

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N^o 65/5: 819-829
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MODELAGEM DE BANCO DE DADOS ESPACIAL PARA ESTUDOS GEOLÓGICOS

Modeling of spatial Database for Geological Studies

Rodrigo Ávila Cipullo & Henrique Llacer Roig

Instituto de Geociências, Universidade de Brasília- UnB
Campus Darcy Ribeiro - Brasília - DF, Brasil.
rodrigo.geotecnologia@gmail.com; roig@unb.br

Recebido em 21 de Outubro, 2011/Aceito em 5 de Dezembro, 2011
Received on October 21, 2011/Accepted on December 5, 2011

RESUMO

Universidades e outros órgãos produtores de informação geológica vêm sofrendo, a bastante tempo, os efeitos negativos da falta de organização e padronização dos seus dados. O Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB) possui diversos trabalhos e disciplinas que consomem e produzem uma grande quantidade de informação geológica. Mesmo com um grande volume de trabalho e informação, o instituto ainda não dispõe de nenhuma ferramenta avançada de gerência de projetos e de informações geológicas. Dessa forma, as informações encontram-se dispersas, quase sempre sob responsabilidade de seus autores, o que acarreta uma série de problemas, sobretudo no que diz respeito à segurança e disponibilidade destes dados. Neste contexto, a proposta deste trabalho é a construção de um novo modelo conceitual de banco de dados geográfico para o tema Geologia e sua implantação em um sistema gerenciador de banco de dados livre, o PostgreSQL/PostGIS. Essa proposta segue os preceitos da Estrutura de Dados Geográficos e Vetoriais (EDGV), homologada em 2008, pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), instituída pelo governo brasileiro com o objetivo de padronizar as estruturas de dados espaciais, facilitando o compartilhamento de dados, a interoperabilidade e a racionalização de recursos entre os produtores e usuários de dados e informação cartográfica. Deste modo, este é um passo importante para a construção do modelo de banco de dados conceitual geológico com vista a sua incorporação ao sistema da infra-estrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

Palavras chaves: Informações Geológicas, Banco de Dados Geográficos, Modelo Conceitual de banco de dados, Estrutura de Dados Geográficos e Vetoriais - EDGV.

ABSTRACT

Universities and other institutions producing geological information have suffered the negative effects of a lack of data organization and standardization, for quite some time. The Institute of Geosciences at the University of Brasilia (IG/UnB) has a variety of studies and courses that consume and produce a large quantity of geological information. Even with this large volume of work and information, the institute still does not have any highly advanced tool for managing geological projects and information. Consequently, the information is scattered, and almost always under the responsibility of its authors, which creates a series of problems, above all with respect to the security and availability of this data. In this context, the proposal of this work is the construction of a new conceptual geographic data base model for the theme, Geology, its insertion in a management system of a free data base, the PostgreSQL/Post

GIA. This proposal follows the Structures of Geographic and Vectorial Data (SGVD) precepts, approved in 2008, by the National Commission of Cartography (CONCAR), instituted by the Brazilian government, with the objective of standardizing the structures of spatial data, facilitating the sharing of data, interoperability, and the rationalization of resources among producers and users of cartographic information. In this way, an important step has been made to constructing a conceptual geological data base, with the aim of incorporating it into the infrastructure system of the National Spatial Data Bank (NSDB).

Keywords: Geological Information, Geographical Data Base, Conceptual Data Base Model, Structure of Geographic and Vectorial Data – SGVD

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das geotecnologias e sua popularização têm levado ao desenvolvimento de sistemas que buscam a distribuição das geoinformações (informações geográficas) de forma descentralizadas e ao mesmo tempo, prover bons sistemas de tomada de decisão. Este fato associado ao aumento exponencial do volume de dados espaciais não padronizados e desorganizados no Brasil tem gerado um grande problema para a aplicação deste conjunto de avanços tecnológicos.

A Comissão Nacional de Cartografia Brasileira (CONCAR), sensível a esta necessidade, constituiu a Subcomissão de Dados Espaciais a fim de elaborar uma proposta de Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Digitais Vetoriais (EDGV, 2009), com a finalidade de padronizar e viabilizar o compartilhamento de dados espaciais, a interoperabilidade e a racionalização de recursos entre os produtores e usuários de dados e informação cartográfica, a qual deverá subsidiar a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE, Decreto Nº 6.666 de 27/11/2008).

Até o momento a subcomissão da EDGV, apesar de ter visualizado um quadro mais amplo, tem se preocupado em sistematizar as informações consideradas básicas como apresentado na figura 1, deixando de fora, ou

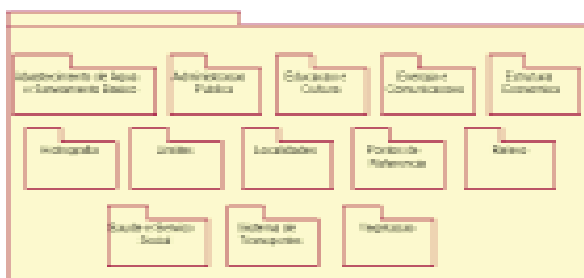


Fig. 1 - Categorias de informação tratadas na EDGV (NCB – CONCAR, 2009)

“delegando” para as instituições parceiras, a disponibilização das informações consideradas temáticas como Geologia, Geomorfologia, Solos, etc.

