



Instituto de Geociências

NOVA PROPOSTA TECNOLÓGICA DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DA INFORMAÇÃO GEOLÓGICA

Dissertação de Mestrado

Nº 25

Rodrigo Ávila Cipullo

Brasília

2012



Instituto de Geociências

NOVA PROPOSTA TECNOLÓGICA DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DA INFORMAÇÃO GEOLÓGICA

Dissertação apresentada ao Instituto de geociências da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de mestre em “Geociências aplicadas”.

Orientador: Henrique Llacer Roig

Brasília

2012

Banca examinadora:

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Maristela T. Holanda (Membro externo)

Prof. Dr. Nilson Francisquini Botelho (Membro interno)

Catálogo Internacional na Publicação

Cipullo, Rodrigo Ávila.

Nova proposta tecnológica de aquisição e armazenamento da informação geológica.

/ Rodrigo Ávila Cipullo. Brasília : UnB, 2012.

80p. : il. ; 29,5 cm.

Exame de Qualificação de Mestrado - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

1. Geologia, 2. Banco de Dados Geográficos, 3. Webservice, 4. Webmap, 5. Dados Geoespaciais, 6. Coleta de dados, 8. Interoperabilidade.

DEDICATÓRIA

*Ao meu bom Deus, aos meus Pais
e familiares e aos meus muitos (e bons)
amigos que me trouxeram até aqui.*

SUMÁRIO

1.	Introdução	1
1.1.	Objetivos	3
1.2.	Organização do trabalho.....	4
2.	Base conceitual	6
2.1.	Sistemas de informação geográfica – SIG.....	6
2.2.	A informação espacial.....	7
2.3.	Relacionamentos espaciais.....	10
2.4.	Modelagem conceitual - OMTG.....	12
2.5.	A Informação geológica	14
2.6.	Estado da arte sobre banco de dados espaciais geológicos.....	15
3.	Modelagem do banco de dados espacial para estudos geológicos.....	19
3.1.	Principais requisitos do banco de dados	21
3.2.	Modelo Conceitual.....	24
4.	Sistema de gerência de projetos e dados geológicos.....	29
4.1.	Arquitetura proposta	30
4.2.	Arquitetura de Servidor	32
4.3.	Sistema de gestão de dados geológicos na web	34
4.4.	Requisitos funcionais da ferramenta	37
4.5.	Requisitos não-funcionais.....	38
4.6.	Regras de negócio.....	39

4.7.	Descrição do sistema	39
4.8.	Restrição de acesso e segurança	41
4.9.	Caderneta digital.....	42
4.10.	Funcionalidades.....	43
5.	Processo de trabalho	45
5.1.	Fluxo de trabalho (processo)	45
5.2.	Preparação do projeto	46
5.3.	Aquisição de dados	47
5.4.	Manipulação dos dados	48
5.5.	Publicação dos dados.....	49
5.6.	Procedimento de ETL.....	50
6.	Testes e Resultados	53
6.1.	Primeira etapa de testes – banco de dados	53
6.2.	Segunda etapa de testes - carga de dados já existentes	54
6.3.	Dados utilizados	54
6.4.	Validação do procedimento de ETL	56
6.5.	Terceira etapa de testes – Algoritmos topológicos	57
6.5.1.1.	Afloramentos contidos em seu projeto	57
6.5.1.2.	Grupos não devem se cruzar e nem se sobrepor	57
6.6.	Quarta etapa de testes – Sistemas	58
7.	Conclusões	59

8. Referências Bibliográficas.....	61
------------------------------------	----

Anexo 1 - Modelo OMTG

Anexo 2 – Modelo lógico

Anexo 3 – Dicionário de Dados

Índice de Ilustrações

FIGURA 1 - PRIMITIVAS GEOMÉTRICAS DO ARMAZENAMENTO VETORIAL	8
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DE UMA MATRIZ SIMPLES	8
FIGURA 3 - PARADIGMA DOS QUATRO UNIVERSOS (CÂMARA <i>ET. AL.</i> , 2005)	9
FIGURA 4 - NÍVEIS DE ABSTRAÇÃO. ADAPTADO DE CÂMARA <i>ET. AL.</i> (1996)	10
FIGURA 5 - REGRAS TOPOLÓGICAS DO EXEMPLO DAS ÁREAS.	11
FIGURA 6 - RELACIONAMENTOS ESPACIAIS POSSÍVEIS (BORGES, KARLA & DAVIS, CLODOVEU)	12
FIGURA 7 - TIPOS DE CLASSES E SUAS REPRESENTAÇÕES NO MODELO OMTG	13
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES GEORREFERENCIADAS JUNTO ÀS SUAS SUBCLASSES	14
FIGURA 9 - MAPA DA PROVÍNCIA TOCANTINS (CPRM 2003) COM UMA LEGENDA CARACTERÍSTIA.	15
FIGURA 10 - TELAS DO APLICATIVO AFLORA® EM SUA VERSÃO 4.2	17
FIGURA 11 - CATEGORIA DE INFORMAÇÕES TRATADAS NA EDGV (NCB – CONCAR, 2007)	20
FIGURA 12 - MODELO DE CLASSES COM INDICAÇÃO DO TIPO GEOMÉTRICO	26
FIGURA 13 - ESTRUTURA 'A' MOSTRANDO UMA FALHA NORMAL TOCANDO AS DUAS UNIDADES E SERVINDO COMO CONTATO GEOLÓGICO. ESTRUTURA 'B' CRUZANDO AS UNIDADES COMO UMA FALHA TRANSCORRENTE	28
FIGURA 14 - ARQUITETURA DO TIPO “ARMAZENAMENTO/PROCESSAMENTO CENTRALIZADO” COM COLETA DESCENTRALIZADA	31
FIGURA 15 - ARQUITETURA BÁSICA BASEADA EM SOFTWARES LIVRES (FONTE: HTTP://OPENGEO.ORG)	34
FIGURA 16 - FIGURA MOSTRANDO AS DUAS POSSIBILIDADES DE DEFINIÇÃO DE UMA UNIDADE GEOLÓGICA. EM "A" AS UNIDADES GEOLÓGICAS SÃO OBTIDAS A PARTIR DE CONTATOS TRAÇADPS INICIALMENTE NO MAPA. EM "B" AS UNIDADES GEOLÓGICAS FORAM DEFINIDAS A PARTIR DE DOIS POLÍGONOS CRIADOS SEPARADAMENTE, CORRENDO O RISCO DE SE PRODUZIR ERROS TOPOLÓGICOS COMO O APRESENTADO.	36
FIGURA 17 - FLUXO METODOLÓGICO DE AQUISIÇÃO DE DADOS	43
FIGURA 18 - TELA DE CRIAÇÃO DE PROJETOS	46
FIGURA 19 - TELA DE ADIÇÃO DE NOVOS GRUPOS AO PROJETO	47
FIGURA 20 - PROCESSO DE TRABALHO PROPOSTO	49
FIGURA 21 - ESQUEMA GERAL DE UM PROCESSO DE ETL ESPACIAL. (FONTE: TTP://SPATIALYTICS.ORG/PROJECTS/GEOKETTLE)	50
FIGURA 22 - PROCESSO DE ETL GERAL UTILIZADO NO PROJETO	51
FIGURA 23 - POSICIONAMENTO DO PROJETO MOZARLÂNDIA	55

RESUMO

As geociências estão entre as ciências que mais produzem dados. No entanto, ainda não existem grandes trabalhos e iniciativas que consigam suprir a carência de modelos de armazenamento de dados e sua disponibilização para o território nacional.

