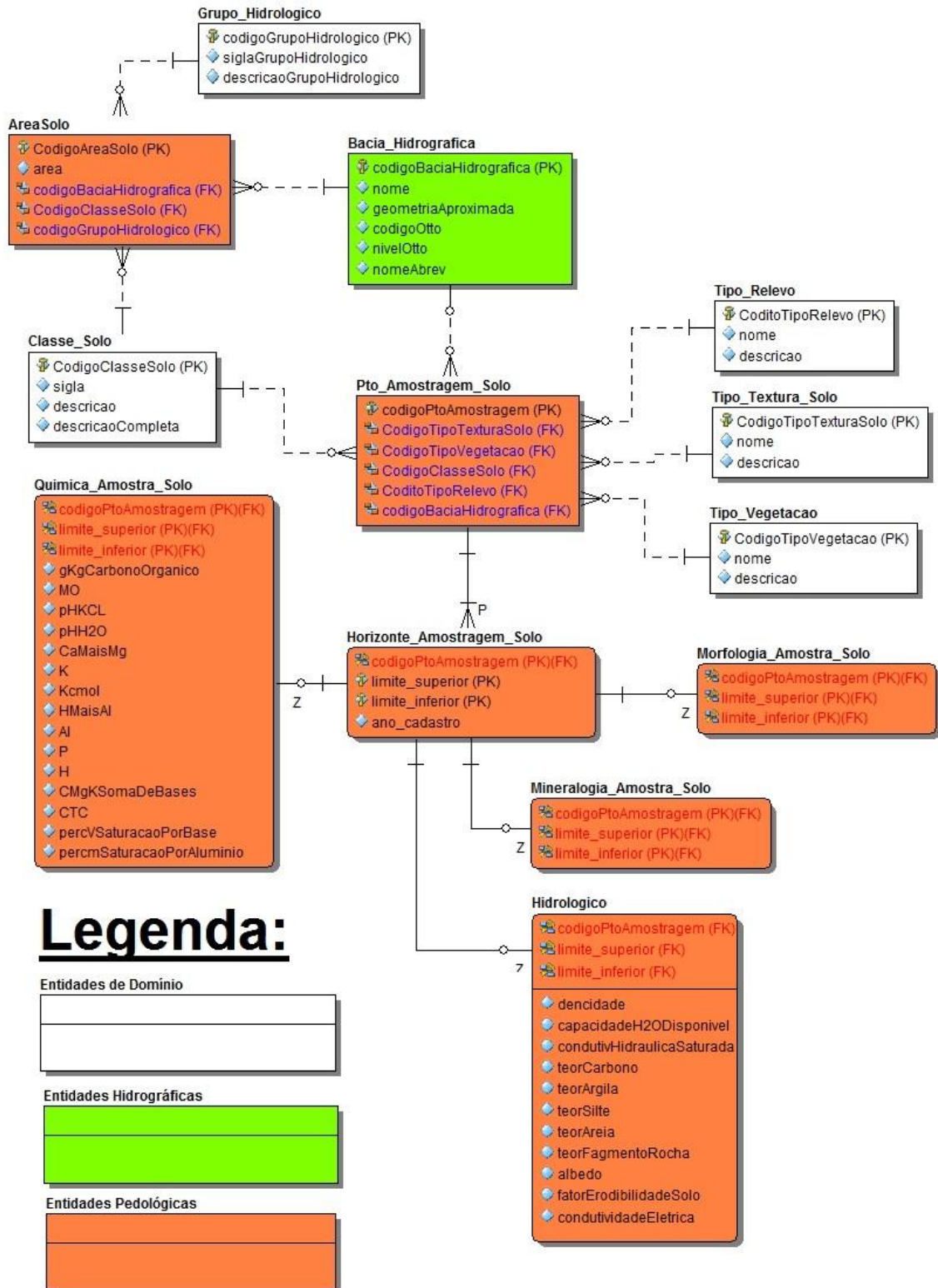


Figura 32: Integração entre os modelos hidrográfico e pedológico.

#### 4.3.4. Criação do Modelo Físico

O modelo físico aborda os aspectos inerentes da tecnologia de banco de dados que está sendo utilizado neste procedimento. Este modelo é gerado para cada tipo de Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD), pois cada um deles possui sua própria maneira de armazenar os dados.

O aspecto mais evidente desse processo é a forma como cada tecnologia tipifica o dado, onde um atributo cujo tipo é *Integer* (inteiro) num determinado banco pode ser *Long* (inteiro longo) num outro banco, então esta fase tem apenas a finalidade de transformar o modelo conceitual de acordo com a tecnologia de banco de dados utilizada. Esta fase deverá ser realizada todas as vezes que houver alterações de tecnologia de banco (mudança de fornecedor). Atualmente, com o auxílio de uma ferramenta de modelagem de banco de dados esta tarefa torna-se simples e rápida de realizar.

#### 4.3.5. Geração do Script de Construção do Banco de Dados

O script de construção do banco de dados é a forma mais próxima da tecnologia; sua geração ocorre pelo processamento do modelo físico que ainda está na forma gráfica em linhas de comando denominadas *Structure Query Language I* (SQL). Esta linguagem estruturada de consulta tem a capacidade de criar efetivamente o banco de dados com todas as suas entidades, atributos e relacionamentos. Feito isso, o SGBD agora é o responsável por armazenar e disponibilizar um conjunto de ferramentas para sua consulta e administração.

É importante observar que este script SQL, assim como o modelo físico, só funcionará efetivamente em determinada tecnologia de banco de dados, para a utilização em outra tecnologia é necessária a mudança do modelo físico, podendo ser feita utilizando-se de uma ferramenta de apoio a modelagem.

Antes de realizar a aplicação do script para criação do banco de dados, é necessária a geração da componente geográfica, pois as ferramentas existentes no mercado ainda não integraram no processo de concepção do banco de dados geográfico. Ao utilizar a extensão espacial PostGIS, foi necessária a adição de uma linha de comando para cada entidade geográfica com o objetivo de adicionar o atributo geográfico de acordo com sua especificação do modelo físico.

Sintaxe: **Select AddGeometryColumn**(  
<nome da tabela>,

<nome da coluna geográfica>,  
<identificador da referência espacial>,  
<tipo da geometria (ponto, linha, etc.)>,  
<dimensão da geometria (2D, 3D, etc.)>  
);

Consolidado o *script* com as definições de comando para criação do banco de dados propriamente dito, tabelas, atributos descritivos e geográficos e relacionamentos, é necessária a utilização da ferramenta do Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) denominada de PGAdmin (Postgres Administrator). Esta ferramenta possui dentre as funcionalidades, uma que processa *scripts* SQL, no qual avalia sintaticamente toda a estrutura de comandos, onde, se houver algum problema identificado, o processo é interrompido até que a sintaxe seja corrigida. Quando a sintaxe estiver sem problemas, os comandos são executados sequencialmente e realizam cada um sua função específica até o último. A **Figura 33** ilustra o processo de execução do *scrip* de criação da estrutura de banco de dados.

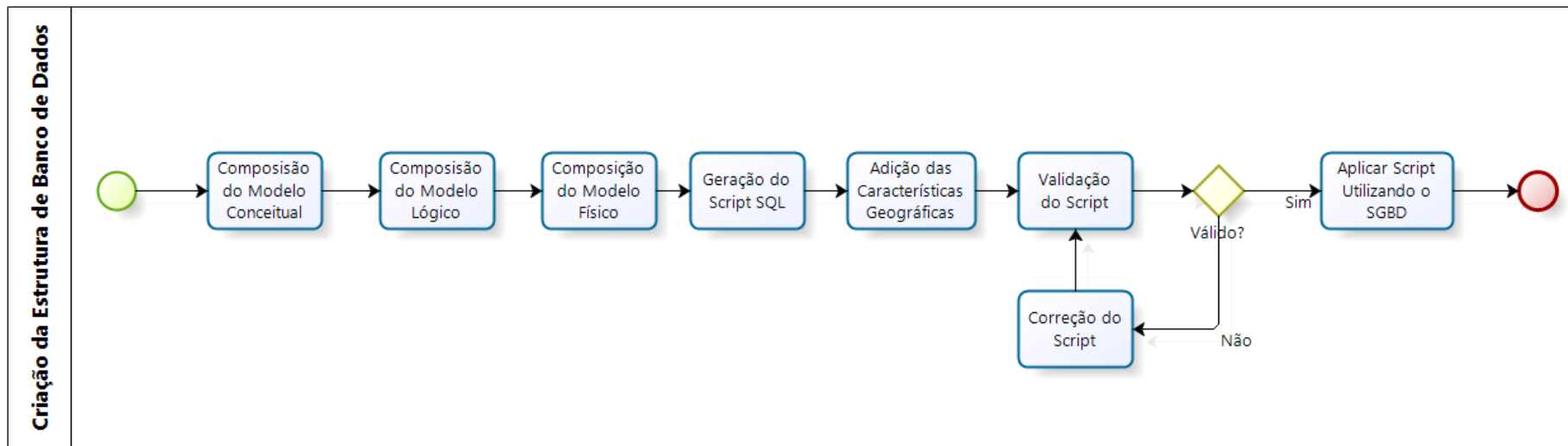


Figura 33: Processo de aplicação de script para criação do banco de dados geográfico.

#### **4.4. Carga e Atualização do Banco de Dados Geográfico**

Com a estrutura de banco de dados criada no SGBD, é necessário realizar a carga do conteúdo relevante a ser utilizada pelos processos de gestão dos recursos hídricos. Este item descreverá o processo de identificação dos dados na sua forma bruta, ou seja, como encontrado nas instituições fornecedoras, o processo de seleção dos dados de interesse orientando-se pelo modelo de dados concebido, avaliando as entidades e seus atributos descritivos e geográficos. Neste item, também, são descritos os procedimentos de carga dos dados geográficos que, além de selecionado, passa por procedimentos de identificação de informação acerca da geografia até a utilização de ferramenta específica para carga do mesmo.

##### **4.4.1. Identificação dos Dados de Origem**

No processo de modelagem do banco de dados, as fontes de dados já eram conhecidas, assim como, suas estruturas e formas, restando organizá-las para serem utilizadas. As fontes de dados utilizadas para este trabalho foram:

- TERRACAP – base de dados que compõem a rede hidrográfica, corpos d’água e hipsiográficos na escala de 1:10.000 atualizado para o ano de 2009. Toda esta base teve de ser corrigida topologicamente, devido à inconsistência da base em relação aos objetivos dos estudos hidrológicos;
- ANA - Informações referente as estações de monitoramento e séries históricas fornecidas por entidades responsáveis e disponibilizadas no sítio da agência na internet. Os dados obtidos aqui são do tipo hidrológico de acordo com a característica de cada instrumento de medição instalado na estação. Ressalta-se que para muitas estações os dados estão desatualizados com relação à série histórica. Outro ponto importante é que a série histórica desta base de dados é diária;
- CAESB - informações acerca do monitoramento e séries históricas que ainda não foram atualizados na rede na ANA. Aqui os dados também são do tipo hidrológico e assim como a ANA, utilizam o sistema HydroWeb para gerenciar e armazenar os dados;

- ADASA - Informações referentes as estações de monitoramento e séries históricas gerenciadas pela própria agência que não estão na rede da ANA. Aqui vale ressaltar que a série histórica de vazão e chuva são médias com intervalo de temporal de 15 min, o que não permite a sua incorporação ao HidroWeb devido a este trabalhar com média diária.
- LSRAE/UnB (Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análises Espaciais da Universidade de Brasília) – Base de dados sobre uso e ocupação da terra para os anos de 1954, 1964, 1973, 1984, 1984, 1998, 2006 e 2009. As fontes destes dados são em grande parte da UNESCO e retificadas por Menezes (2010). Também foram obtidos dados de perfis de solos e hidrogeologia, este último gerado por Neto (2012, inédito).
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) - Base de dados de solos do DF composto por perfis de solos e mapas na escala de 1:100.000 (Reatto, 2009).