Em especial, no que tange as informações da área de geociências, mais especificamente a geologia, a organização de uma base de dados adequada é estratégica para o processo de tomada de decisão, seja no âmbito dos desastres naturais (ex. deslizamentos e enchentes, como os que têm ocorrido nos últimos anos), seja na implantação de obras de infraestrutura, como usinas hidroelétricas e sistema de transporte (ex. trem bala), ou ainda para a alocação das atividades de mineração, uma das principais fontes de receita para a união (ex. Extração de Ferro e Petróleo), e suas relações com o processo de Gestão Territorial.

Deste modo, a gestão adequada destas informações implica na definição de uma estrutura de armazenamento, que possibilite diferentes maneiras de manipulá-las (ELMASRI & NAVATHE, 2005).

Uma pesquisa realizada, embora não oficial, demonstrou que apesar do elevado uso de Sistemas de Informações Geográficas por várias instituições públicas e privadas que manipulam informações geológicas, os dados ainda encontram-se armazenados de forma dispersa, sem padronização e sem uma estruturação concreta em SGBD's (Sistemas Gerenciadores de Banco de dados). Em especial as informações que são geradas pelas universidades, que hoje possuem uma participação importante no processo de cartografia geológica, estão desorganizadas e dispersas sob posse de seus autores.

Fato importante, é que mesmo em iniciativas que buscam a sistematização em SGBD, observa-se uma falta de padronização/normatização das nomenclaturas e conceitos

devido ao alto grau de subjetividade na obtenção/caracterização dos dados geológicos. Mesmo o Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM) que tem um banco de dados geológico estabelecido e implantado em ambiente Oracle, não seguiu, ou adaptou-se ao padrão proposto pela INDE e não disponibilizada para a comunidade geológica o seu modelo de banco de dados de modo a permitir a sua replicação.

Considerando o exposto, o objetivo desse trabalho é propor um novo modelo conceitual de banco de dados geográfico para a organização das informações geológicas, e sua implementação no Sistema Gerenciador de Banco de Dados *PostgreSQL* com o PostGIS, considerando as premissas estabelecidas pela INDE e a adequação da Normatização/Padronização internacional para a incorporação da semântica geológica (SGI, 2008), ou seja a definição de vocabulário conceitual padronizado, uma vez que não existe um modelo disponível para a comunidade geológica brasileira.

2. DADOS GEOGRÁFICOS

Segundo Gatrell (1991) o espaço geográfico corresponde ao meio onde as entidades geográficas coexistem. Uma entidade geográfica (ou dado geográfico) pode ser definida como qualquer entidade identificável do mundo real, possuindo características e relacionamentos espaciais com outras entidades geográficas (Goodchild, 1992).

Desmembrando este conceito pode-se dizer que dados geográficos possuem três propriedades fundamentais: espaciais, não-espaciais e temporais (Laurini & Thompson, 1992, Bonham-Caster, 1994, Burrough, 1998) As propriedades espaciais descrevem a posição geográfica do fenômeno ou objeto, sua geometria e seus relacionamentos (ex. topológicos). As características não-espaciais descrevem o fenômeno, ou seja, seus atributos, ao passo que as características temporais informam o tempo de “vigência” dos dados geográficos e suas variações no tempo.

No que tange a representação espacial, a geometria corresponde às propriedades métricas (posição e forma), onde suas primitivas podem ser representadas de modo vetorial por pontos, linhas e polígonos (Figura 2), tendo como

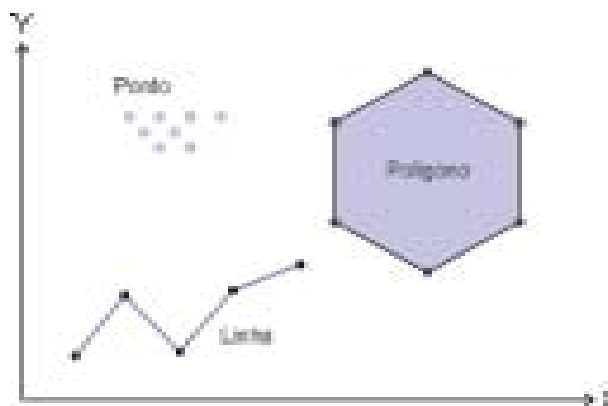


Fig. 2 - primitivas geométricas dos dados espaciais.

referência um sistema de coordenadas (Borges *et al.*, 2005). Outro ponto importante sobre o dado espacial são suas propriedades topológicas (não-métricas). Estas se baseiam nas posições relativas dos objetos no espaço descrevendo os relacionamentos espaciais como, por exemplo, conectividade, orientação (de, para), adjacência e contenção (Laurini & Thompson, 1992).

Para se chegar a uma representação da realidade por qualquer meio cartográfico, são necessárias abstrações e o emprego de diversos conceitos cartográficos. Nesse sentido, e com o intuito de apresentar uma abstração adequada para o dado espacial, Câmara (1995) apresentou a adaptação do paradigma dos quatro universos, proposto inicialmente por Gomes & Velho (1995) (Figura 3). Esse paradigma conceitua quatro passos entre o mundo real e sua representação computacional.

O primeiro universo, o Ontológico, reflete a definição dos conceitos extraídos da realidade, ou seja, observando o mundo real busca seu entendimento e definição conceitual.

O segundo (*o universo Conceitual*) apresenta os modelos lógicos que generalizam os conceitos do universo ontológico. Essa etapa implica em apresentar o mundo real através de diagramas que apresentam os elementos da realidade e seus possíveis relacionamentos, buscando elos que interliguem os elementos do mundo real.