Dentro deste contexto, esse trabalho se propõe a construir e implementar um modelo de banco de dados geológico geoespacial, bem como o desenvolvimento de um sistema de entrada, manipulação e disponibilização de dados geológicos.

Para a modelagem do banco de dados utilizou-se o conceito do OMT-G (*Object Modeling Technique for Geographic Applications*) tendo sido utilizado o software StarUML (<http://staruml.sourceforge.net>) para a geração do modelo conceitual. 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*', produzido pela comissão Nacional de Cartografia (CONCAR).

Este modelo de banco de dados geográfico foi implementado no Sistema Gerenciador de Banco de Dados Postgresql (com extensão Postgis), considerando as premissas estabelecidas pela INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) e pela Comissão de Gestão 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 - http://www.cgi-iugs.org/tech_collaboration/thesaurus.html) para os requisitos referente ao glossário e normatização das informações.

O sistema para o gerenciamento de projetos de mapeamento geológico, denominado GEOTOOL - Gerenciamento de dados Geológicos - é um aplicativo que roda em ambiente web e é capaz de gerenciar desde a criação de um novo projeto até o fechamento do mapa geológico. Para a aquisição de dados em campo foi desenvolvida uma caderneta de campo digital capaz de coletar diversas informações relevantes de forma automatizada e sincronizá-las ao banco de dados do projeto de forma simples.

Este trabalho também apresenta uma proposta de processo a ser utilizada para obter sucesso com o banco de dados e as ferramentas desenvolvidas. Dessa forma o processo esboça todas as etapas de aquisição, manipulação e publicação de dados indicando as melhores práticas para obter sucesso.

Palavras Chaves: Banco de Dados Geográficos, Sigweb, informações geológicas, GEOTOOLS - Gerenciamento de dados Geológicos

ABSTRACT

The Geosciences are recognized as one of the scientific areas that generate the greatest amount of data. However, there are, as of yet, no comprehensive studies, nor initiatives that have been able to make up for the lack of data storage and availability models on a national scale. In light of this situation, the present study intends to construct and implement a geological geospatial database, as well as develop entrance, manipulation and availability systems for geological data. With regard to the database modeling, the Object Modeling Technique for Geographic Applications (OMT-G) was used, as well as the StarUML software (<http://staruml.sourceforge.net>) for generating the conceptual model. All of the concepts and standards adopted in the conceptual model of the database were founded on the second version of the document 'Technical Specifications for the Structuring of Geospatial Vector Data', produced by the National Commission of Cartography (CONCAR). This geographic database model was implemented in the System Manager of Postgresql Database (with a Postgis extension), taking into account the premises established by the National Infrastructure of Spatial Data (INDE) and on the Commission for the Management and Application of Geoscience Information (CMI) of the International Union of Geological Sciences – (http://www.cgi-iugs.org/tech_collaboration/thesaurus.html) for the requirements regarding the information glossary and norms. The system to manage the geological mapping projects, denominated GEOTOOL (Geological Data Management), is a device that runs in a web environment and is capable of managing, from the inception of the creation of a new project to the close of the geological map. For the acquisition of field data, a digital field notebook was developed with the capacity to collect diverse relevant information, which is automatically and easily synchronized to the project database. This study also presents a process proposal for appropriate use of the database and the tools developed, outlining all the steps necessary for data acquisition, manipulation and publication, indicating the best practices for successful use.

Key Words: Geographical Database, Sigweb. Geological Information, GEOTOOLS – Geological Data Management.

1. INTRODUÇÃO

As geociências, certamente, estão entre as ciências que mais evoluíram na obtenção e processamento de dados, sobretudo no que diz respeito à espacialização de dados e fenômenos geológicos. No entanto, essa evolução traz a necessidade de um armazenamento mais eficaz e seguro, que seja capaz de alavancar um passo a mais no sentido do adequado aproveitamento dos dados em ambientes colaborativos.

No âmbito do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília existem diversos trabalhos e disciplinas que consomem e produzem uma grande quantidade de informação geológica. Dentre eles podemos destacar O Trabalho Final do curso de geologia, e disciplinas que envolvem trabalho de mapeamento como “Mapeamento Geológico I” e “Desenho Técnico Geológico”, além de diversos trabalhos científicos realizados por alunos e professores do Instituto (Iniciação científica, Mestrados e Doutorados).

Mesmo com grande volume de trabalho e informação, o Instituto ainda não dispõe de nenhuma ferramenta de gerência de projetos e informações geológicas. Dessa forma, as informações encontram-se dispersas, quase sempre sob responsabilidade de seus autores, o que pode acarretar uma série de problemas, sobretudo no que diz respeito à segurança e disponibilidade destes dados.

Por outro lado, uma série de ações vem sendo tomadas no Brasil e no mundo a fim de se criar uma cultura e um padrão de interoperabilidade de dados espaciais. No âmbito nacional, em 2008 foi instituído, pelo decreto Nº 6.666, a INDE (Infraestrutura Nacional de dados Espaciais) definida da seguinte forma:

“conjunto integrado de tecnologias, políticas, mecanismos e procedimentos de coordenação e monitoramento, padrões e acordos, necessários para facilitar e ordenar a geração, o armazenamento, o acesso, o compartilhamento, a disseminação e o uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal.”

No âmbito internacional, muitas são as iniciativas para efetivar a interoperabilidade de dados espaciais. O maior destaque se dá para a OGC (*Open Geospatial Consortium*), definido em seu próprio site (<http://www.ogc.org>) como uma organização não governamental e sem fins lucrativos, formada por voluntários do mundo inteiro a fim de estabelecer padrões para dados e serviços espaciais.

Tanto as ações nacionais quanto as internacionais, estão focadas em potencializar o uso dos dados espaciais, tendo como ponto de partida o uso de padrões abertos de comunicação e metadados.

Especificamente para o caso das informações Geológicas, até onde se tem notícia, a única Instituição Nacional que tem promovido e divulgado abertamente suas ações com relação à sistematização e organização dos dados é a CPRM – Serviço Geológico do Brasil. A CPRM tem trabalhado intensamente no desenvolvimento de ferramentas tecnológicas e na modernização de seus processos de armazenagem e distribuição de dados, todo o processo e resultados estão agrupadas no que ela denomina de GEOBANK (<http://geobank.sa.cprm.gov.br>).

Concebido inicialmente para dar suporte ao Projeto GIS do Brasil, o banco foi projetado e desenvolvido em plataforma Oracle®, com dados do tipo misto objeto-relacional de forma a poder atender, em sua concepção, às pesquisas espaciais de maneira dinâmica. Atualmente o GEOBANK já conta com tecnologias agregadas de disponibilização e armazenamento de dados vetoriais associando as entidades gráficas ao conjunto de tabelas Oracle®, com interações em tempo real de mapas temáticos.

A CPRM, em parceria com algumas universidades, também disponibiliza aos usuários um software de entrada de dados chamado AFLORA. Essa ferramenta é responsável pelo cadastro das informações não espaciais no banco de dados da CPRM e não apresenta uma integração imediata com as informações espaciais.

Além disso, apesar de ocorrerem relatos informais da existência de intenções de outras universidades de se criar banco de dados para as informações geológicas, nada tem sido divulgado nas revistas e meios de comunicação científicos. Em consulta realizada pelo autor,

com o propósito de determinar o atual nível de incorporação de banco de dados espaciais geológicos em universidades e órgãos produtores de dados geológicos, não foi possível determinar o atual desenvolvimento desta área devido ao baixo índice de resposta dos questionários propostos.