O processo de identificação dos dados que irão compor o conteúdo lógico do banco de dados está descrito na **Figura 34** na forma de fluxo de processo.



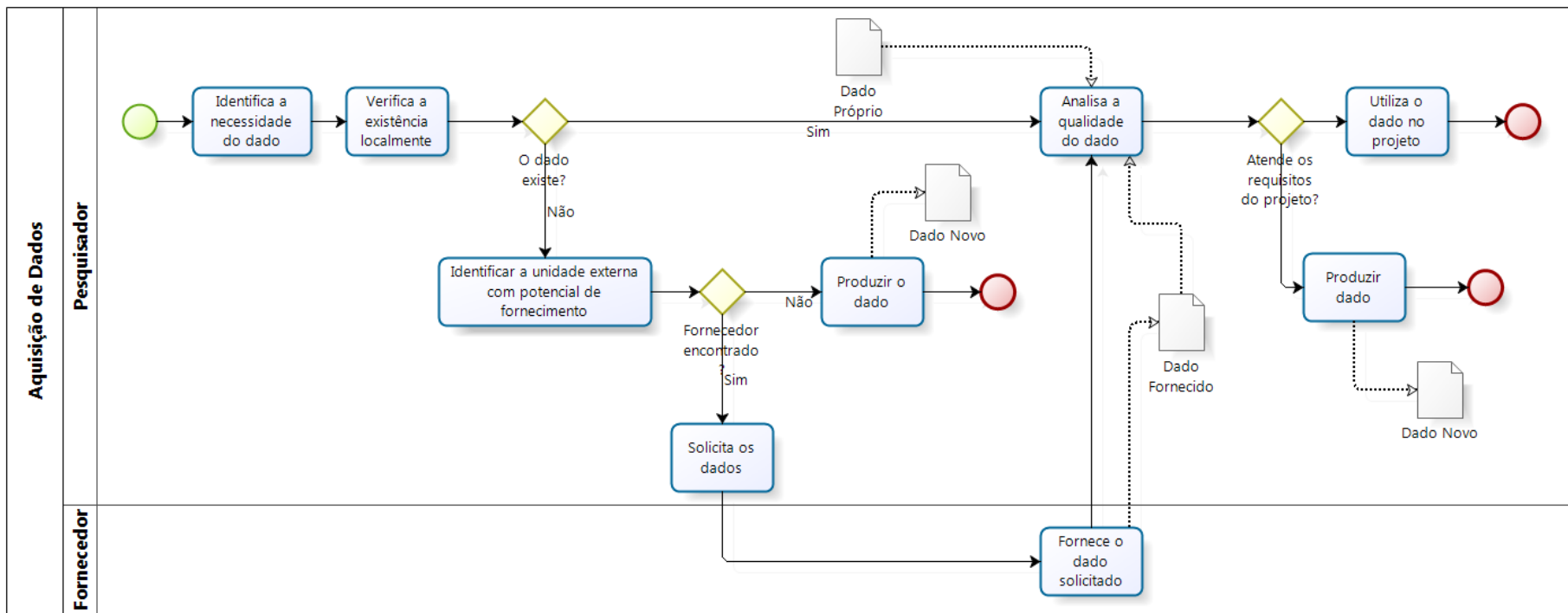


Figura 34: Processo de identificação e aquisição de dado para o trabalho no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial da Universidade de Brasília.

#### **4.4.2. Verificação de Atributos**

Os atributos são avaliados de acordo com o mapeamento realizado na fase de modelagem dos dados. A identificação dos atributos é feita de forma interpretativa pelo pesquisador lendo-se o nome do atributo e verificando e avaliando o conteúdo do dado na sua fonte original e, assim, co-relacionando ao modelo de dados. Este procedimento é realizado em todos os atributos a serem submetidos a carga. Há situações no decorrer da análise em que determinado atributo não tem valor representativo ao modelo, sendo descartado do processo de carga, caso contrário o modelo é alterado e o novo atributo é incrementado. A **Figura 35** descreve o fluxograma do processo de verificação dos atributos para carga de dados, esta etapa ocorre após a fase de identificação e aquisição dos dados.

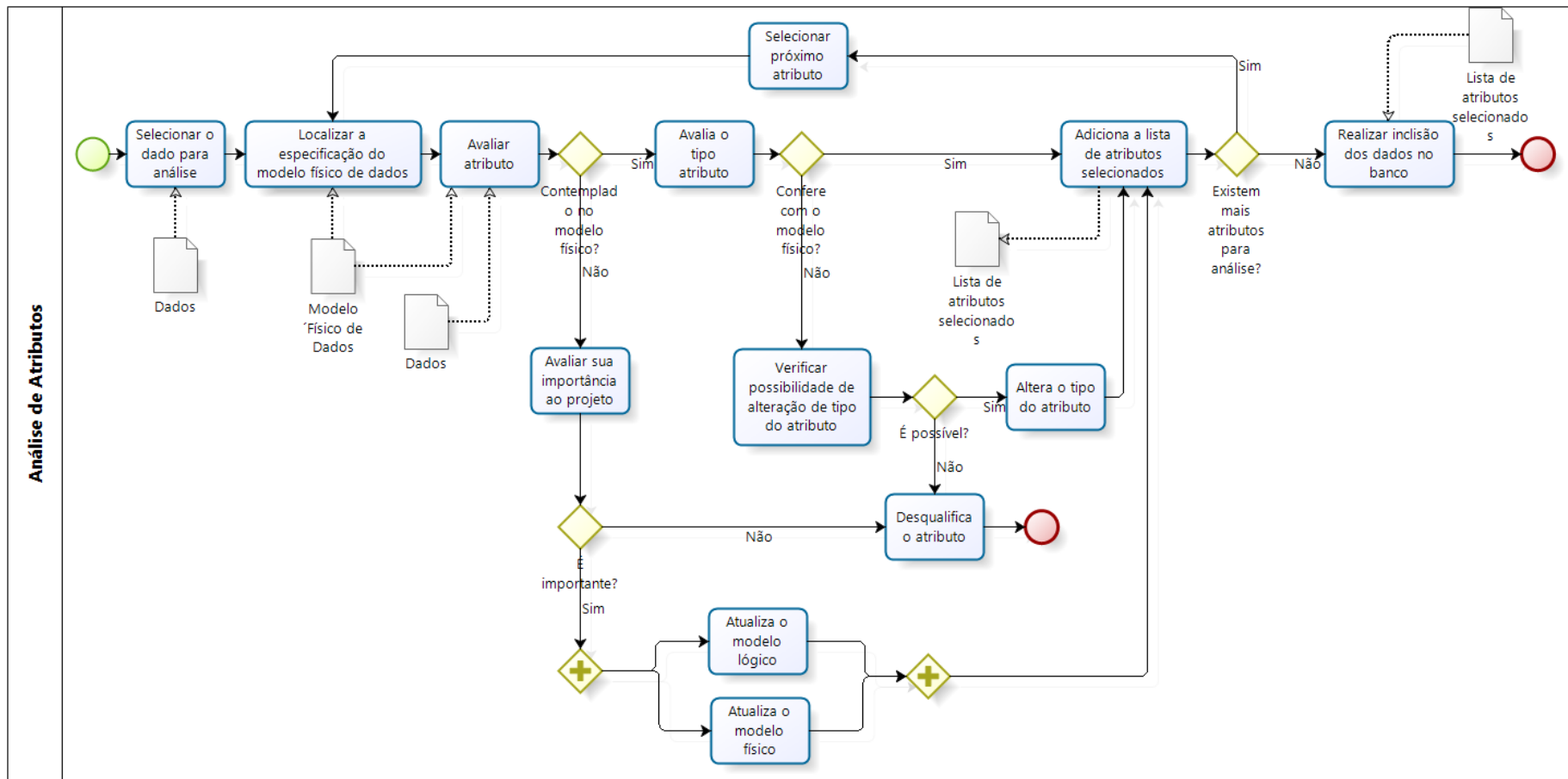


Figura 35: Processo para análise dos atributos descritivos e geográficos.

## **4.5. Verificação de Padronização do dado geográfico**

### **4.5.1. Sistema de Projeção Utilizado**

Para este trabalho utilizou-se o Sistema de Referências Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), pois este sistema foi oficialmente adotado pelo Brasil em 25 de Fevereiro de 2005 tornando-se o novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN). Tendo em vista que o período para adoção não poderá ser superior a dez anos, restando assim o limite de até o ano 2014 para essa adequação. Então, todos os dados coletados que estejam fora do SIRGAS2000 foram oportunamente convertidos para o padrão brasileiro observando a qualidade e a adequação do uso.

### **4.5.2. Escala de Representatividade**

Para o trabalho foram utilizadas cartografias com escalas de representação variadas, de acordo com a especificidade da abordagem e para isso o modelo lógico do banco de dados possui um atributo descritivo específico com o objetivo de armazenar a escala que aquele dado é representativo. Desta forma os dados podem ser selecionados adequadamente para compor um trabalho de pesquisa.

### **4.5.3. Normalização dos Dados em Único Padrão Geográfico**

Um pré-requisito adotado no trabalho para a tarefa de carga efetiva foi o estabelecimento de um padrão de entrada de dados geográfico. Optou-se por utilizar o tipo de arquivo *Shape File* (SHP) por ser um formato popular para dados geográficos vetoriais, ser um padrão aberto e ter um grande rol de aplicativos que suportam este arquivo, facilitando assim a interoperabilidade entre os diversos programas de edição e manutenção.

A normalização dos dados no padrão SHP tem como objetivo final, além das citadas, a utilização de ferramenta que recebe um documento SHP e o exporta para o banco de dados geográfico.

### **4.5.4. Utilização da Ferramenta shp2pgsql**

A ferramenta shp2pgsql (Shape File para PostgreSQL) é disponibilizada junto com a instalação do PostGIS. Esta ferramenta tem o objetivo que importar documentos no formato SHP para o formato do banco de dados PostgreSQL, podendo ser importado diretamente no banco ou pela geração de *scripts* SQL (arquivo com extensão .sql), que podem ser executados na ferramenta de administração do PostgreSQL chamada PgAdmin.

Para o uso desta ferramenta é necessário um ambiente de linha de comando. Em Sistemas Operacionais (SO) Microsoft Windows utiliza-se o aplicativo Microsoft DOS e em SO baseados na plataforma Linux utiliza-se o Terminal de comandos. Para ambos os ambientes, as instruções são semelhantes e reproduzem os mesmos resultados. Abaixo está descrita a sintaxe para uso da ferramenta, assim como os parâmetros necessários para seu funcionamento.