O terceiro representa através de um mapeamento as estruturas geométricas e alfanuméricas. É nessa etapa que começa o processo de modelamento do banco de dados, definindo-se, a partir das duas etapas anteriores, cada elemento e suas propriedades descritivas, bem como seus

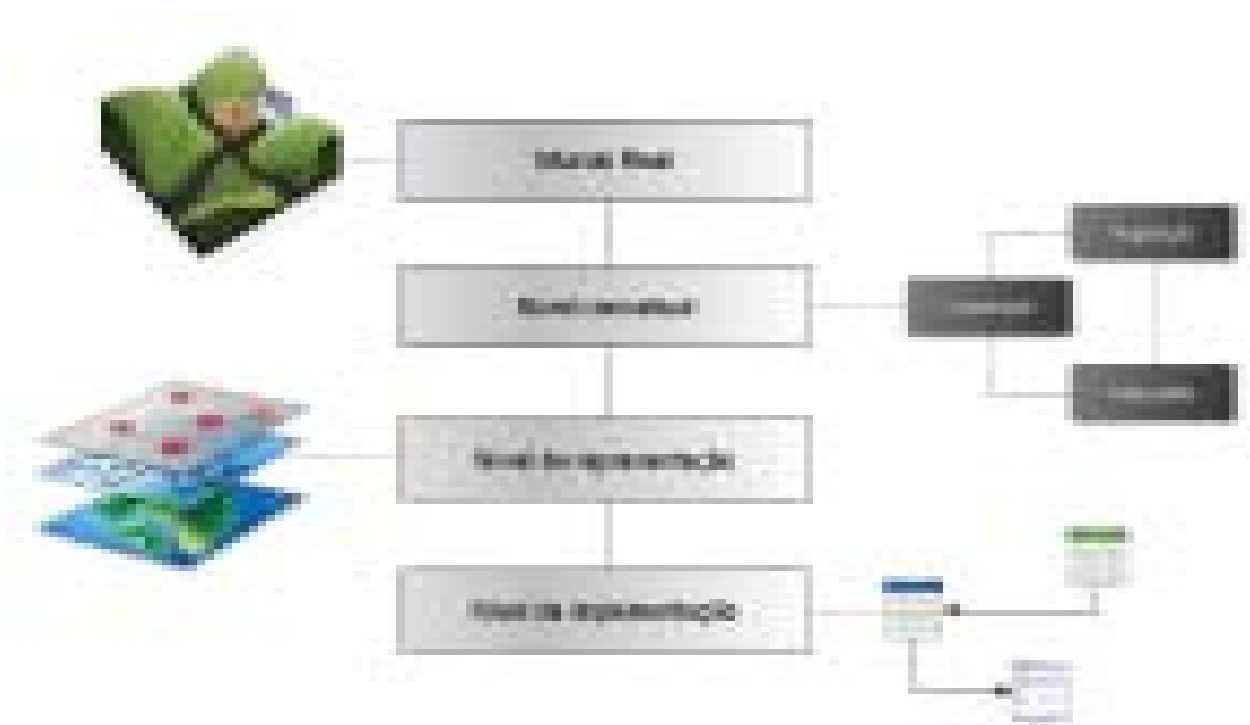


Fig. 3 - Níveis de abstração segundo Câmara *et al.* 1995.

relacionamentos.

Já no Universo de Implementação, encontramos as linguagens e códigos tanto de banco de dados quanto de programação que serão utilizadas para tornar concreta toda a arquitetura obtida nos passos anteriores.

3. MODELAGEM CONCEITUAL

O processo de modelagem de um banco de dados geográfico é, em parte, semelhante à modelagem de um banco do tipo Entidade-Relacionamento (Rumbaugh *et al.* 1991), tendo agregado apenas alguns conceitos importantes de orientação a objetos e representações adequadas para geo-campos e geo-objetos (Camara, 2005).

Um dos modelos mais conhecidos para modelagem de bancos de dados convencionais com orientação a objeto é o chamado OMT (*Object Modeling Technique*, Rumbaugh *et al.* 1991). Este possui a capacidade de representar os aspectos semânticos de uma aplicação, usando a abordagem de orientação a objetos. Dessa forma, foi proposto em 1997, por Karla Borges, o modelo OMT-G (Borges, 1997).

O modelo OMT-G, também conhecido como Geo-OMT, agrupa de forma unificada as

primitivas geográficas propostas por diversos autores, além de introduzir novas primitivas que suprem algumas deficiências, como por exemplo, a representação de múltiplas visões das entidades geográficas. O modelo OMT-G baseia-se em três conceitos principais: classes, relacionamentos, e relacionamentos espaciais (topologia). Esse modelo trabalha em nível conceitual apresentando tanto classes georreferenciadas como classes convencionais (Figura 4).

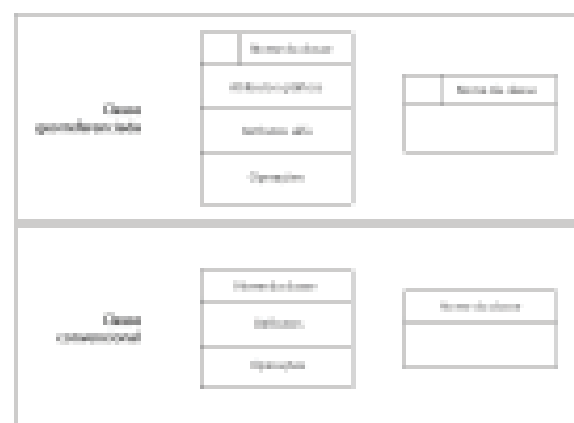


Fig. 4 - Tipos de classes e suas representações no modelo OMTG (Borges, 1997).