Outro ponto que assinala para a falta de sistematização da informação e do uso de bancos de dados espaciais nas geociências foi o encontro realizado pela Petrobras com as universidades durante o SNET 2011 (Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos). Estavam presentes a grande maioria das universidades que possuem cursos de graduação em geologia. Durante o evento poucas foram as instituições que apresentaram iniciativas geotecnológicas para a sistematização e organização das informações em banco de dados geográficos. Destaque para a UFPR que está desenvolvendo uma caderneta digital, no entanto, ainda sem um banco de dados estruturado.

Dessa forma, o maior desafio desse projeto é trazer para discussão os problemas e soluções acerca de padrões e interoperabilidade para o contexto geológico e propor uma tecnologia capaz de se adequar a tudo isso.

1.1. OBJETIVOS

Tendo como ponto de partida os problemas já apresentados, busca-se aqui o modelamento de um banco de dados geográfico, o planejamento de um novo método de gerenciamento de projetos de aquisição de dados geológicos e o desenvolvimento de uma ferramenta tecnológica que possibilite a implantação do modelo e das metodologias geradas baseada em software livre.

Outro objetivo importante é a implantação de uma arquitetura centralizada para armazenamento e distribuição dos dados, garantindo não só a capacidade de persistir a geometria de objetos geográficos, mas também armazenar o grande volume de informação alfanumérica e metadados disponíveis dentro da instituição.

Para que se chegue ao resultado esperado, essa dissertação abarcará alguns objetivos específicos, chamados aqui de objetivos intermediários, os quais são:

- Delimitação do problema
- Levantamento e análise de requisitos para o banco de dados
- Modelagem do Banco de dados geológico espacial e sua implementação
- Desenvolvimento de software para as plataformas web e móvel visando a aquisição, manipulação e publicação de dados geológicos.
- Apresentação de uma proposta de processo de trabalho a ser usada para garantir que toda a infraestrutura proposta seja implantada corretamente.
- Teste de carga de dados utilizando um trabalho de mapeamento já concluído do Instituto .

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para uma compreensão correta de tudo que será tratado e discutido ao longo dessa dissertação, e refletindo a dinâmica de discussão e produção adotada no mestrado, o assunto a ser tratado foi separado em oito partes, sendo a primeira o atual capítulo que apresenta a introdução e os objetivos, as demais são apresentadas conforme a seguinte ordem:

Capítulo 2 - Base Conceitual

Capítulo 3 – Banco de dados

Capítulo 4 - Aplicativos

Capítulo 5 – Processo proposto

Capítulo 6 – Testes e resultados

Capítulo 7 - Conclusões

Iniciando o trabalho, o capítulo referente à Base conceitual apresenta todos os conceitos a serem empregados nesse trabalho, bem como o estado da arte sobre os aspectos tecnológicos que serão discutidos.

O capítulo sobre Banco de dados visa apresentar todas as etapas envolvidas no processo de modelagem do banco de dados geológico espacial, incluindo a etapa conceitual e de implementação.

O desenvolvimento dos aplicativos, apresentado no capítulo 4, representa parte da proposta de um processo de trabalho a ser discutido com detalhes no capítulo 5. As ferramentas visam criar um arcabouço tecnológico que favoreça o uso do banco de dados corporativo e modernização do processo de coleta e disponibilização de dados geológicos.

O capítulo 6 apresenta diversos testes realizados em todas as etapas do trabalho buscando garantir que todas as etapas do trabalho tenham sido devidamente implementadas e apresentar possíveis resultados que possam interferir de alguma forma nos resultados esperados.

2. BASE CONCEITUAL

Este capítulo visa apresentar os principais conceitos utilizados ao longo do trabalho, e que, de certa forma, fundamentam conceitualmente o desenvolvimento de todos os produtos gerados.

2.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG

Um SIG pode ser entendido como um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, manipular e distribuir informações relacionadas a algum ponto ou região do espaço geográfico (Worboys & Duckham, 2004).

Para Câmara *et. al.* (2005), a principal diferença de um SIG para um sistema de informação convencional é sua capacidade de armazenar desde atributos descritivos, ditos alfanuméricos, como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos.

Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica surgiram na década de 60 (Camara *et al.* 2001), no entanto, eram muito difíceis de serem utilizados, demandavam mão de obra muito especializada e computadores que, na época, eram acessórios de luxo e custavam verdadeiras fortunas.

Nos anos 70, foram viabilizados os primeiros trabalhos de SIG e surgiram os sistemas CAD (Formato de arquivo vetorial da sigla “Desenho Assistido por Computador”), que popularizaram consideravelmente a produção cartográfica em formato digital (Camara *et al.* 2001).

Nos anos 80, devido à popularização dos microcomputadores, houve um grande avanço na utilização dos SIG's. No entanto, o problema da baixa capacidade de armazenamento ainda era um ponto crítico, apresentando melhoras consideráveis apenas na década de 90 (Camara *et al.* 2001).

Nos dias atuais os SIG's se encontram bastante popularizados, sendo que a infraestrutura física, tanto para coleta quanto para o processamento e distribuição das informações

já permitem a implantação real de sistemas totalmente informatizados. Os novos desafios estão na organização destes sistemas dentro de ambientes colaborativos.

Ao longo desses últimos anos foram criadas e popularizadas diversas ferramentas de SIG *desktop*, permitindo que diversos grupos se utilizassem dessas tecnologias. No entanto, a facilidade de uso e disponibilidade de recursos de SIG levou a uma quase total descentralização das informações, mesmo dentro de uma mesma instituição, é possível encontrar diversos tipos diferentes de armazenagem de dados espaciais, impossibilitando a integração de dados e um maior diálogo entre os diversos projetos (Câmara *et. al.* 2001).

2.2. A INFORMAÇÃO ESPACIAL

Os dados espaciais são entendidos como a representação de objetos que podem ser individualizados no espaço por algum tipo de forma (geometria), quer sejam objetos pontuais, como escolas e hospitais, lineares, como estradas e rios ou poligonais, como fazendas e cidades (Câmara *et. al.* 2005).

A forma de armazenamento desses dados pode variar de acordo com a necessidade ou mesmo com a forma de aquisição dos mesmos. Basicamente, existem duas formas de se representar a informação espacial: vetorial e matricial (Burrough & McDonell 1998).

Os dados vetoriais são definidos através de um sistema de coordenadas cartesianas, onde cada uma de suas primitivas geométricas (ponto, linha e polígono – Figura 1) define as coordenadas de fronteira de cada entidade geométrica (Câmara *et. al.* 2005).

Os formatos matriciais, por sua vez, usam uma grade regular sobre a qual se representa, célula a célula, o elemento que está sendo descrito. Dessa forma, o espaço é representado como uma matriz $P(m, n)$ composto de m colunas e n linhas (Figura 2), onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado e cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas (Câmara *et. al.* 2005).