Segundo sítio do PostGIS, "*o carregador de dados shp2pgsql converte arquivos ESRI Shape dentro do SQL de maneira correta para inserção em um banco de dados de PostGIS/PostgreSQL. O carregador tem vários modos operacionais distinguidos em linha de comando por parâmetro:*

*-d = Exclui a tabela do banco de dados antes de criar uma nova tabela com os dados no arquivo Shape.*

*-a = Acrescenta dados do arquivo Shape na tabela de banco de dados. Note que, para usar esta opção para carregar arquivos múltiplos, os arquivos têm que ter os mesmos atributos e mesmos tipos de dados.*

*-c = Cria uma nova tabela e insere dados do arquivo Shape. Este parâmetro é o modo padrão.*

*-p = Produz somente o código do SQL da criação da tabela, sem adicionar nenhum dado real. Isto pode ser usado se você necessitar separar completamente as etapas da criação da tabela e do carregamento dos dados.*

*-D = Cria uma nova tabela e insere dados do arquivo Shape. Este parâmetro usa o "dump" formato PostgreSQL para os dados de produção e é muito mais rápido carregar que o padrão "insert" formato SQL. Use isto para quantidades grandes de dados. Use o formato do "dump" de PostgreSQL para os dados da saída. Isto pode ser combinado com -a, -o e -d. É muito mais rápido carregar do que o default de inserção do formato SQL. Use isto para séries de dados muito grandes.*

*-s <SRID> = Cria e insere tabelas de geometria com o SRID especificado.*

*-k = Conserva identificadores de caso (coluna, schema e atributos). Note que os atributos em Shapefile são todos UPPERCASE.*

*-i = Conserva identificadores de caso (coluna, schema e atributos). Note que os atributos em Shapefile são todos UPPERCASE.*

*-w = Formato de saída WKT, para o uso com versões de PostGIS anteriores (0.x). Note que isto introduzirá trações coordenadas e deixará cair valores de M de shapefiles.*

*-W <encoding> = Especificar codificando os dados de entrada (arquivo dbf). Quando usados, todos os atributos do dbf são convertidos da codificação especificada para UTF8. A saída resultante do SQL conterà um comando SET CLIENT\_ENCODING para UTF8, de modo que o retorno estará apto para uma conversão de UTF8 para qualquer codificação de banco de dados que é configurado para usar internamente.*

*Nota-se que - a, - c, - d e - p é mutuamente exclusivo."*

Este procedimento foi utilizado em todas às entidades geográficas vetoriais utilizadas no trabalho, mantendo o sistema de projeção SIRGAS2000 conforme padrão estabelecido.

#### 4.6. Capacidade de Conectividade do Banco de Dados Geográfico

O banco de dados consolidado neste trabalho tem o objetivo de armazenar de forma íntegra e segura os dados relevantes à gestão dos recursos hídricos. A gestão se dá pela utilização de ferramentas que possuem inteligência necessária para responder a determinados questionamentos. Não é propriedade do banco de dados realizar esta tarefa, o SGBD que mantém os dados íntegros, disponibiliza um conjunto de mecanismos de manipulação dos dados armazenados que são os SQL's, mencionados anteriormente.

Para este trabalho, observou-se a importância do banco de dados exercer o papel de agente integrador, onde as principais ferramentas de análise da água estariam convergidas ao repositório de dados. Para isso foi necessário adequar a estrutura de armazenamento geográfico do PostGIS.

Como o PostGIS segue as definições da OGC, o atributo geográfico segue a *Simple Features Specification* (SFS) que é uma especificação para armazenamento de dado geográfico em atributos de banco de dados. Com isso, todos os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), que utilizem este padrão, poderão acessar os dados. Entre os SIG's importantes que estão aptos a serem utilizados são: Quantum GIS, gvSIG e o GRASS. Estes sistemas são bastante utilizados pelos pesquisadores e pela comunidade por possuírem um conjunto de ferramentas para análise espacial vetorial e matricial e também por serem *Softwares Livres*, o que significa que não há custo para o uso, podendo ser “baixados” de seus respectivos sítios na internet.

Assim como a maioria dos grandes projetos, as ferramentas fornecidas pela empresa ESRI, não poderiam deixar de ser contempladas. Afinal, estas ferramentas possuem um grande volume de funcionalidades utilizadas pelos mantenedores dos dados geográficos. Visualizando projetos passados, observa-se que o ArcMAP da ESRI é uma das principais ferramentas para análise topológica, de rede, tematização e edição de dados geográficos utilizada pelos geógrafos, geólogos e por um variado grupo de profissionais e pesquisadores que têm a componente geográfica em seus trabalhos.

Objetivando o uso da ferramenta ArcMAP, o banco de dados baseado em PostGIS recebeu uma customização de forma que os dados especificados de acordo com a SFS pudessem ser utilizados pelo programa ArcMAP que não possui a especificação da OGC em sua definição. Assim, um único dado geográfico contido no banco de dados agora é capaz de ser representado utilizando-se um rol maior de ferramentas, o que potencializa a diversidade do uso.

A customização do PostGIS foi possível porque a ferramenta ArcSDE, também da ESRI, fornece ao PostGIS a capacidade de realização da integração com o ArcMAP. O ArcSDE funciona como uma interface entre o banco de dados e a ferramenta de manutenção. A **Figura 36** traz o esquema de integração e a potencialidade dessa integração.

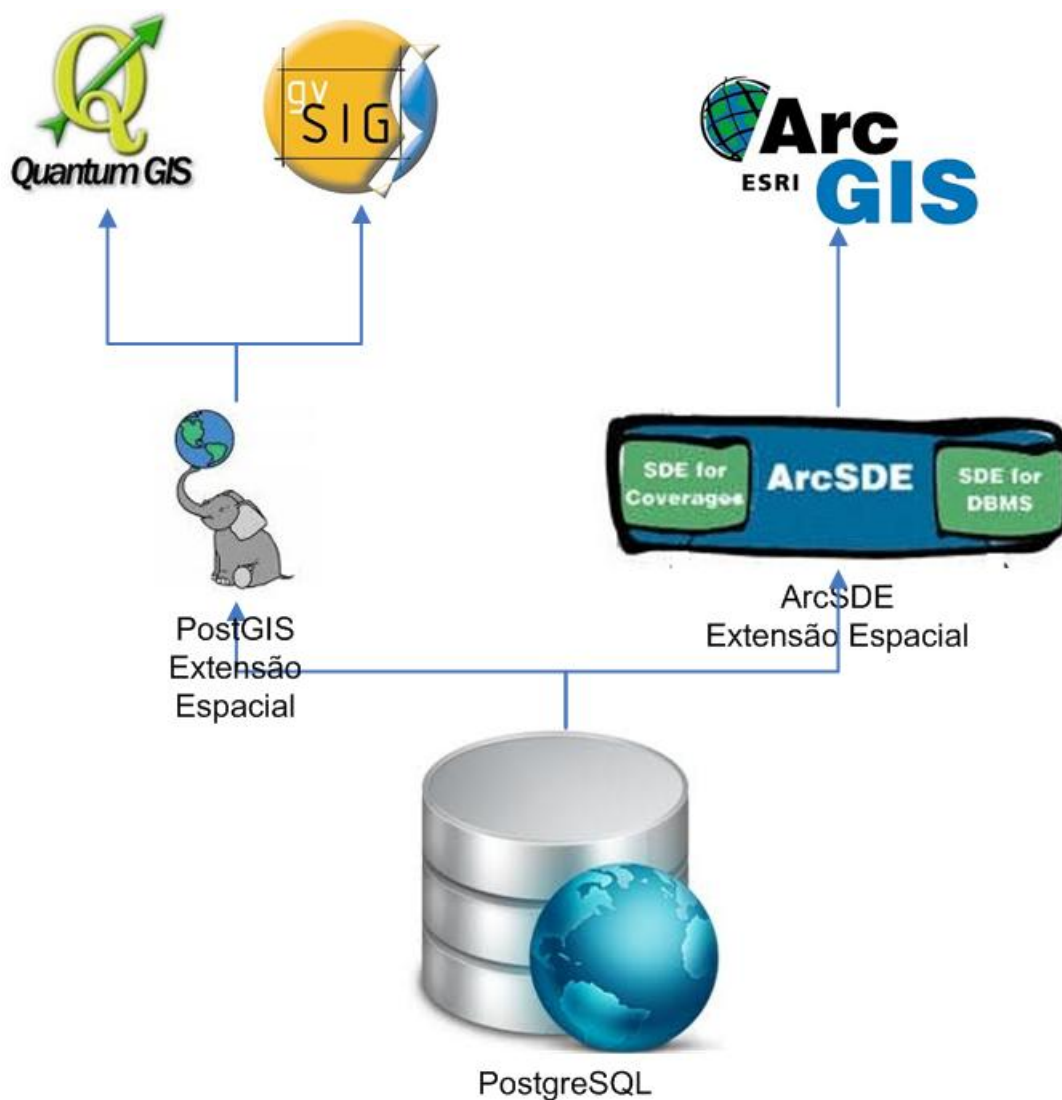


Figura 36: Integração entre banco de dados e ferramentas de edição.

A associação das tecnologias para o mesmo fim neste trabalho, como é o caso do PostGIS e ArcSDE conforme citado anteriormente são extensões espaciais para SGBD objeto-relacional, com isso o objetivo é aumentar o rol de possibilidades para a interconexão de aplicativos do tipo SIG. Com essa integração, os aplicativos Quantum GIS, gvSIG e o ArcMap 10, desta forma usuários de diferentes ferramentas podem



compartilhar o mesmo dado geográfico e descritivo, pois cada SIG tem especificidades e qualidades diferentes que podem se complementar.

#### **4.7. Aplicação de Indicadores e Utilização da Base de Dados para Gerar Informações Sobre Recursos Hídricos**

Em Isaias (2008), indicadores são instrumentos de investigação que buscam representar determinado cenário mediante números simples e objetivos. Isto se assemelha com as abstrações realizadas no paradigma dos quatro universos para o processo de modelagem de bancos de dados geográficos descrito por Câmara *et al.* (2005). Isaias (2008) citando Benetti (2006) diz que os indicadores constituem-se em um importante parâmetro para a gestão e o planejamento de políticas e ações auxiliando os trabalhos de análise e direcionamento dos objetivos finais.

Os indicadores quando materializados em meio computacional e apoiados por um SIG e sensoriamento remoto, tornam-se uma ferramenta potente para o processo de gestão territorial, especialmente na caracterização das paisagens e na análise de escalas, padrões e processos relacionados aos fenômenos ambientais (Novo, 1992).

##### **4.7.1. Indicador para Escoamento Superficial**

Neste trabalho, o indicador elaborado em Menezes (2010) adaptado de Neto *et al.* (1989) e Sartori (2004) define o indicador de Escoamento Superficial (*RunOff*), este indicador foi informatizado e disponibilizado em formato de SIG acessível pela internet.

Assim como em Menezes (2010), os mapas de uso e ocupação do solo foram utilizados como fator temporal para observar o crescimento da impermeabilização motivada pela movimentação antrópica no processo de crescimento urbano. Os dados utilizados de uso do solo são da Unidade Hidrográfica (UH) do Lago Paranoá dos anos 1953, 1964, 1973, 1984, 1994, 1998 e 2009. Estes mapas foram incorporados ao banco de dados geográfico proposto neste trabalho utilizando o **processo** da Figura 33 que descreve a forma de inclusão dos dados.