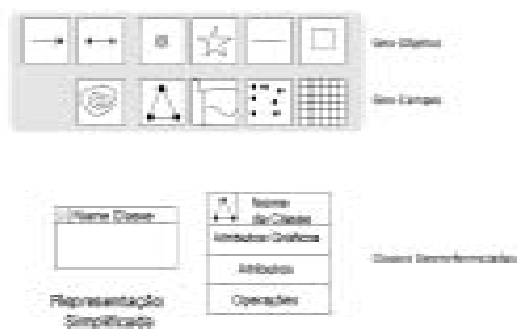


Fig. 5 - Representação das classes georreferenciadas junto às suas subclasses. Fonte: Câmara (2005).

tipos de objetos espaciais, as classes georreferenciadas recebem informação do seu tipo geométrico. Essa informação é conhecida no modelo como subclasses. A representação das principais subclasses encontra-se na figura 5.

4. ENTENDIMENTO DO PROBLEMA E REQUISITOS

Essa etapa faz parte do processo de entendimento e sistematização do chamado Universo Ontológico, já descrito anteriormente. O resultado obtido desta etapa irá culminar em um diagrama que sintetiza o universo formal, também já discutido.

O banco de dados em desenvolvimento deve levar em consideração os tipos de dados espaciais e não espaciais e seus relacionamentos no contexto das informações geológicas. Dessa forma, a etapa de levantamento de requisitos passa por, pelo menos, duas etapas: os requisitos do dado geológico que compõe a informação geológica pura; e os requisitos de dados espaciais, que traduzirão a informação geológica em objetos espaciais.

Na análise dos requisitos do dado geológico, buscou-se levantar os principais atributos que compõe os mapas geológicos e suas primeiras derivações. Optou-se neste trabalho pelo estabelecimento de um glossário, paralelamente ao levantamento dos requisitos, tendo em vista a melhor compreensão do modelo final proposto. Esse glossário segue os requisitos/normatização estabelecidos pelo Grupo de trabalho de interoperabilidade (*Interoperability Working Group*) da Comissão de Gestão e Aplicação das Informações Geológicas (CMI - *Commission for the Management and Application of Geoscience Information*) da União Internacional de Ciências

Geológicas (IUGS - *International Union of Geological Sciences*).

4.1 Entidades geológicas e seus requisitos

Antes de definirmos os conjuntos de classes, os relacionamentos entre esses e os domínios do banco de dados deve-se ter clareza sobre as entidades de interesse e as relações espaciais entre elas. O conceito de entidade é usado aqui para designar os fenômenos de interesse observado no ‘mundo real’, em oposição às feições, que são os objetos de banco de dados que representam a nossa compreensão desses fenômenos.

Os geólogos estão preocupados em descrever e “mapear” os materiais geológicos e suas relações espaciais. No entanto, devido a dificuldade de obter informações do arranjo tridimensional das entidades, os geológicos baseiam-se suas análises, principalmente, por intermédio de mapas 2D. Segundo LISLE (2004), o **Mapa Geológico** é a projeção horizontal da interseção das entidades geológicas (corpos e/ou estruturas geológicas - 3D) com a superfície do planeta (relevo), ou outra superfície abstrata qualquer como, por exemplo, uma mina ou um futuro corte de estrada, em uma determinada escala.

Neste contexto, as principais entidades que compõe um mapa geológico são a unidade geológica, as estruturas tectônicas, as relações de contatos entre esses elementos e os afloramentos, cujas definição a seguir estão em acordo como os padrão proposto pela CMI (NADMSC, 2004 e GSI, 2008).

Unidade Geológica: Unidade diferenciável do seu vizinho por características variadas, idealmente definida por sua composição (mineralógica e/ou química, rocha ou material não consolidado), mas pode ser definida por identidade de superfícies limitantes, ou propriedades interpretativas como idade, ambiente de deposição, história de alteração, etc. Estas podem ser unidades formais ou informais e apresentarem um arranjo hierárquico como, por exemplo, membro, formação, grupo e supergrupo (NADMSC, 2004 e GSI, 2008).

Requisito espacial: As unidades geológicas são objetos do tipo polígono. Podem apresentar diversos tipos de fronteiras entre si. As fronteiras dos objetos são conhecidas como contatos, esses contatos são definidos por linhas

que possuem significados geológicos diversos. Os polígonos que representarão as unidades geológicas devem ser abstraídos a partir dos objetos tipo linha “estruturas geológicas”, somente sendo utilizadas para formar os polígonos as estruturas que tenham atributo de contatos.

Estrutura geológica: Representa um descontinuidade física na crosta, quer sejam síngenes ou pós-gênicas. Podem ser limites de unidades geológicas ou não.

Requisito espacial: As estruturas são representadas por linhas. As linhas podem se cruzar, tocar e sobrepor. As relações topológicas entre os elementos destas entidades devem ser do tipo arco-nó (linha-ponto) de modo a garantir a integridade dos relacionamentos.

Contato - Representa o limite das unidades geológicas e normalmente estão relacionados com a gênese da unidade. Incluem contatos deposicionais, mudanças de fácies (principalmente em rochas sedimentares e ígneas) e contatos intrusivos. Estes também podem ser tectônicos, quando truncados por superfícies mais jovens como falhas e zonas de cisalhamento. Os contatos de um mesmo corpo podem ser extremamente variados, dessa forma, uma mesma unidade geológica pode possuir um contato intrusivo à nordeste, e um tectônico (falha de empurrão). Em mapeamento em escala de semi-detalle a maior, é comum determinar o grau de precisão do contato, ou seja se este é definido, aproximado ou inferido.