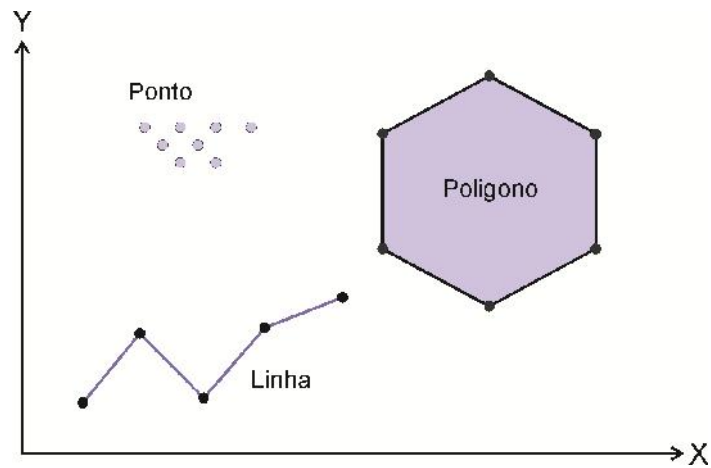


FIGURA 1 - PRIMITIVAS GEOMÉTRICAS DO ARMAZENAMENTO VETORIAL

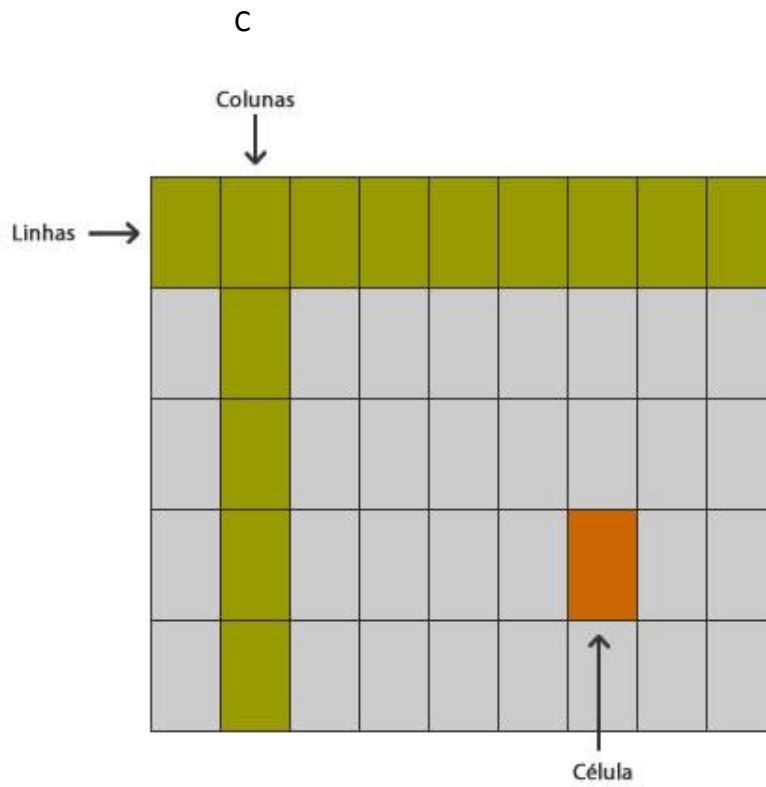


FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DE UMA MATRIZ SIMPLES

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 *et. al.* (2005)

apresentou a adaptação do paradigma dos quatro universos. Esse paradigma conceitua quatro passos entre o mundo real e sua representação computacional conforme a Figura 3.



FIGURA 3 - PARADIGMA DOS QUATRO UNIVERSOS (CÂMARA ET. AL., 2005)

Dessa forma, o primeiro universo, o ontológico, reflete a definição dos conceitos extraídos da realidade, ou seja, observando o mundo real busca-se seu completo entendimento e definição conceitual.

O segundo, universo formal, apresenta os modelos lógicos que generalizam os conceitos do universo ontológico. Essa etapa implica em representar 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, universo estrutural, 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 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.

Uma outra forma de se entender melhor essas abstrações é apresentado na Figura 4, onde o paradigma é interpretado através de níveis de abstração.

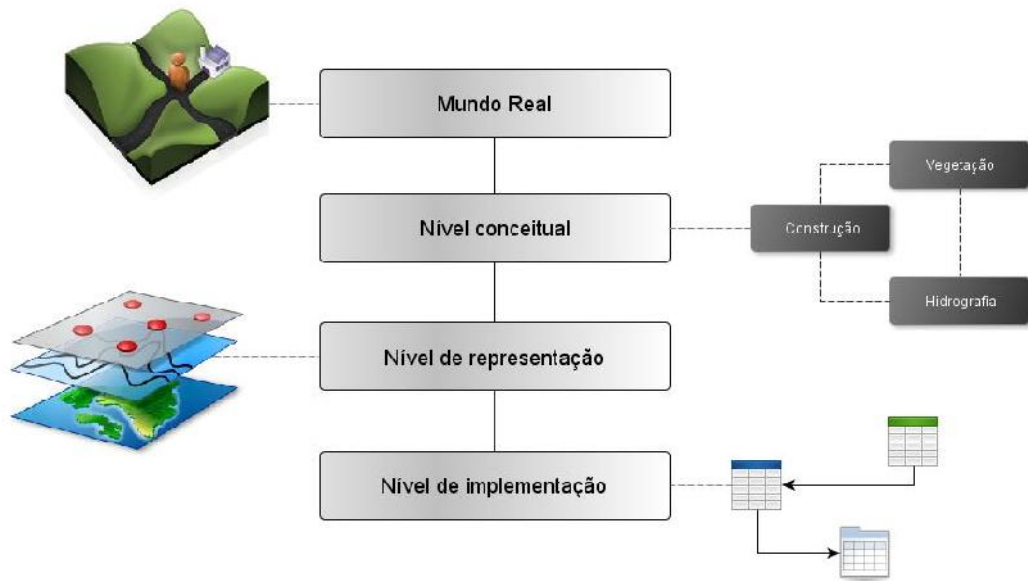


FIGURA 4 - NÍVEIS DE ABSTRAÇÃO. ADAPTADO DE CÂMARA ET. AL. (1996)

2.3. RELACIONAMENTOS ESPACIAIS

Dentre as principais características inerentes à informação geográfica, pode-se dizer que a mais importante é, sem dúvida, a relação espacial que existe entre os diversos objetos no espaço. Um relacionamento espacial é a maneira com que os objetos se relacionam no espaço (Borges et al 2005). Esse tipo de relação pode ser facilmente compreendida analisando a relação entre uma casa e um lote, entre esses dois objetos só podem existir duas possibilidades de relação. Ou a casa está contida no lote, ou não está. Dessa forma, todo e qualquer objeto individualizado no espaço pode se relacionar espacialmente com outros que estejam ao seu redor.

Esse tipo de relacionamento, conhecido como topologia espacial (Silva 1999; Borges *et al* 2005), deve ser sempre levado em consideração ao se modelar um banco de dados geográfico. Tais relações fazem com que seja possível normalizar os dados que entram no banco e garantir a integridade e qualidade dos dados.

Para se entender a importância da topologia em um banco de dados, apresenta-se a seguinte situação: Um projeto de mapeamento geológico possui uma área determinada e é

subdividido em seis áreas subjacentes. A regra desse projeto define que as áreas não podem se superpor, nem possuir espaços entre si. Dessa forma, faz-se necessário a implementação de regras topológicas que possam garantir que tais características sejam satisfeitas, as regras desse caso estão representadas na Figura 5.