Com os mapas de uso da UH do Lago Paranoá contemplados no banco de dados consolidado, o indicador de Escoamento Superficial foi automatizado com a ferramenta de modelagem de processos geográficos *Model Builder* (ESRI, 2010). Menezes (2010) descreve conceitualmente o modelo de composição para a geração do mapa temático final de escoamento superficial (**Figura 37**).

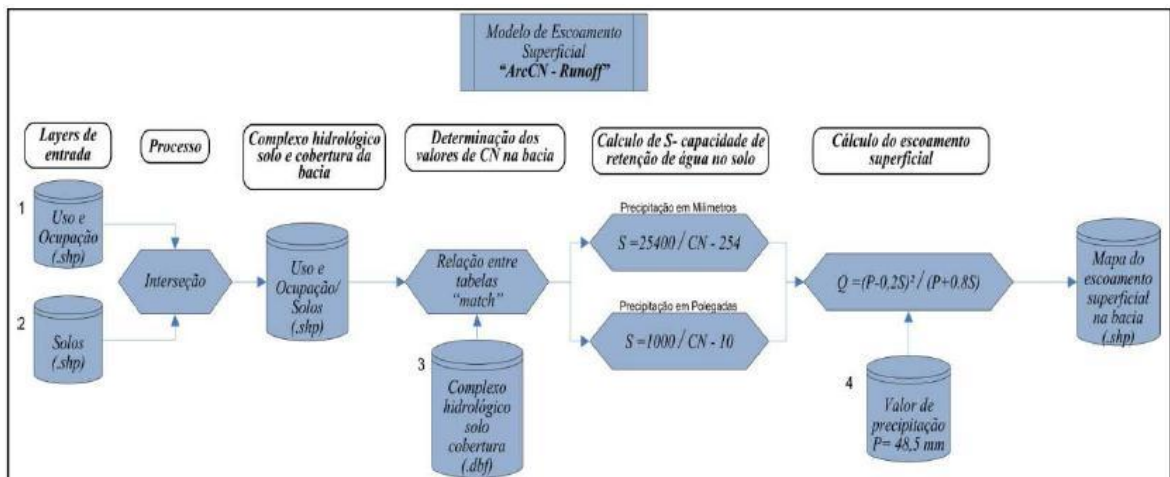


Figura 37: Sequência de trabalho para a construção do mapa de escoamento superficial. Fonte: Menezes (2010).

A fundamentação teórica para o processo de construção deste indicador encontra-se em Menezes (2010), para este trabalho, os procedimentos foram automatizados em ferramenta computacional auxiliando a operacionalização dos estudos e análises dos recursos hídricos. A **Figura 38** faz a reconstrução da sequência de trabalho no *Model Builder* (ESRI, 2010), pois esta ferramenta tem a capacidade de ser disponibilizada na internet por meio de um SIG. Desta forma, apenas os parâmetros de entrada precisam ser selecionados para o processamento, isso reduz o esforço do retrabalho e direciona as atividades de indicar ao modelo as variáveis de entrada como: mapa de uso e ocupação, solos, variação de curva número (CN) (Ogrosky & Mockus, 1964) e valor de precipitação que sofrerão variações temporais e mudarão os aspectos relacionados ao escoamento superficial da água.

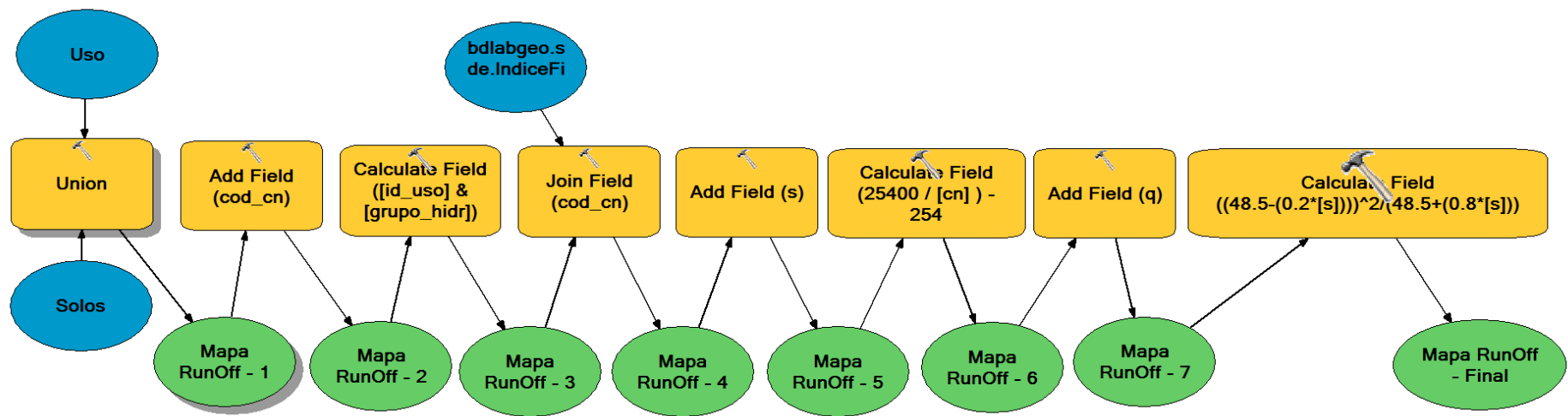


Figura 38: Processo automatizado para o indicador de escoamento superficial.

#### **4.7.2. Indicador para verificar o Potencial de Recarga**

Em Gonçalves *et al.* (2009) são realizadas as construções de indicadores para compor uma ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos na região do Distrito Federal. Os indicadores caracterizados nesse trabalho foram: indicador para aferir a capacidade de máxima retenção de água dos solos, disponibilidade hídrica potencial, potencial de recarga, favorabilidade à exploração de água subterrânea e por fim o indicador final resultante da agregação dos demais, o indicador que apoiará à outorga de água subterrânea no Distrito Federal.

Dos indicadores elaborados por Gonçalves *et al.* (2009), observa-se que o processo para obter a Curva Número (CN) (Ogrosky & Mockus, 1964) presente no indicador de escoamento superficial de Menezes (2010) é semelhante, pois ambas as referências utilizam a mesma metodologia de construção. Para este trabalho o indicador que monitora o potencial de recarga foi selecionado para uso, pois é classificado como um elemento importante no processo de análise dos recursos hídricos. Este indicador foi implementado também com a ferramenta *Model Builder* (ESRI, 2010) com o objetivo de automatizar este processo e facilitar o trabalho de pesquisadores. A **Figura 39** descreve o fluxo conceitual de Gonçalves *et al.* (2009) analisado. O processo de implementação do fluxograma conceitual de Gonçalves *et al.* (2009) pode ser visualizado na **Figura 40** que contempla apenas os processos em destaque na **Figura 39**.

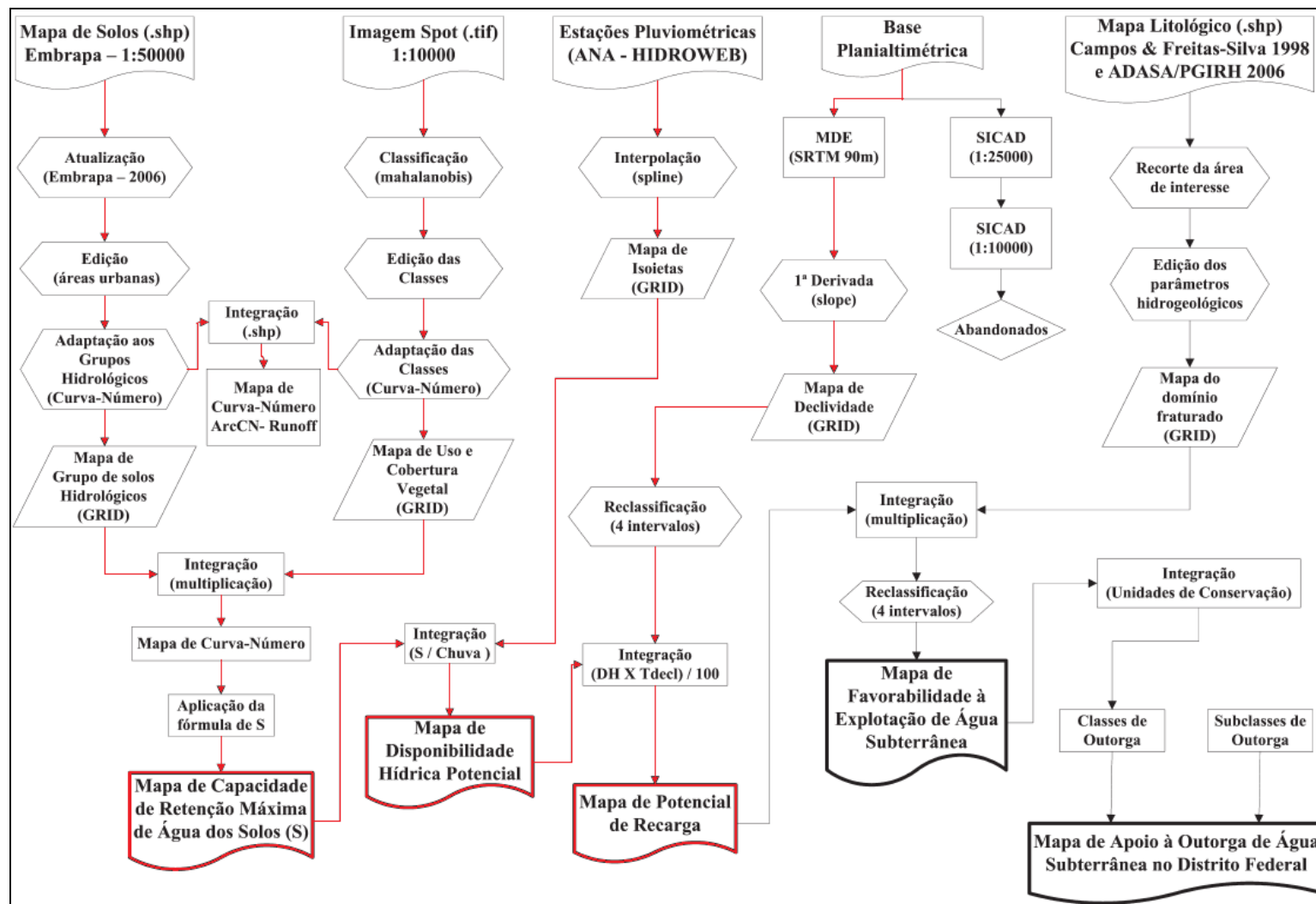


Figura 39: Fluxograma metodológico adaptado de Gonçalves *et al.* (2009).