Requisito espacial: são representados por linhas. Além das relações tipológicas herdadas da entidade Estruturas Geológica (tipo arco-nó) elas devem apresentar relação tipo arco-polígono com a entidade Unidade Geológica (NADMSC, 2004).

Afloramentos: Afloramento pode ser entendido como a exposição de uma rocha na superfície da Terra. Tal exposição pode ser natural ou antrópica. (MALTMAN, 1998).

Requisito espacial: Os afloramentos são representados por geo-objetos pontuais. Tais objetos encontram-se sempre contidos espacialmente em um projeto.

Grupo Litológico: Representa os 3 grupos litológicos clássicos. Rochas sedimentares, ígneas e metamórficas.

Litotipos: “Quando se caracteriza uma fácies litológica como uma rocha ou uma associação de rochas, para distinguir de outras rochas ou associações litológicas em estudo, considerado qualquer aspecto genético, composicional, químico ou mineralógico, morfológico, estrutural ou textural distintivo para fins de referência em um estudo geológico” (Glossário Geológico, GeoSciML -<https://www.seegrid.csiro.au/>).

Relações geológicas espaciais: De uma forma geral, um mapa geológico representa uma discretização de dados (geo-objeto), uma vez que muitas entidades geológicas têm limites transicionais podendo ter um comportamento semelhante a dados contínuo, onde poderiam ser representado por geo-campo. Todos os geo-objetos, quer sejam linhas, polígonos ou pontos apresentam relacionamento espacial entre si.

Relação Espaço-temporal – Grande parte das entidades geológicas apresentam “reativações” dos processos geológicos ou superposição de processos, exigindo deste modo, a inserção de uma componente temporal ao modelo do banco. Esta propriedade da entidade normalmente é armazenada na forma de idade geocronológica na forma de tabela, podendo esta ser relativa ou absoluta.

5. MODELAGEM CONCEITUAL DO BANCO DE DADOS GEOLÓGICO

Todo o processo de mapeamento geológico gira ao redor de algumas classes principais, chamadas aqui de superclasses (em parte equivalente ao 1º nível da NADM (NADNSC, 2004). Estas servem como agregadoras das demais e são consideradas classes não instanciáveis. São elas:

- Afloramento (Estação de visita)
- Estrutura Geológica
- Unidade Geológica

A partir das superclasses, foram levantadas cada uma das principais classes que seriam necessárias para representar corretamente a etapa do mapeamento, tais classes são apresentadas na tabela que se segue (Tabela 1).

Após a definição das principais classes, passamos à identificação das classes espaciais (feições), que deverão possuir alguma representação geográfica. A tabela 2 apresenta de forma resumida as classes espaciais identificadas, sua

Tabela 1: Principais classes do modelo.

Superclasse	Classe	Descrição
Afloramento	Afloramento	Afloramentos relacionados ao afloramento.
	Linhaço	Informações acerca dos tipos que compõe o afloramento.
	Módulo estrutural	Módulos relativos a estruturas tectônicas e suas principais.
Estrutura Geológica	Estrutura-Contato	Uma estrutura pode representar ou não um contato geológico.
Unidade geológica	Contato	Contatos que delimitam a unidade.
	Linhaço	Informações acerca dos tipos que compõe a unidade.

Tabela 2: Classes espaciais.

Classe Espacial	Descrição	Tipo geométrico
Afloramento	Afloramentos	Ponto
Estrutura	São as estruturas tectônicas existentes.	Linha
Unidade Geológica	Unidade diferenciável de rochas por suas características de composição, idade, história litológica e outras particularidades.	Polígono
Projeto	Representação do área do projeto. Qualquer seja de tipo polígono, é implementado como a agregação espacial dos grupos.	Polígono
Grupo	Representa a área de trabalho de cada grupo que integra um projeto.	Polígono
Contato	São os contatos geológicos delimitados que serão utilizados na geração das unidades geológicas.	Linha

descrição e o tipo geométrico relacionado.

A partir do mapeamento das superclasses e classes, chegou-se a um modelo, conhecido como diagrama de classes (Figura 6), aqui adaptado para permitir a visualização dos

tipos relativos a cada classe. Essa adaptação nos permite diferenciar claramente as classes espaciais das não-espaciais, além de apresentar uma prévia dos relacionamentos espaciais que estarão presentes no banco de dados.

Para criar o modelo conceitual do banco de dados geológico, cada uma das superclasses foi trabalhada individualmente, sobretudo na busca da delimitação de suas feições espaciais e possíveis relacionamentos com outras classes.

A primeira superclasse analisada, a classe Projeto, é a que agrega espacialmente todas as outras, funcionando como a classe Pai no banco de dados. Ela contém necessariamente todas as outras classes geométricas do banco e representa a delimitação espacial do projeto de mapeamento. A classe Projeto representa um geo-objeto do tipo polígono como já apresentado na tabela 2.

O projeto de mapeamento é formado a partir de seus grupos. Os grupos são áreas menores que juntas, ao final, totalizarão a área do projeto. Dessa forma, todo o trabalho de mapeamento é realizado dentro de um grupo. Na prática, todas as classes do banco estão amarradas ao grupo, que por sua vez é agregado pelo projeto.

Cada grupo de mapeamento contém as superclasses espaciais: Estrutural, Unidade Geológica e Afloramento. São essas as três principais superclasses geográficas do projeto.

A superclasse Unidade Geológica foi definida como um geo-objeto do tipo polígono que armazena as unidades geológicas individualizadas no mapeamento.