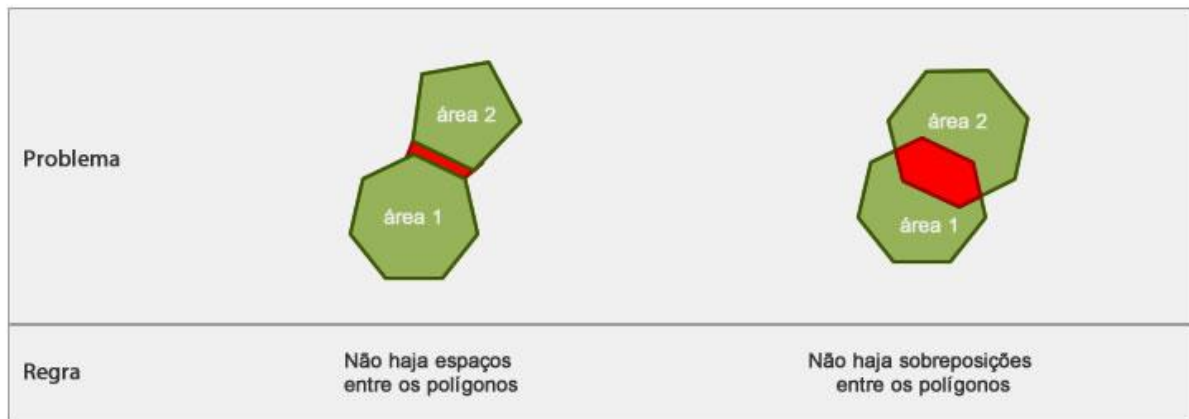


FIGURA 5 - REGRAS TOPOLÓGICAS DO EXEMPLO DAS ÁREAS.

Dentre as três primitivas geométricas básicas da representação vetorial, é possível se estabelecer centenas de relacionamentos espaciais (Borges *et al.* 2005), A Figura 6 apresenta alguns dos relacionamentos topológicos possíveis entre geo-objetos.

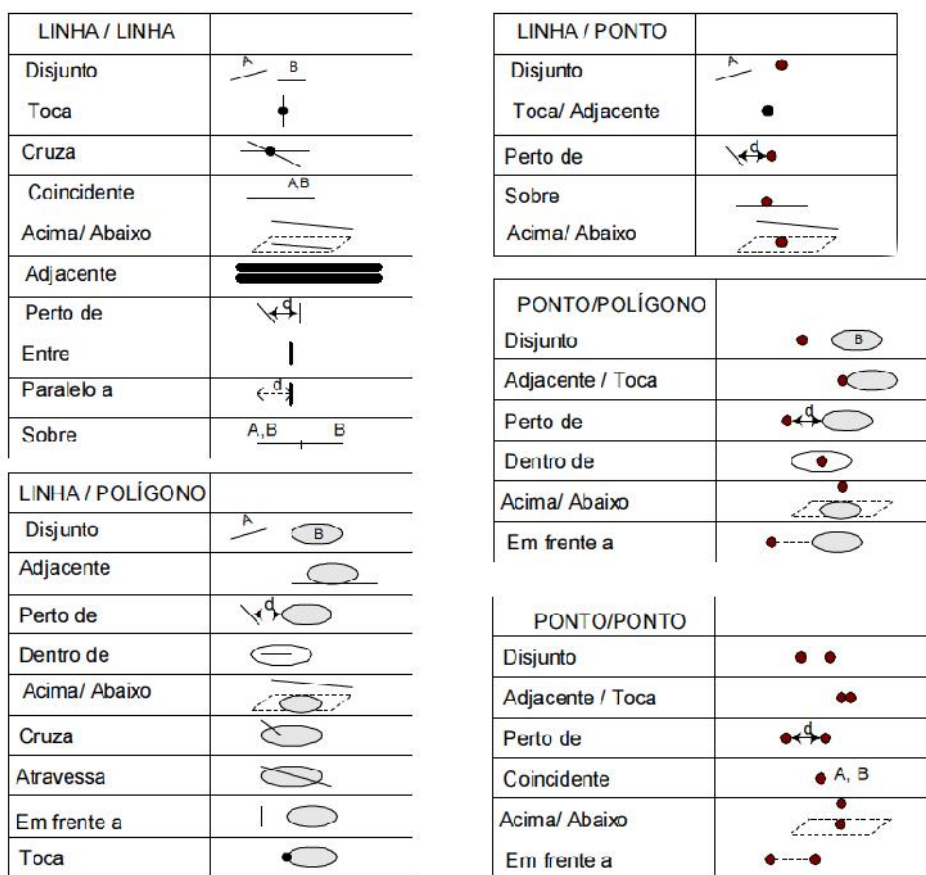


FIGURA 6 - RELACIONAMENTOS ESPACIAIS POSSÍVEIS (BORGES, KARLA & DAVIS, CLODOVEU)

2.4. MODELAGEM CONCEITUAL - OMTG

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 da 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 OMTG (Borges 1997).

O modelo OMTG, 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 OMTG 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 7).

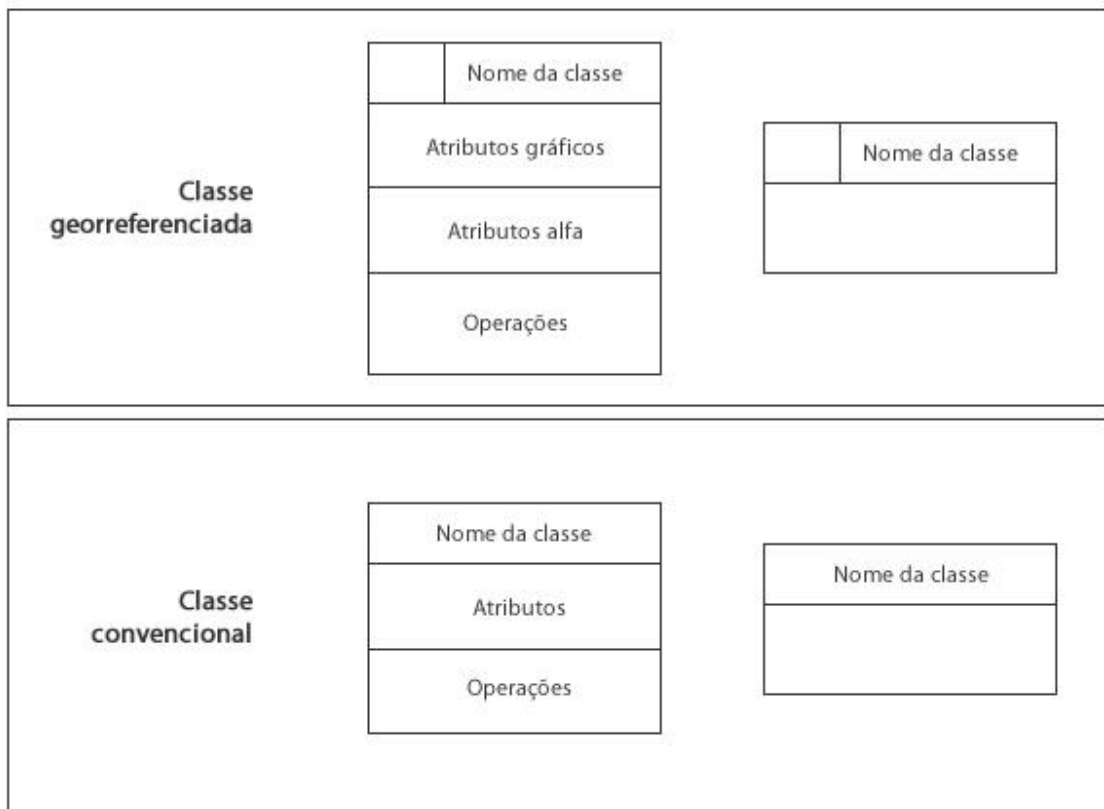


FIGURA 7 - TIPOS DE CLASSES E SUAS REPRESENTAÇÕES NO MODELO OMTG

Para haver uma representação adequada dos tipos de objetos espaciais, as classes georreferenciadas, Geo-Objetos e Geo-Campos, recebem uma informação do seu tipo geométrico (subclasses). A descrição das principais subclasses encontra-se na Figura 8.