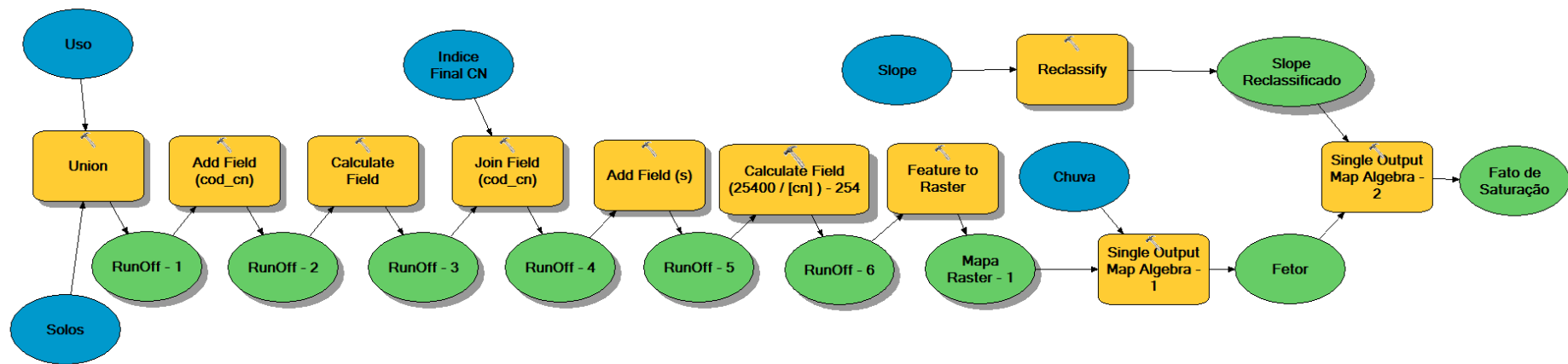


Figura 40: Processo automatizado para o indicador de potencial de recarga.

#### 4.7.3. Indicador para verificar o Potencial a Erosão

Em Roig (2012) foi elaborado um indicador para verificação do potencial à erosão, para gerar este mapa foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (*Universal SoilLossEquation*). Roig (2012) elaborou um processo conceitual que descreve esta equação (**figura 41**), observa-se que para empregar esta equação de perda do solo, foram necessárias adaptações para aplicação no Brasil. Roig (2012) cita ainda que utilizou as modificações feitas por Denardin (1990), Bertoni & Lombardi Neto (1993); e Roig (2005) com vista a melhorar os cálculos desenvolvidos por Baptista (2003) para o Distrito Federal.

Para este trabalho o modelo conceitual proposto por Roig (2012) foi implementado e automatizado na ferramenta *Model Builder* (ESRI, 2010) de modo que somente os dados de entrada e variáveis pudessem ser alteradas facilitando o processo de elaboração dos mapas de verificação do potencial a erosão no Distrito Federal. A **Figura 42** descreve o processo implementado.

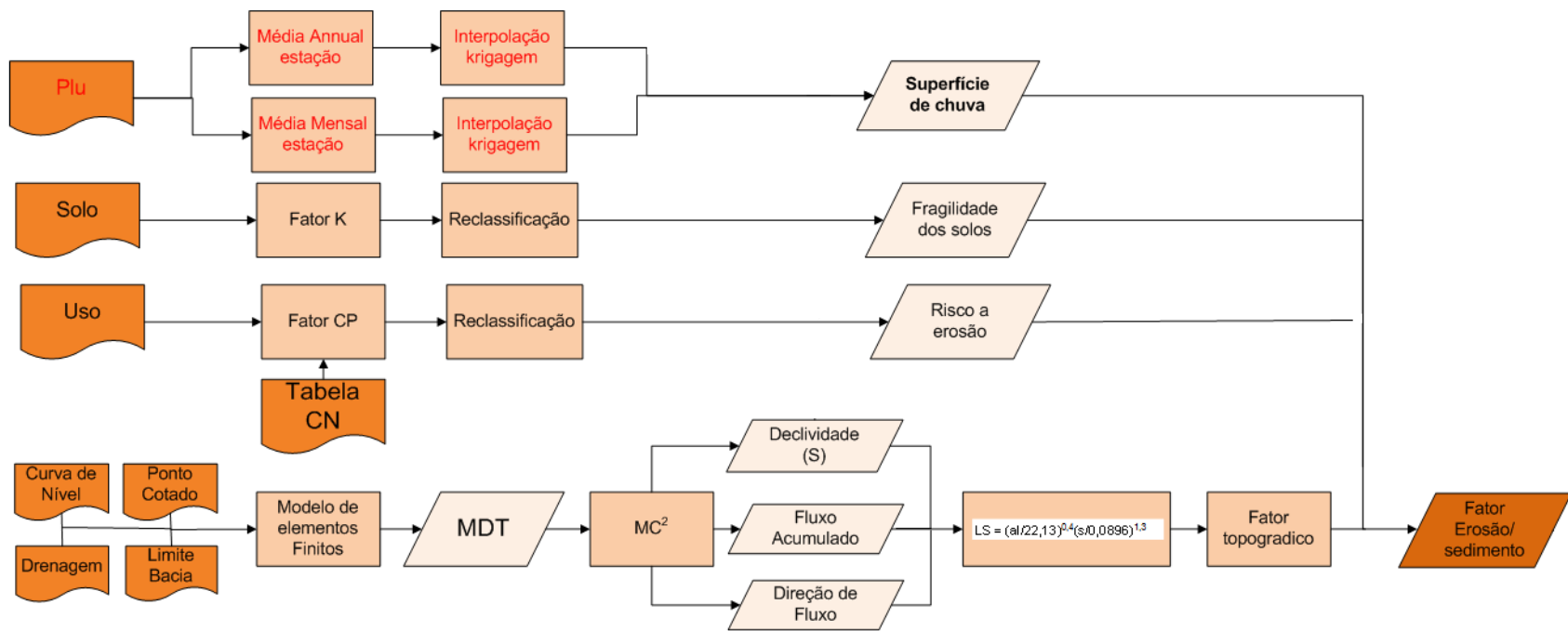


Figura 41: Fluxograma conceitual o potencial a erosão. Fonte: Roig (2012).



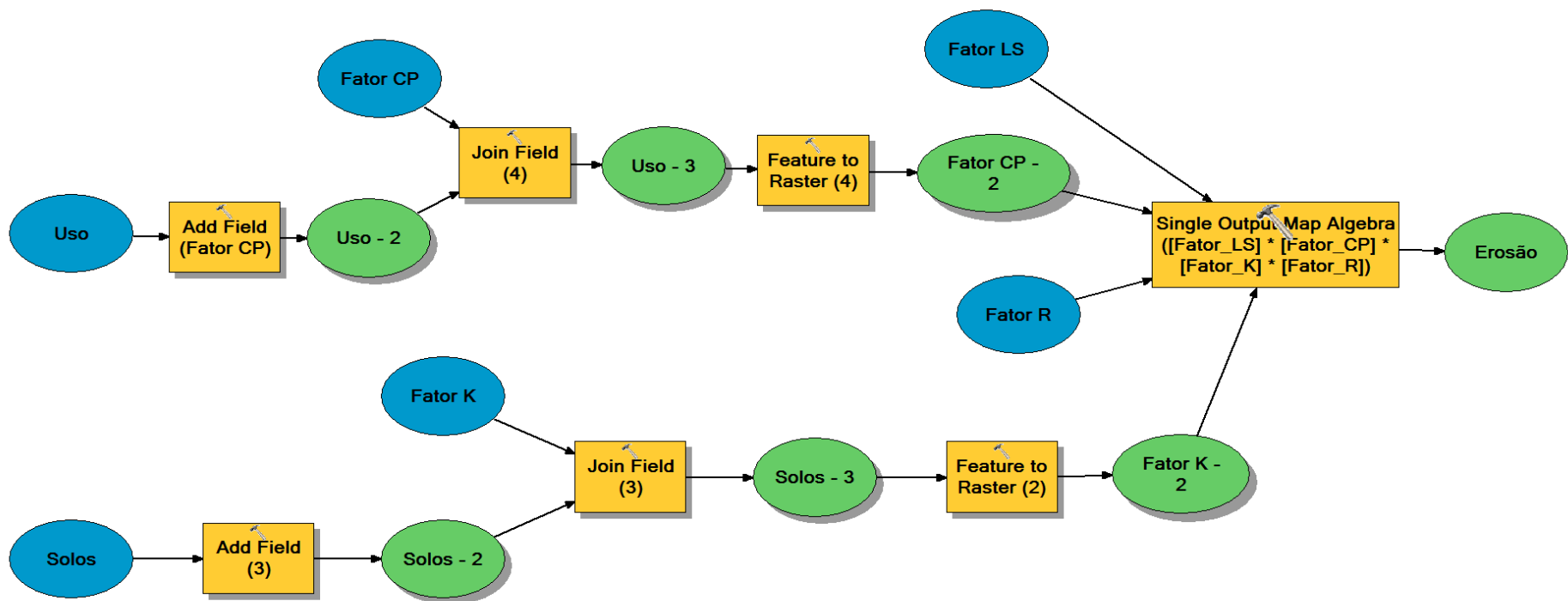


Figura 42: Processo automatizado do indicador de potencial a erosão.

#### **4.8. O Modelo de Banco de Dados Final**

O modelo de banco de dados resultante deste trabalho foi a composição de modelos conceituais existentes para atender às necessidades de análise. O modelo produto tem a capacidade de representar componentes geográficas vetoriais e atributos alfanuméricos, podendo estes variar no tempo. Desta forma é possível acompanhar as mudanças nas características dos objetos durante um período de tempo. Este modelo contempla características da hidrografia, hidrologia, pedologia e uso do solo. Os temas foram identificados como pontos de partida para o processo de análise do comportamento e gestão hídrica. Outros temas como geologia, relevo e vegetação, por exemplo, devem ser agregados a estes com o objetivo de expandir as possibilidades de análise e compartilhamento da informação. Os modelos conceitual e lógico do banco de dados encontram-se anexos a este trabalho.

#### **4.9. O Banco de Dados Geográfico**

O banco de dados geográfico deste trabalho tem as características definidas no processo de modelagem conceitual e lógica, aplicada a uma tecnologia de banco de dados de código aberto denominado PostgreSQL e tem como primitiva geográfica o tipo de dado definido pela ferramenta de extensão geográfica PostGIS que por sua vez está baseada nos padrões definidos pela OGC.

Utilizando uma tecnologia de SGBD os bancos são alocados em servidores específicos que possuem rigoroso controle de acesso, níveis de serviço que monitoram a disponibilidade deste servidor de banco no nível de operação e possui políticas de realização de backup para mitigar a possibilidade de perda dos dados em casos de desastres ou qualquer inconveniente que ponha em risco a integridade deste banco de dados. Estas características de segurança e garantia de continuidade são definidas entre o administrador do banco de dados e a área de infraestrutura responsável pelo parque computacional. O banco de dados deste trabalho encontra-se disponível no servidor integrado do IG/UnB, atualmente a utilização dos dados está no nível do instituto, porém, há metas para expansão e disponibilização a outros centros de pesquisa da própria universidade ou outras entidades externas.

Neste trabalho o banco de dados (PostgreSQL) foi configurado para ser capaz de suportar duas tecnologias de extensão espacial, o PostGIS (OSGeo) e o ArcSDE (ESRI). Esta capacidade de multi-conexões permite o uso sincronizado de ferramentas distintas de

consulta, edição e análise de dados geográficos que utilizam padrões abertos como os definidos pela OGC e outros proprietários.

#### **4.10. Os Indicadores Iniciais**

Após a organização e consolidação dos dados em um SGBD, foi realizada a implementação de indicadores de escoamento superficial, disponibilidade hídrica e potencial a erosão na ferramenta de modelagem *Model Builder* (ESRI) para a Bacia do Paranoá. Os resultados obtidos da aplicação dos índices gerados com variação no tempo foram disponibilizados na forma de SIG em ambiente de internet (*Web*), utilizando padrões abertos e proprietários de serviços de informação geográfica na rede de computadores, atendendo o requisito de ampliação das possibilidades de interoperabilidade entre sistemas. Desta forma o IG/UnB poderá desenvolver seus projetos colaborativamente entre seus integrantes e oportunamente com outras entidades parceiras.