Essas unidades possuem uma peculiaridade interessante no tocante aos seus limites. Uma mesma unidade Geológica pode estar limitada por mais de um tipo diferente de limite, esses limites são conhecidos como contatos. Os contatos representam estruturas, tectônicas ou não, que marcam os limites da unidade geológica. O conceito de contato já nos leva à próxima superclasse, a Estrutural.

A superclasse Estrutural é também um geo-objeto, dessa vez do tipo linha, responsável por armazenar todas as estruturas tectônicas do projeto. Tais estruturas podem marcar limites, conhecidos como contatos, entre unidades geológicas.

Existem relações espaciais interessantes

entre os dois geo-objetos já citados. A primeira delas, como já mencionado é a estrutura como contato de uma unidade. Nesse caso, pode-se entender que a estrutura “Limita” (toca) a unidade geológica. Existem outras estruturas que apenas “cruzam” a unidade geológica (Figura 6).

Mais um aspecto topológico interessante a ser levado em consideração é que uma mesma estrutura pode assumir mais de uma situação topológica. É possível que uma estrutura, em determinada parte do seu traçado (segmento de arco) esteja cruzando uma unidade e, em outro, já esteja limitando essa unidade. Isso pode ser visto na estrutura ‘b’ da figura 7 onde cruza a ‘unidade y’ na parte superior, toca (contato) ambas as unidades ao centro, e volta a cruzar a ‘unidade x’ na parte inferior do mapa.

No contexto dessa modelagem, propõe-se que o polígono que representa a unidade geológica seja definido a partir de seus contatos (topologia arco-polígono). Sendo assim é importante que a geração dos polígonos seja automática e represente a área circunscrita pelos seus contatos.

A próxima, e talvez mais importante classe a ser analisada, é a superclasse “Afloramento”. O afloramento é a unidade básica de mapeamento, e

é apresentada como um geo-objeto do tipo ponto. É a partir do afloramento que se obtém todas as outras informações do mapa geológico.

O afloramento possui uma única possibilidade de relação espacial com a unidade geológica, ela está contida na unidade. Apesar da simplicidade das relações topológicas dessa classe, ela possui vital importância, pois a partir dela se desdobram uma série de outras classes não espaciais como a Petrografia, geoquímica convencional, e a geoquímica isotópica.

Tendo analisado as características topológicas e geométricas das classes, foi possível desenhar um modelo que represente

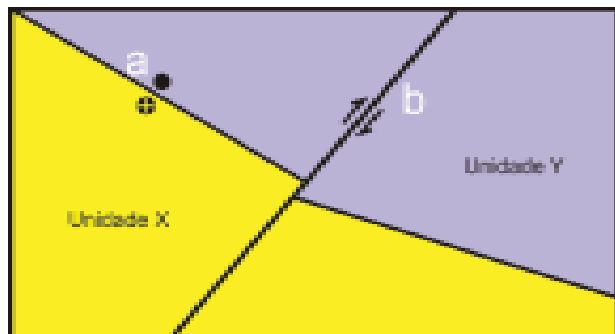


Fig. 7 - estrutura ‘a’ mostrando uma falha normal tocando as duas unidades e servindo como contato geológico. Estrutura ‘b’ cruzando as unidades como uma falha transcorrente.

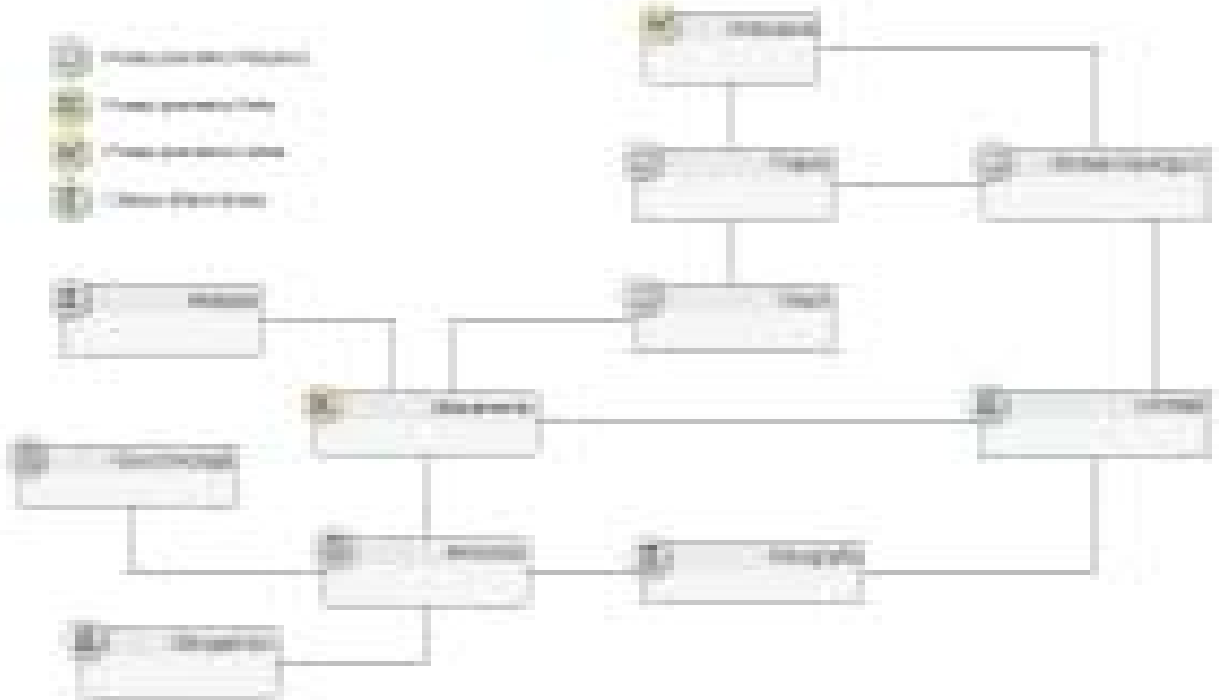


Fig. 6 - Modelo de classes com indicação do tipo geométrico.