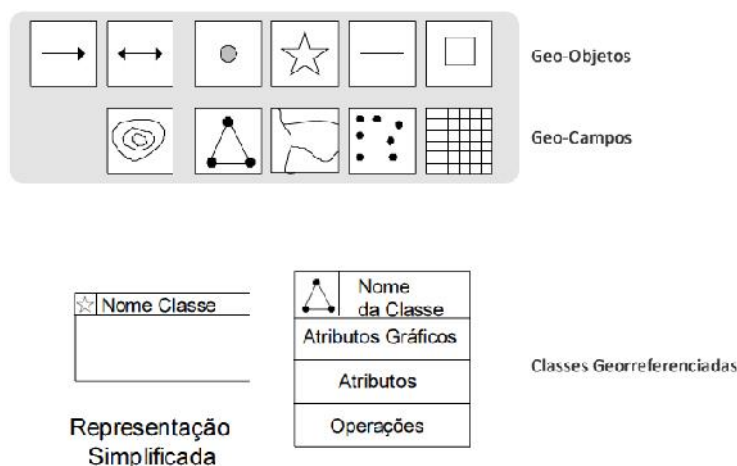


FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES GEORREFERENCIADAS JUNTO ÀS SUAS SUBCLASSES

2.5. A INFORMAÇÃO GEOLÓGICA

Independente da escala ou dos objetivos que nos impulsionem a confeccionar um mapa geológico, a obtenção de dados e a extração de suas informações são, e sempre serão, o aspecto principal do trabalho.

De uma forma geral, toda e qualquer informação geológica de campo é obtida através de informações pontuais, o que constitui uma discretização da informação e da realidade geológica pretendida. No entanto, no decorrer do trabalho o geólogo busca determinar as relações de contato entre as entidades geológicas, ou seja, a delimitação das unidades geológicas e das feições estruturais lineares que constituirão o mapa geológico.

Quase sempre essa etapa é feita através da interpretação visual do terreno tomando o dado de campo (afloramento) como referencial para se distribuir adequadamente as diversas unidades geológicas em áreas que mais se aproximem da realidade e o posicionamento das diversas estruturas geológicas presentes.

A partir das etapas de mapeamento citadas, se obtém ao final, no mínimo, um mapa que contém polígonos (unidades geológicas), linhas (estruturas geológicas) e pontos (os dados pontuais de afloramentos). No entanto, apenas os elementos geométricos não nos permitiriam

ler adequadamente este mapa, seriam apenas linhas e polígonos sem significado para o leitor do produto final.

Para proporcionar a identificação dos objetos geométricos, todo mapa, não somente o geológico, precisa adotar, necessariamente, uma legenda. A legenda, conforme exemplo da Figura 9, é constituída da representação espacial usada, como a cor, o tipo de linha ou mesmo a simbologia do ponto, acrescido do seu significado.

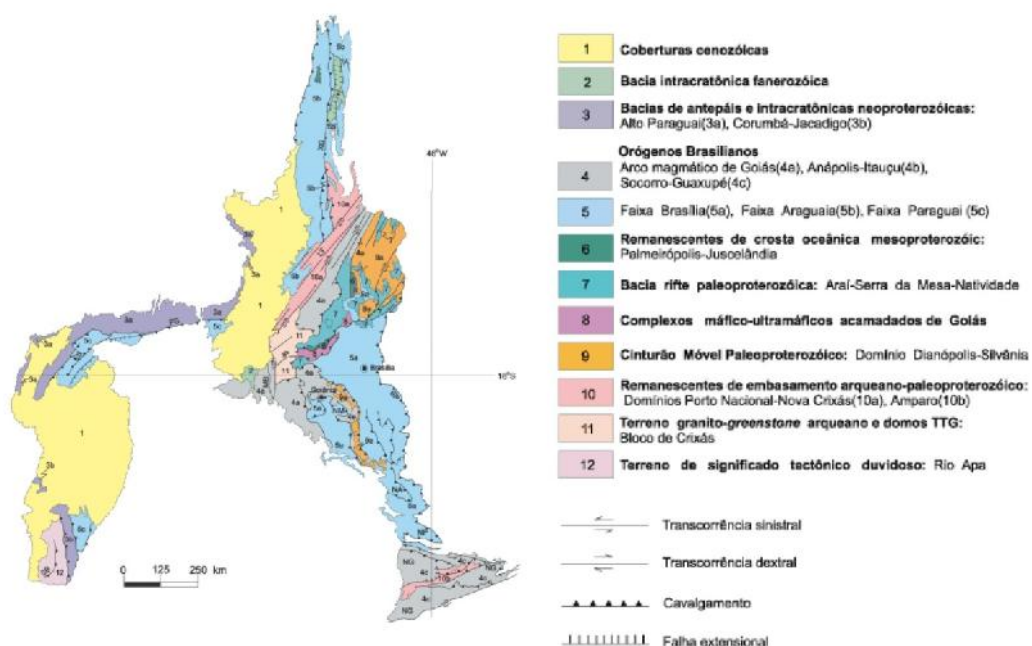


FIGURA 9 - MAPA DA PROVÍNCIA TOCANTINS (CPRM 2003) COM UMA LEGENDA CARACTERÍSTICA.

2.6. ESTADO DA ARTE SOBRE BANCO DE DADOS ESPACIAIS GEOLÓGICOS

No intuito de se entender a real situação do uso das geotecnologias nos estudos geológicos, foram analisados alguns modelos de bancos de dados geológicos disponibilizados na literatura. O primeiro a ser analisado, o Geobank[®], é o atual banco de dados utilizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM¹). Embora sua origem tenha se dado em tempos onde os conceitos de interoperabilidade e metadados não haviam sido devidamente aprofundados e

padronizados, este vem sendo continuamente modificado de modo a absorver os avanços tecnológicos.

A interface padrão de entrada de dados do *GeoBank* é o Aflora. Atualmente o software se encontra na versão 4.2 e está disponível no website do GeoBank (<http://geobank.sa.cprm.gov.br>). Esse sistema foi concebido com o intuito de oferecer um ambiente adequado ao armazenamento das informações geológicas não espaciais levantadas nos diversos projetos da instituição. O Aflora não possui um componente para entrada e visualização de dados espaciais, trata-se de uma ferramenta tradicional trabalhando com um banco de dados relacional, sem levar muito em consideração o armazenamento de dados espaciais. Outro ponto frágil do AFLORA e o seu encadeamento com campos obrigatórios que dificultam o uso pelos geólogos. Os pesquisadores reclamam freqüentemente que muitos destes campos obrigatório não são necessários. .

O novo projeto do GeoBank® apresenta um grande avanço em armazenamento de dados geológicos, tendo sido pensado baseado em conceitos modernos de interoperabilidade. No entanto, ainda apresenta certa herança de suas origens, permanecendo, em alguns casos, com uma arquitetura Dual, onde a geometria espacial encontra-se fisicamente separada de seus atributos alfanuméricos.