As Figuras **43**, **44** e **45** mostram a consolidação e utilização dos indicadores em Sistemas de Informações Geográficas, estas podem ser utilizadas por pesquisadores especialistas para o desenvolvimento de seus estudos, observa-se que o valor agregado está na possibilidade de incremento de dados e desenvolvimento de novos indicadores que forneçam material de qualidade aos pesquisadores e aos agentes tomadores de decisão.

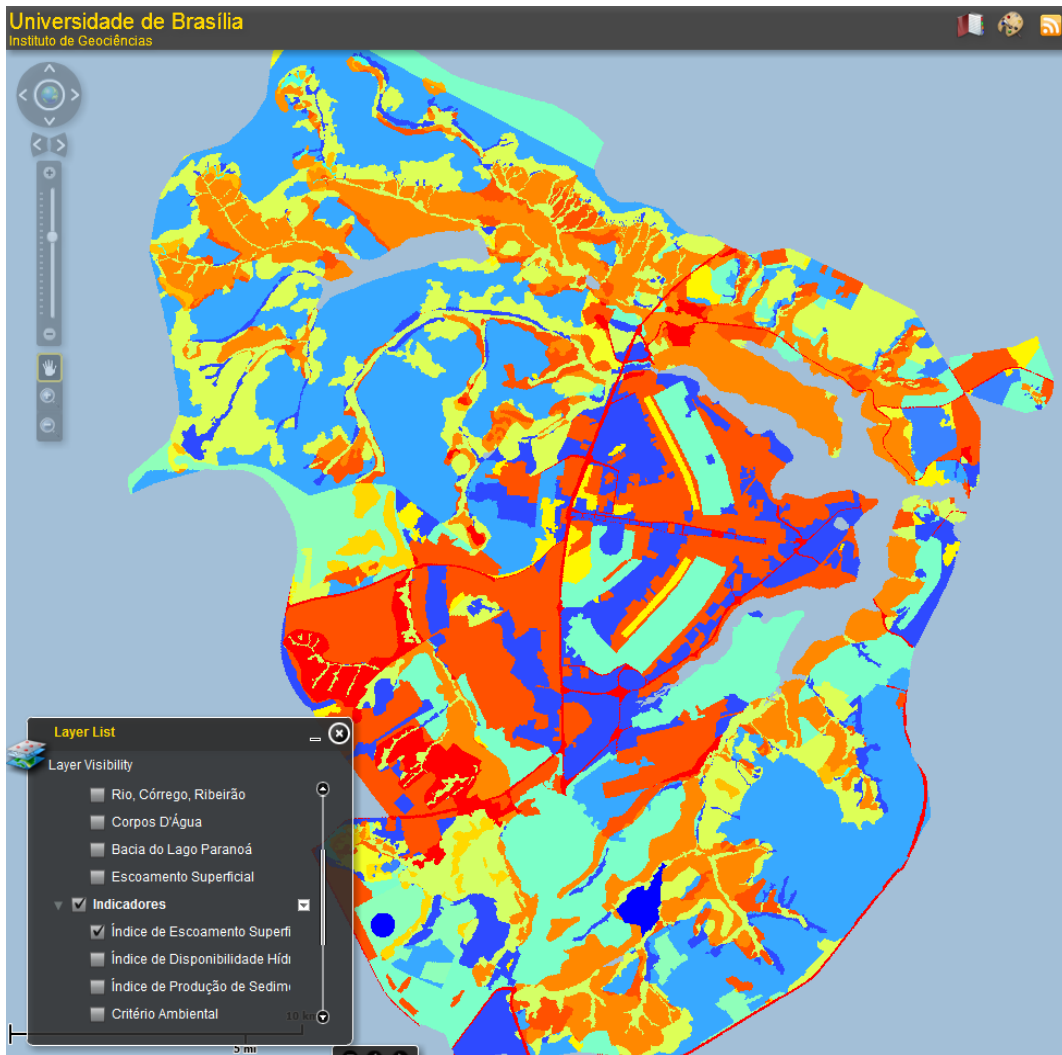


Figura 43: Imagem resultante da aplicação do indicador de escoamento superficial na unidade hidrográfica do Lago Paranoá.

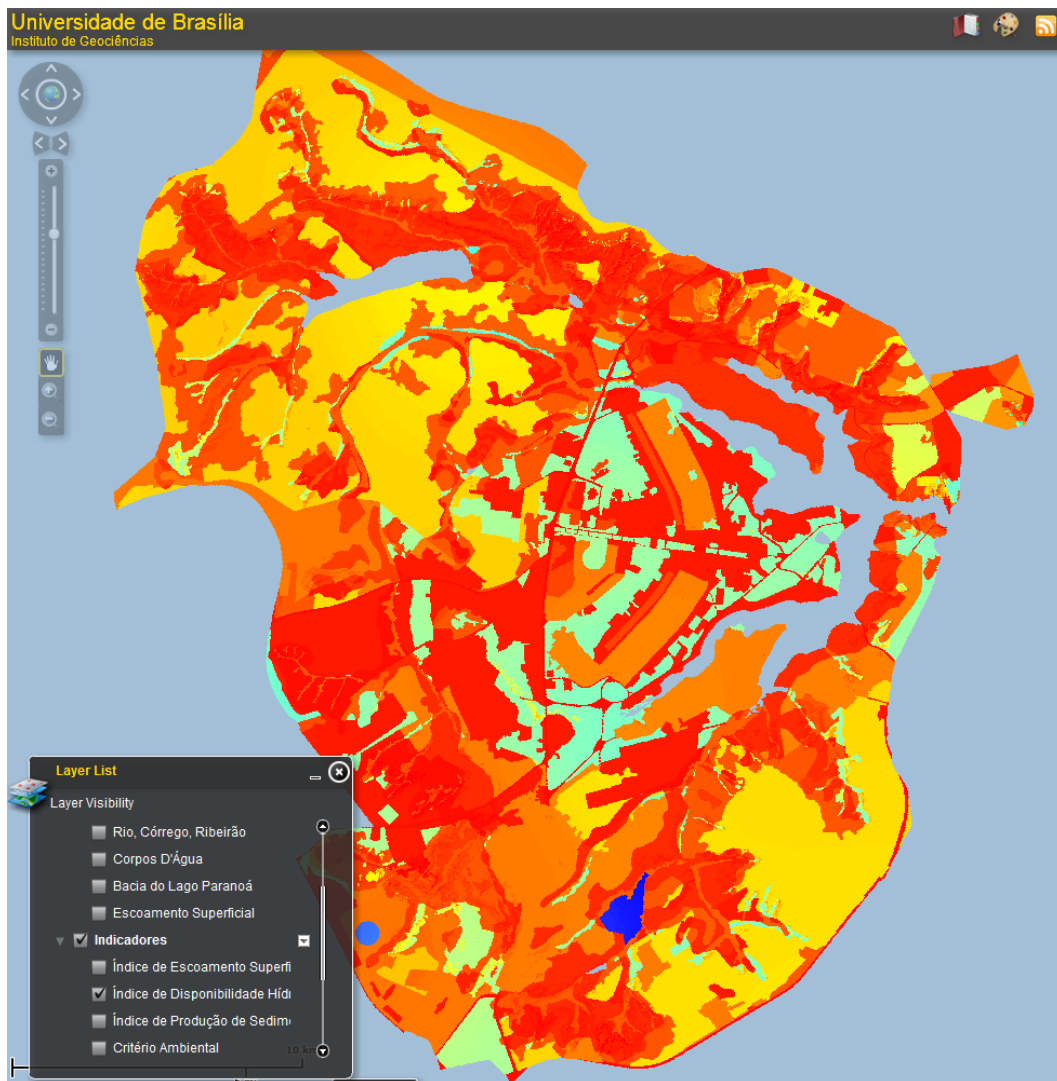


Figura 44: Imagem resultante da aplicação do indicador de potencial de recarga na unidade hidrográfica do Lago Paranoá.

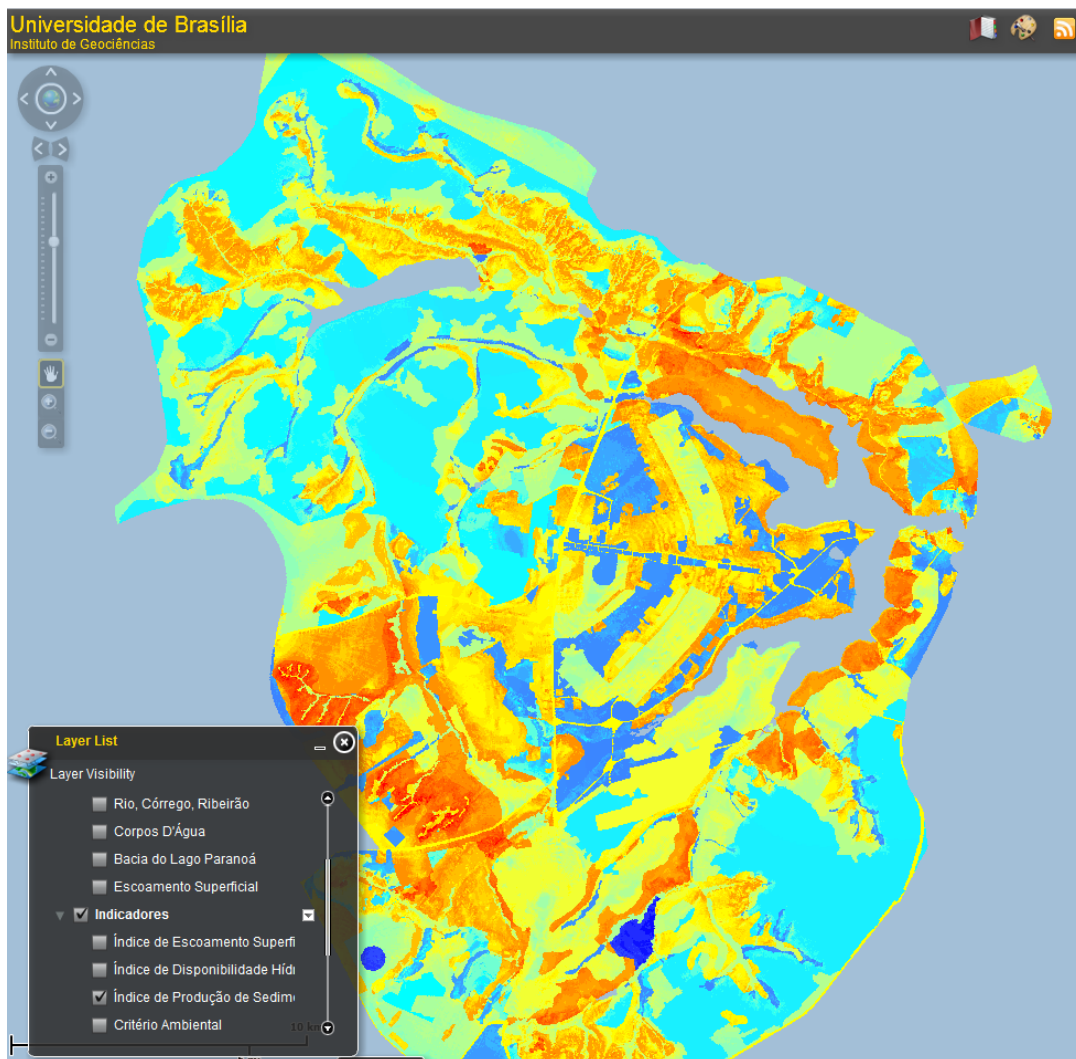


Figura 45: Imagem resultante do indicador de potencial para produção de sedimentos ou erosão na unidade hidrográfica do Lago Paranoá.