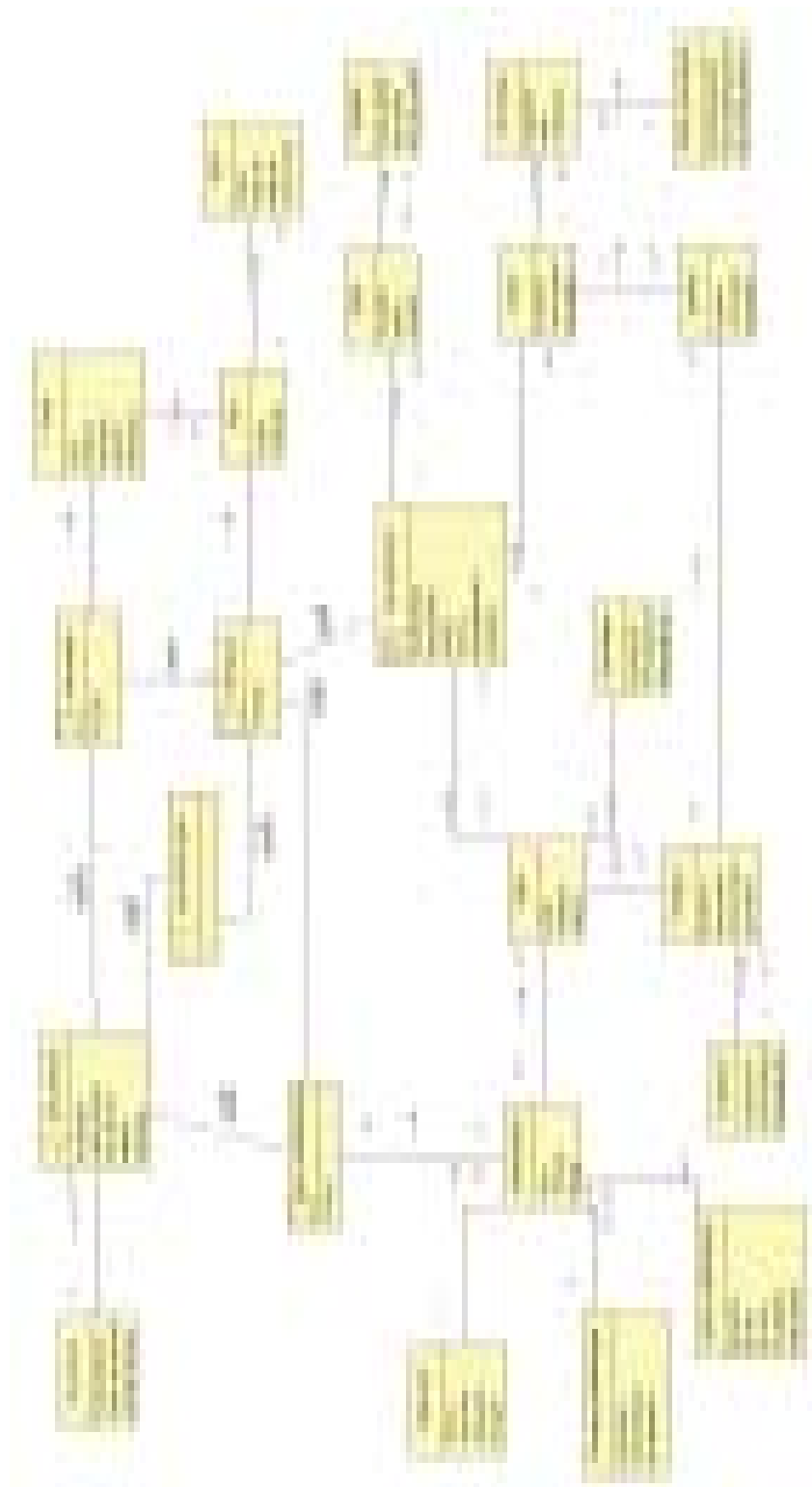


Fig. 8 - Modelo conceitual OMTG.

de forma simples e objetiva os fundamentos da informação geológica. A partir desse modelo inicial, pretende-se desenvolver ferramentas e metodologias de coleta e armazenamento de dados que permitam a evolução da cultura tecnológica na área e a expansão do modelo para outras áreas das geociências.

O modelo conceitual proposto (Figura 8)

foi gerado usando o software StarUML (<http://staruml.sourceforge.net>) e uma extensão específica do programa para esse tipo de modelamento. Toda conceituação e padronização adotadas no modelo conceitual do banco de dados estão baseadas na segunda versão do documento *Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais*

(2009), produzido pela comissão Nacional de Cartografia (CONCAR).

5. CONCLUSÃO

Diante dos desafios encontrados ao longo desse trabalho, pôde-se observar a existência de poucos trabalhos acadêmicos correlatos e a necessidade de mais investimentos no que diz respeito à infraestrutura computacional da universidade a fim de comportar sistemas que exigem processamento e armazenamento centralizado como o proposto.

No que diz respeito ao SGBD, observa-se que a ferramenta escolhida para a implantação, o PostgreSQL, é suficientemente madura e estável para acolher grandes bancos de dados como o proposto aqui.