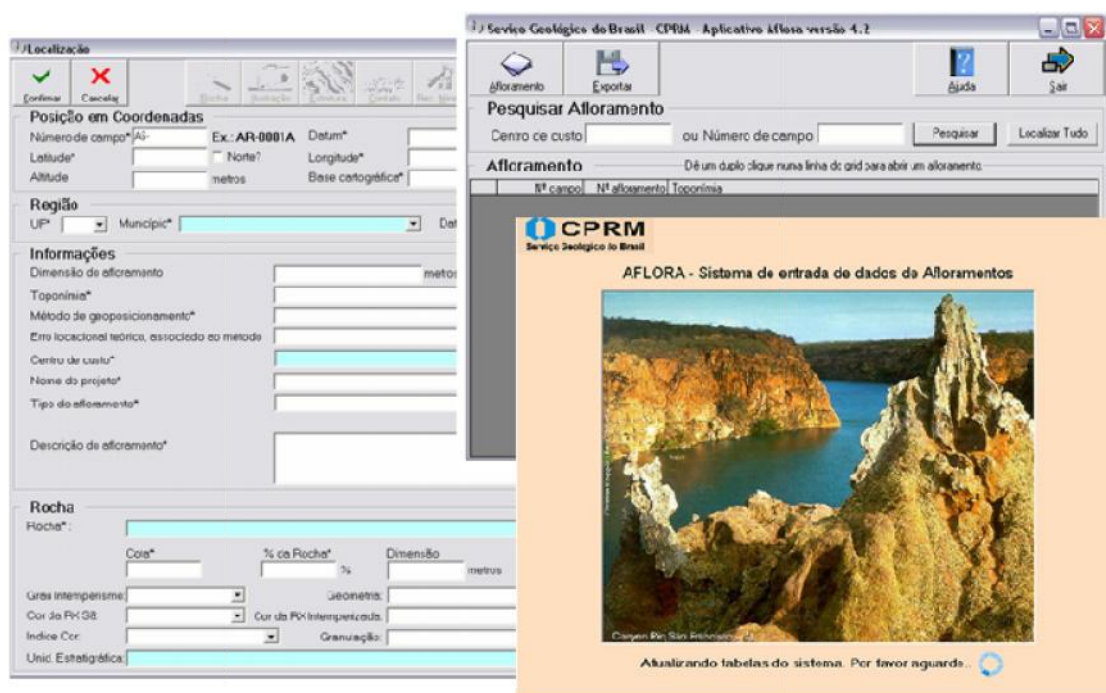


FIGURA 10 - TELAS DO APLICATIVO AFLORA® EM SUA VERSÃO 4.2

Outro modelo de banco que se destaca dentre os bancos de dados geológicos existentes é o chamado ArcGeology®. Proposto em 2007 em sua primeira versão, foi concebido para ser utilizado dentro da tecnologia ArcGis® 9.1 por uma equipe do U.S. Geological Survey. Este modelo apresenta conceitos modernos de banco de dados, apresentando análise topológica e o armazenamento de todas as feições cartográficas de um mapa geológico, bem como seus atributos alfanuméricos.

O último projeto analisado nessa etapa não diz respeito à um modelo de banco de dados, mas sim uma série de iniciativas para definição de interoperabilidade de dados geocientíficos. O GeoSciML (<https://www.seegrid.csiro.au/>) possui o objetivo principal de oferecer uma arquitetura de interoperabilidade de dados, permitindo que instituições com os mais diferentes modelos de bancos de dados possam trocar informações sem a necessidade de mudanças em suas estruturas.

O GeoSciML é uma iniciativa de grandes serviços geológicos do mundo como a IUGS (<http://www.iugs.org>), o serviços geológico britânico (<http://www.bgs.ac.uk>) e o serviço geológico americano (<http://www.usgs.gov>)

3. MODELAGEM DO BANCO DE DADOS ESPACIAL PARA ESTUDOS GEOLÓGICOS.

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), 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 11, deixando de fora, ou “delegando” para as instituições parceiras, a disponibilização das informações consideradas temáticas como Geologia, Geomorfologia, Solos etc.

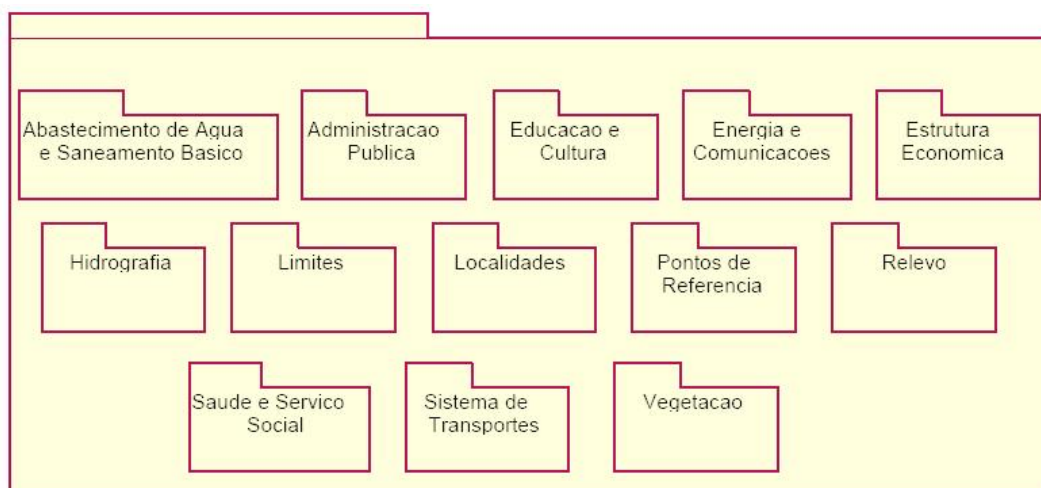


FIGURA 111 - CATEGORIA DE INFORMAÇÕES TRATADAS NA EDGV (NCB – CONCAR, 2007)

Em especial, no que tange as informações sobre o meio físico, mais especificamente as informações geológicas, 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), 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 se 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 Bancos de dados). Em especial as informações que são geradas pelas universidades, que hoje possuem uma participação importante no processo de cartografia geológica, estão sobremaneira desorganizadas e dispersas sob posse de seus autores.

Outro fato importante, é que mesmo nas 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.

Considerando o exposto, o objetivo dessa etapa é propor um 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 (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais).

3.1. PRINCIPAIS REQUISITOS DO BANCO DE DADOS

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.

Nos requisitos do dado Geológico (Semântica), buscou-se o levantamento dos principais atributos que compõe os mapas geológicos e suas primeiras derivações. Optou-se neste trabalho o estabelecimento de um glossário mínimo paralelamente ao levantamento dos requisitos, tendo em vista a melhor compreensão do modelo final proposto. Este glossário seguiu os requisitos/normatização estabelecidos pela Comissão de Gestão 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* - http://www.cgi-iugs.org/tech_collaboration/thesaurus.html²).

A seguir apresentam-se os principais conceitos atrelados aos requisitos.

Mapa Geológico: Segundo Lisle (2004), um mapa geológico apresenta a distribuição espacial das rochas em uma dada área. A partir dessa definição temos a necessidade de expandi-la conceitualmente com o objetivo de caracterizar melhor a informação geológica completa a ser mapeada. Dessa forma, a descrição proposta seria: Mapa que apresenta a distribuição espacial dos diversos tipos litológicos, os contatos entre esses tipos e as estruturas geológicas presentes em um contexto sob determinada escala.

Os elementos principais que compõem um mapa geológico são a Unidade Geológica, as estruturas tectônicas, os afloramentos e as relações de contatos entre esses elementos.

Unidade Geológica: Unidade diferenciável da crosta por suas características de composição, idade, limites físicos e outras propriedades.

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.

Estruturas geológicas: Representam discontinuidades físicas na crosta, quer sejam singenéticas ou pós-genéticas. Podem ser planares ou lineares.

Requisito espacial: As estruturas são representadas por linhas. As linhas podem se cruzar, tocar e sobrepor.