## 5. Conclusão

Os conhecimentos relativos às técnicas computacionais de modelagem e consolidação de banco de dados e sistemas de informações geográficas são ferramentas fundamentais para apoiar a área fim de gestão integrada dos recursos hídricos. O Distrito Federal e mais especificamente a região que compreende a Bacia do Paranoá tem com este trabalho, uma ferramenta de acompanhamento e controle dos recursos hídricos. Os produtos resultantes deste trabalho (banco de dados, SIG e indicadores automatizados) agregam um valor final muito importante à manutenção e inspeção do equilíbrio ecológico da região estudada que cada vez mais sofre com ações antrópicas.

As ferramentas e os métodos computacionais são apenas um meio de automatizar tarefas rotineiras de determinado projeto, objetivando facilitar o processo operacional e dar ao pesquisador mais tempo para dedicar-se aos problemas específicos de sua área.

Tratando-se de ferramentas, estas podem ser utilizadas para analisar as mesmas componentes geográficas de outras bacias hidrográficas.

A composição de um banco de dados utilizando conceitos de modelagem conceitual, lógica e física auxiliam por correspondência as equipes de trabalho, uma vez que tendo os dados organizados em repositório comum os integrantes podem planejar seus trabalhos de maneira colaborativa e otimizada. A organização lógica dos dados permite também a produção e manutenção de novos dados, pois deverão seguir as diretrizes do modelo de especificação de banco de dados.

## **6. Trabalhos Futuros**

Tratando-se de base de dados, este trabalho permite o incremento de novos temas cuja importância para o processo de análise dos recursos hídricos é tão importante quanto os contemplados neste trabalho. Com isso é visualizado como um trabalho futuro que agregará valor ao existente a implementação dos temas: Águas Subterrâneas, Vegetação, Relevo e Geologia. Assim como os temas, a criação de novos indicadores, que de fato, são as ferramentas de análise final, estas devem ser desenvolvidas para o aumento e diversificação da capacidade análise em questões relacionadas à gestão da água.

## 7. Bibliografia

- ADASA. 2006. Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal - ADASA. Plano de Gerenciamento Integrado de recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH. [www.pgirh.df.gov.br](http://www.pgirh.df.gov.br), acesso em 25 de agosto de 2006.
- ANA. 2006. Agência Nacional de Águas - ANA. [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br), acesso em 16 agosto de 2006.
- ANA – Agência Nacional das Águas 2005. Sistemas de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acessado em 5 de Janeiro de 2011.
- BANZHAF, E; ROIG, H.L.; ISAIAS, F.B. 2009. Characterising the phenomenon of water scarcity in the fast growing federal district of Brasilia. Urban Remote Sensing Joint Event
- BAYES, T., 1991. 1763. “An essay towards solving a problem in the doctrine of chances” Bayesian Statistics: Principles, Models, and Applications, p. 189 – 215.
- BÉDARD, Y. Visual modeling of spatial databases: towards spatial PVL and UML. Geomatica, vol. 53, no 2, p. 169-186. 1999.
- BENETTI, L. B. Avaliação do Índice de Desenvolvimento Sustentável do Município de Lages (SC) através do Método Painel de Sustentabilidade. 2006. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina.
- BORGES, K. A. V. Modelagem de dados geográficos - uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 1997. Dissertação de mestrado, Escola de Governo, 1997.
- BORGES, K. A. V.; DAVIS JR., C. A.; LAENDER, A. H. F. OMT-G: an object-oriented data model for geographic applications. GeoInformatica, v. 5, n.3, p. 221-260, 2001.
- CÂMARA, G. Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1995. Ph.D., 1995.
- CÂMARA, G., DAVIS JUNIOR, C., MONTEIRO, A. M. Introdução à Ciência da Geoinformação, INPE, São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>> Acesso em 05 de Abr. de 2010.
- CAMPOS, J.E.G. & FREITAS-SILVA, F.H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte IV. 85p. (inédito).
- CARVALHO, J.C.; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO, M. T. S. 2006. Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC.
- CASANOVA, M.A., CÂMARA, G., DAVIS JUNIOR, C., VINHAS, L., QUEIROZ, G. Banco de Dados Geográficos, Curitiba, Editora MundoGEO, 2005. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/capitulos.html>> Acesso em 06 de Abr. de 2010.
- CHAGAS, C. S.; CARVALHO W. J.; BHERING I. S. B.; TANAKA II A. K.; BACA I J. F. M. Estrutura e organização do sistema de informações georreferenciadas de solos do Brasil (Sigsolos - versão 1.0). Rev. Bras. Ciênc. Solo, Out 2004, vol.28, no.5, p.865-876.
- CDRH, 2005. Caderno Distrital de Recursos Hídricos, Plano Nacional de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH). Brasília: ADASA/SEMARH.
- CHEN, P. S. S. The Entity-Relationship Model: Towards a Unified View of Data. ACM Transactions on Database Systems, v. 1, n.1, p. 9-36, 1976.
- CODEPLAN. 1976. Diagnóstico do espaço natural do Distrito Federal, GDF, Brasília. 300p.



- CODEPLAN. 1984. Atlas do Distrito Federal, GDF, Brasília. 78p.
- CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia 2007. EDGV - Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/detalheDocumentos.aspx?cod=94>. Acessado em 20 de Dezembro de 2010.
- DAVIS, C.; BORGES, K.; LAENDER, A. OMT-G: An Object-Oriented Data Model for Geographic Applications. *GeoInformatica*, v. 3, n.1, 2002.
- ECHEVERRIA, R. M., Avaliação de Impactos Ambientais nos Tributários do Lago Paranoá, Brasília– DF. Dissertação de Mestrado 2007 - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – DF.
- EMBRAPA. 1978. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal. Escala 1:100.000. Rio de Janeiro. EMBRAPA. SNLCS. Boletim Técnico. 455p.
- Environmental Modelling & Software, 25 (2010) 383–397. Integrated water resources management of overexploited hydrogeological systems using Object-Oriented Bayesian Networks.
- ESRI, 1998, "Esri Shapefile technical description". Visitado em 2007-07-04.
- ESRI, 2010. Disponível em <http://www.esri.com/products/index.html>. Acessado em Novembro de 2011.
- FREITAS-SILVA, F.H. & CAMPOS, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Parte I. IEMA-SEMATEC/Universidade de Brasília. 86 p. (Relatório Inédito).
- GOMES, J.M.; VELHO, L. Computação Visual: Imagens. Rio, SBM, 1995.
- GONÇALVES. T.D. ; CAMPOS, J. E. G. ; ROIG, H. L. . SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO FERRAMENTA DE APOIO À OUTORGA DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO DISTRITO FEDERAL. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, p. 169-180, 2009.
- Governo Eletrônico 2010. e-PING – Padrões de Interoperabilidade de Governo Eletrônico. Disponível em: <http://governoeletronico.gov.br/anexos/e-ping-versao-2010>. Acessado em 05/01/2011.
- INDE, 2008. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. Disponível em <http://www.inde.gov.br/>. Acesso em 04 de Abril de 2010.
- ISAIAS, F. B. A Sustentabilidade da Água: Proposta de um índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas. 2008, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- ISAIAS, F.; ROIG, H.L.; Menezes; P. J.; Lorts, C. 2012 Application of the sustainability index of watersheds in 5 (five) watersheds that provides water for water supply for DF". *RegioResources 21-2012*, Dresden – Alemanha 5 paginas.
- JENSEN, F.V., 1996. An Introduction to Bayesian Networks. UCL Press, London, 198 pp.
- JENSEN, F.V., 2001. Bayesian Network and Decision Graphs. Department of Computer Science, Aalborg University, Aalborg, Denmark.
- KÖSTERS, G.; PAGEL, B.; SIX, H. GIS-Application Development with GeoOOA. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 11, n. 4, p. 307-335, 1997.
- LEE, M.; KIM, H.; KIM, J.; LEE, J.; GUM, D., StarUML The Open Source UML/MDA Platform, 2005. Disponível em: <http://staruml.sourceforge.net/en/index.php>. Acessp em 12 de Outubro de 2011.
- LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. Modeling with a UML Profile. In: SHEKHAR, S.; XIONG, H. (Eds.). *Encyclopedia of GIS*. Germany: Springer-Verlag, 2008. p.691-700.