Seu componente espacial, PostGis, responde muito bem às análises espaciais demandadas. O Banco de dados modelado, embora não contemple ainda todo o universo das geociências, já representa um grande avanço no armazenamento das informações chamadas básicas para a área de geologia, introduzindo uma nova cultura de armazenamento de dados dentro das instituições geológicas.

Apesar de avanços na construção de algoritmos de topologia que eram propostos para garantir algumas etapas do processo, são necessários maiores estudos e testes com as funções espaciais oferecidas pelo *Postgis*, a fim de se superar algumas dificuldades que persistem ao fim desse trabalho. A maior dificuldade encontrada nesse sentido, diz respeito ao algoritmo de geração de unidades geológicas (polígonos) a partir das estruturas de modo automáticos. A extensão *Postgis* deveria ser capaz de gerar os polígonos que representam as unidades geológicas a partir da seleção das estruturas do tipo contato definindo relações topológicas (arco-polígono) e usando os “centróides” relacionados aos pontos de campo (afloramento chave). No entanto, mesmo após vários testes, nenhum dos algoritmos implementados foi capaz de responder plenamente, chegando, no máximo, a cerca de 40% de sucesso quando comparado com funções semelhantes existentes em softwares desktop de GIS, como o ArcGis 10 (ArcInfo).

O modelo proposto aqui deverá evoluir ainda para um nível superior que seja

capaz de contemplar outras áreas correlatas das geociências, bem como prever maior interoperabilidade com outros projetos de bancos de dados existentes no mundo, sobretudo com projetos de interoperabilidade como o GeoSciML (<https://www.seegrid.csiro.au/>).

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial (LSRAE) do IG/UnB pela disponibilização de uma bolsa técnica para o primeiro autor durante o desenvolvimento do seu mestrado. A ESRI pela disponibilização do Pacote de ferramentas que compõem a Família ArcGis 10 por intermédio do contrato N° 2011 MLK 8733 e a IMAGEM pelo apoio e viabilidade da concretização do termo de uso entre o IG e a ESRI e pelo suporte aos softwares

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONHAM-CASTER, G. F. - 1994. **Geographic Information System for Geoscientists - Modeling with GIS**. Computer Methods in Geosciences Vol. 3

BORGES, K.A.V. **Modelagem de dados geográficos - uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas**. Dissertação de Mestrado, Escola de Governo, Fundação João Pinheiro, 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.

BORGES, K. A. V.; DAVIS JÚNIOR, C. A.; LAENDER, A. H. F. **Modelagem Conceitual de Dados Geográficos**. In: CASANOVA, M. A.; CÂMARA, G.; DAVIS Jr, C. A.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. (Org) Bancos de Dados Geográficos. 1 ed. Curitiba: MundoGeo, 2005. p. 93-146.

BURROUGH, P.A.; MCDONELL, R.; **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford, Oxford University Press, 1998. 200pp

CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. São José dos Campos, SP: INPE, 1995. (Tese de Doutorado). 264p.

- CÂMARA, G. **Bancos de Dados Geográficos**. Cap.1 – Representação Computacional de Dados geográficos. Ed. Mundo Geo. Curitiba – PR, 506pp, 2005.
- DAVIS, A.C.; BORGES, K.A.V.; LAENDER, A.H.F. OMT-G: An Object-Oriented Data Model for Geographic Applications. **GeoInformatica Journal**, pp. 221-260, Volume 5, Number 3 / September, 2001, Springer Netherlands.
- EDGV – CONCAR – Especificações técnicas para estruturação de dados geoespaciais digitais vetoriais., 2009. Disponível em: <http://www.inde.gov.br>. 213p
- ELMASRI, R.; NAVATHE, S.B. **Sistemas de Banco de Dados**. 4ª ed. São Paulo: Pearson, 2005. 888p
- GATRELL, A. C. Concepts of space and geographical data. In: MAGUIRE, D. J., GOODCHILD, M. F., RHIND, D. W. **Geographical Information Systems: principles and applications**. Longman Scientific & Technical, 1991. Cap.9, p.119-134.
- GOMES, J.; VELHO, L. **Abstraction Paradigms for Computer Graphics. The Visual Computer**, v. 11, n.5, p. 227-239, 1995.
- GOODCHILD, Michael F. Geographical data modeling. **Computers & Geoscience**, London, v.18, n.4, p.401-408, 1992.
- GSI 2008. **GeoSciML documentation and materials**. www.cgi-iugs.org/tech_collaboration/geosci.html. Acesso em março de 2010.
- LAURINI, Robert, THOMPSON, Derek. **Fundamentals of Spatial Information Systems** (Apic Series). London: Academic Press, 1992. 680p
- LISLE, R.J. **Geological Structures and Maps a practical guide**. 4 ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann 2004. 106p.
- MALTMAN, A. **Geological Maps**, John Wiley & Sons, (2nd Edit.), 1998. 260p.
- NADMSC (North American Data Model Steering Committee), 2004, NADM conceptual model 1.0, A conceptual model for geologic map information: U. S. Geological Survey Open-File Report 2004-1334, 60p. Acesso – março de 2009. <http://pubs.usgs.gov/of/2004/1334>.
- RUMBAUGH, JAMES; BLAHA, MICHAEL. **Object-Oriented Modeling and Design**. New Jersey: Prentice-Hall, 1991. 500p.
- WORBOYS, M.; DUCKHAM, M. **GIS A Computing Perspective** Second Edition. Boca Raton, Florida, SA: CRC Press, 2004. 426p.