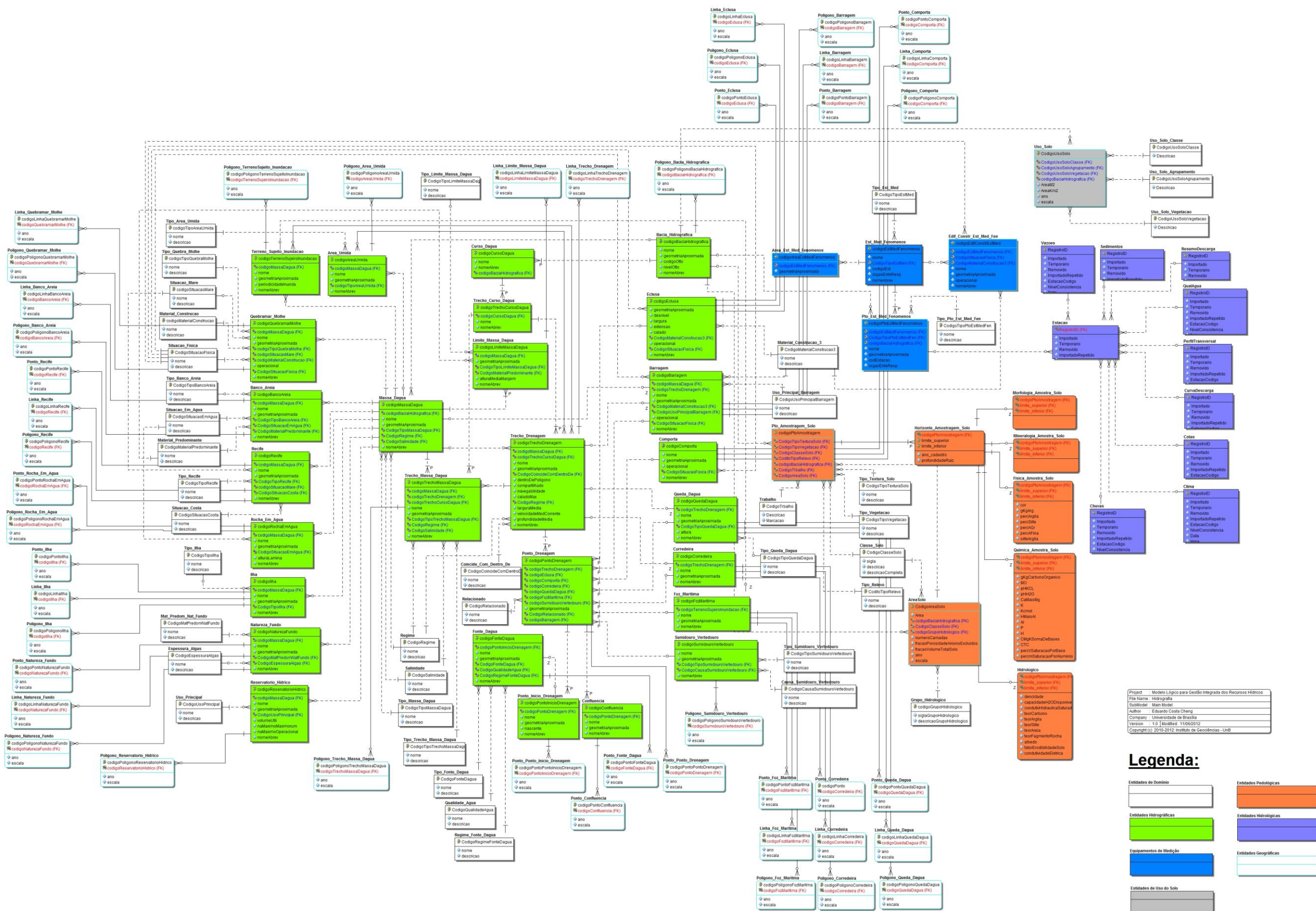
- LOMBARDI-NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. Nova abordagem para o cálculo de espaçamento entre terraços. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.
- LORZ, C.; BAKKER F.; Fürst, C.; GOLDBACH A.; ROIG, L. H., MAKESCHIN, F. 2010. A planning support tool for sediment management – a case study from central Brazil. LANDMOD2010 – Montpellier – February 3-5, 2010
- LORZ, C. ; ABBT-BRAUN, G. ; BAKKER, F. ; BORGES, P. ; Börnick, H. ; FORTES, L. ; FRIMMEL, F. H. ; GAFFRON, A. ; HEBBEN, N. ; Höfer, R. ; MAKESCHIN, F. ; NEDER, K. ; ROIG, H. L. ; STEINIGER, B. ; STRAUCH, M. ; WALDE, D. ; WEI, H. ; WORCH, E. ; WUMMEL, J. . Challenges of an integrated water resource management for the Distrito Federal, Western Central Brazil: climate, land-use and water resources. Environmental Earth Sciences , v. Online, p. 1866-6280, 2011.
- MAIDMENT, D. R. (Eds.) 2002. Arc Hydro: Gis for Water Resources. ESRI Press, California, 203 pp.
- MARTINS, E.S. & BAPTISTA, G.M.M. 1998. Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte II. 53p.
- MEDEIROS, A.M. L. O Geoprocessamento e suas Tecnologias – Parte 2, 2010, Disponível em: <<http://blog.geoprocessamento.net/2010/01/geo-e-suas-tecnologias2/>> Acesso em 05 de Abr. de 2010.
- MEDEIROS, A.M. L. Conectar Banco de Dados PostGis com o gvSIG 1.1.1, 2009, Disponível em: < <http://www.clickgeo.com.br/ConectarPostGis-gvSIG.pdf>> Acesso em 06 de Abr. de 2010.
- MENEZES, P. J. Avaliação do Efeito das Ações Antrópicas no Processo de Escoamento Superficial e Assoreamento na Bacia do Lago Paranoá, 2010, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- MENEZES; P. J.; ROIG. H.L.; ISAIAS, F; LORTS, C. . 2012. Evaluation of land use changes on the process of runoff and siltation in the Paranoá lake watershed. RegioResources 21-2012, Dresden – Alemanha 5 paginas.
- MPOG - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão & CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia (Eds.) 2010. Plano de Ação para Implantação Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais, Rio de Janeiro, 203 pp.
- MPOG - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão & CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia (Eds.) 2009. Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil, Rio de Janeiro, 194 pp.
- NETO L. F.; BELLINAZZI J. R.; GALETI P. A.; BERTOLINI D.; LEPSCH I. F.; OLIVEIRA J. B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989.Fundação Cargill. p.99-124.
- NOVAES PINTO, M. 1994a. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M. (org). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2ª ed.. p. 285-320.

- NOVAES PINTO, M. 1994b. Paisagens do cerrado no Distrito Federal. In: Novaes Pinto, M. (org). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2ª ed. p. 511-542.
- NOVO, E. M. L. M., 1992. Sensoriamento remoto. Princípios e Aplicações. Ed. Edgard Blucher Ltda. 2ª Ed. São Paulo, Brasil, 1992.
- OGC, 1998, The OpenGIS Specification Model: The Coverage Type and Its Subtypes, Wayland, MA, Open Geospatial Consortium.
- OGC, 2012, Open Geospatial Consortium Standard. Disponível em <http://www.opengeospatial.org/standards/is>, acessado em 17 de Janeiro de 2011.
- OGROSKY, H. O.; MOCKUS, V. 1964. Hydrology of Agricultural Lands In: USDA-SCS.NationalEngineeringHandbook: Section 4, Chapter 7.
- PARENT, C.; SPACCAPIETRA, S.; ZIMÁNYI, E. Modeling and Multiple Perceptions. In: SHEKHAR, S.; XIONG, H. (Eds.). Encyclopedia of GIS. Germany: Springer-Verlag, 2008. p.682-690.
- PGIRH, 2012. Plano Nacional de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH). Brasília: ADASA/SEMARH.
- PINHEIRO, H, OMT-G extension for StarUML, 2010. Disponível em: <http://omtgextensionf.sourceforge.net/>. Acesso em 17 de Outubro de 2011.
- RATIONAL SOFTWARE CORPORATION, 1997, The Unified Modeling Language: notation guide, version 1.1
- ROIG, H. L. Definição do Critério ambiental para compor a análise multicritério de bacias hidrográficas, 2012, submetido.
- ROIG, H.L. 2005. Modelagem e Integração de processos erosivos e do transporte de sedimentos – O caso da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Tese de Doutorado. IGUnB. 215p.
- ROIG, H. L. ; Bayma, A. P. ; Soares Neto, G. B. ; Menezes, P. H. B. J. ; Santos, R. P. . Adequação de uma área situada na APA de São Bartolomeu-DF à legislação ambiental. In: XIV Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009. p. 6133-6140.
- RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSEN, W. Object-oriented Modeling and Design. Prentice-Hall, 1991
- SAMPAIO, G. B. GeoProfile – Um perfil UML para modelagem conceitual de banco de dados geográficos, 2009, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa.
- SANTOS, H. G.; Jacomine, P.K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Oliveira, J. B.; Coelho, M. R.; Lumberras, J. F.; Cunha, T. J. F. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SBCS. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos. 306p.
- SARTORI, A. 2004. Avaliação da classificação hidrológica do solo para determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. Universidade de Campinas, Campinas – SP, dissertação de Mestrado, 159p.
- SMITH, B., 2003. Ontology and Information Systems. In: ZALTA, E. N., ed., The Stanford Encyclopedia of Philosophy. The Metaphysics Research Lab, Center for the Study of Language and Information.: Stanford, Stanford University.
- SWAT, 2012. Disponível em <http://swatmodel.tamu.edu/>. Acessado em 12 de Fevereiro de 2012.

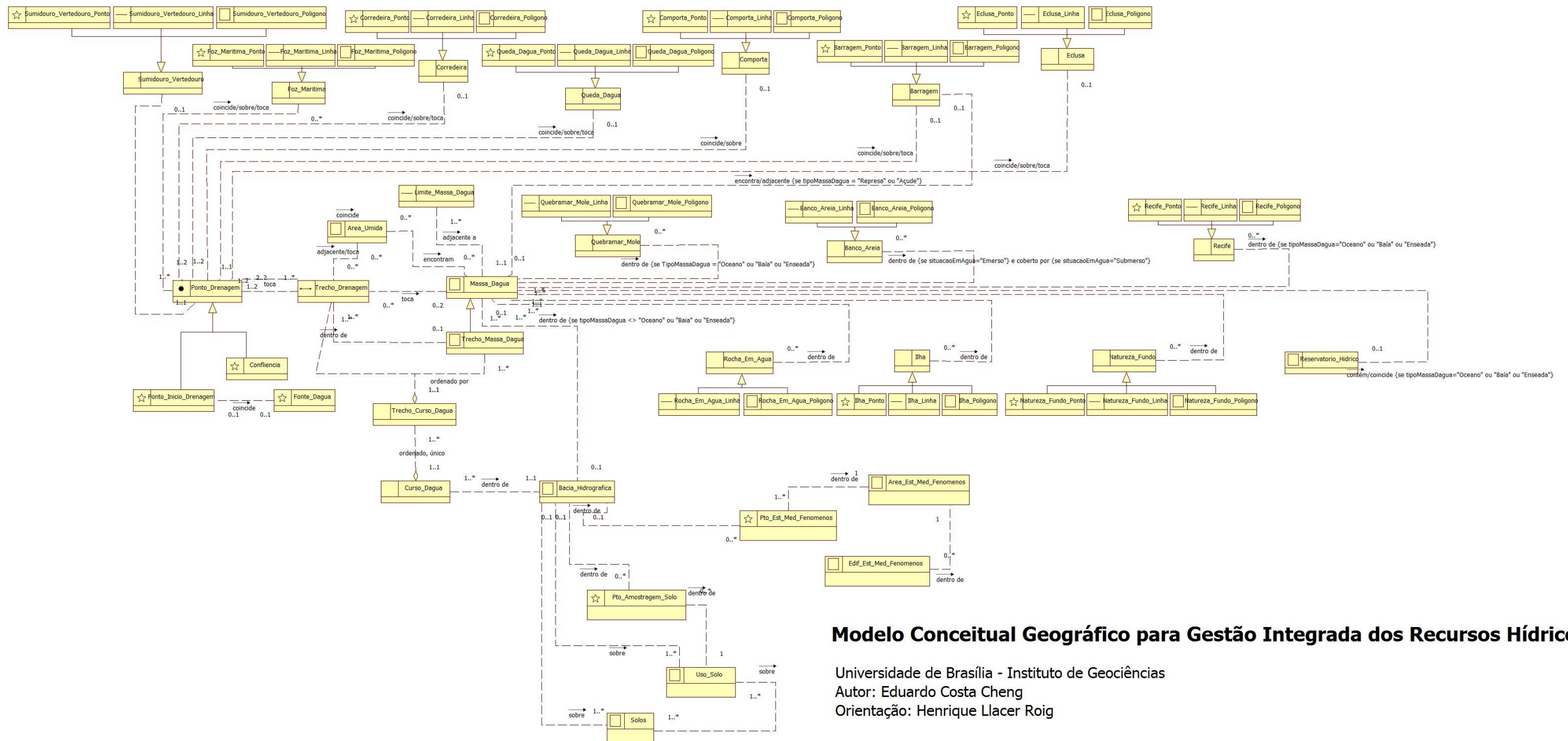
TONELLO, K. C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro 2005.

ZHAN, X. & HUANG, M.L. 2004. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. *Environmental Modelling & Software* 19 (10) 875-879. Esri, 1998, "Esri Shapefile technical description". Visitado em 2007-07-04.

# Anexo I: Modelo Conceitual do Banco de Dados Geográfico para Gestão Integrada Dos Recursos Hídricos.



## Anexo II: Modelo Lógico do Banco de Dados para Gestão Integrada dos Recursos Hídricos.



## Modelo Conceitual Geográfico para Gestão Integrada dos Recursos Hídricos

Universidade de Brasília - Instituto de Geociências

Autor: Eduardo Costa Cheng

Orientação: Henrique Llacer Roig