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 três grupos litológicos clássicos. Rochas sedimentares, ígneas e metamórficas. Existem subclassificações importantes dentro de cada grupo que não serão consideradas nesse trabalho, mas que poderão ser acrescentadas posteriormente.

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, considerando qualquer aspecto genético, composicional, químico ou mineralógico, morfológico, estrutural ou textural distintivo para fins de referência em um estudo geológico” (Glossário Geológico – IG-UnB).

Relações geológicas espaciais: De uma forma geral, um mapa geológico apresenta uma discretização de dados que são, na verdade, contínuos. Todos os geo-objetos, quer sejam linhas, polígonos ou pontos apresentam relacionamento espacial entre si.

Relação Estrutural – São as relações entre as feições estruturais podem se relacionar de diversas formas, tanto temporal como espacialmente.

Delimitação de unidades (contatos) - Os contatos de um mesmo corpo podem ser extremamente variados, dessa forma, uma mesma unidade geológica pode possuir, por exemplo, um contato angular à nordeste, um inferido à sudeste, um litológico à sudoeste e um discordante à noroeste.

Requisito espacial: Essa complexidade deve ser estudada, e até o momento, se propõe o uso de geo-objetos com geometria de linha sobreposta à geometria de polígonos que definem os corpos. Outra possibilidade é a utilização de ‘redes’, onde cada arco que delimita uma área pode receber um tipo distinto, no entanto essa etapa seria uma etapa posterior à de entrada de dados, tratando-se de

validação e tratamento de dados, onde também se encaixam as correções topológicas.

3.2. MODELO CONCEITUAL

Todo o processo de mapeamento geológico gira ao redor de algumas classes principais, chamadas aqui de superclasses, que servem como agregadoras das demais.

São elas:

- Afloramentos
- Estruturas
- Unidades geológicas

A partir das superclasses, foi levantada 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).

TABELA 1 - PRINCIPAIS CLASSES DO MODELO

Superclasse	Classes	Descrição
Afloramento	Amostra	Amostras relacionadas ao afloramento
	Litotipo	Informações acerca dos litotipos que compõe o afloramento.
	Medidas estruturais	Medidas relativas a estruturas tectônicas e/ou primárias.
Estrutura	Estrutura/contato	Uma estrutura pode representar ou não um contato geológico
Unidade geológica	Contato	Contatos que delimitam a unidade
	Litotipo	Informações acerca dos litotipos que compõe a unidade.

Após a definição das principais classes, passamos à identificação das classes espaciais, que deverão possuir alguma representação geográfica. A tabela 2 apresenta de forma resumida as classes espaciais identificadas, sua descrição e o tipo geométrico relacionado.

TABELA 2 - CLASSES ESPACIAIS

Classe Espacial	Descrição	Tipo geométrico
Afloramento	Afloramentos	Ponto
Estruturas	São as estruturas tectônicas mapeáveis.	Linha
Unidade Geológica	Unidade diferenciável da crosta por suas características de composição, idade, limites físicos e outras propriedades	Polígono
Projeto	Representação da área do projeto. Embora seja do tipo polígono, é implementada como a agregação espacial dos grupos.	Polígono
Grupos	Representa a área de trabalho de cada grupo que integra um projeto.	Polígono
Contatos	São os contatos geológicos delimitados que serão utilizados na geração das unidades geológicas.	Linha

A partir do mapeamento das superclasses e classes, chegou-se a um modelo, conhecido como diagrama de classes (Figura 12), 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.

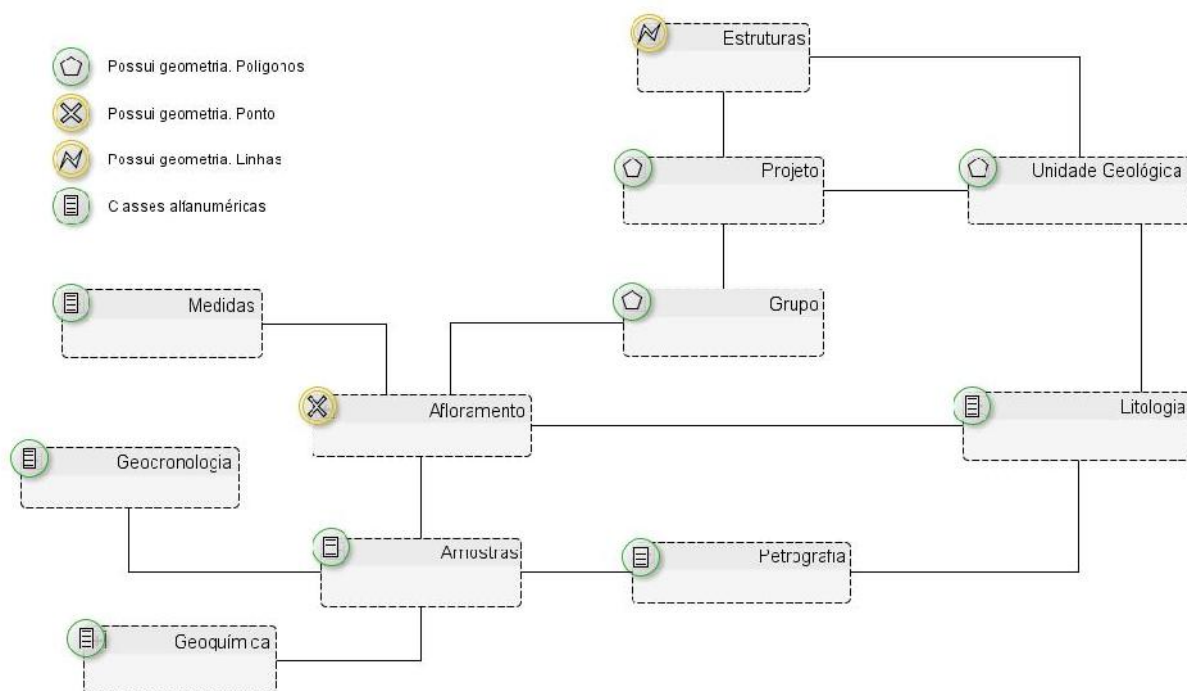


FIGURA 12 - MODELO DE CLASSES COM INDICAÇÃO DO TIPO GEOMÉTRICO

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 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 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 “toca” a unidade geológica. Existem outras estruturas que apenas “cruzam” a unidade geológica (Figura 13).

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 esteja cruzando uma unidade e, em outro, já esteja tocando essa unidade. Isso pode ser visto na estrutura ‘b’ da figura 20 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.

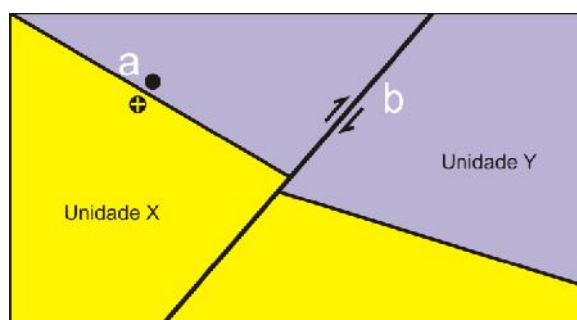


FIGURA 12 - ESTRUTURA 'A' MOSTRANDO UMA FALHA NORMAL TOCANDO AS DUAS UNIDADES E SERVINDO COMO CONTATO GEOLÓGICO. ESTRUTURA 'B' CRUZANDO AS UNIDADES COMO UMA FALHA TRANSCORRENTE

A próxima, e talvez mais importante classe a ser analisada, é a superclasse “Afloramento”. O afloramento é a unidade básica de mapeamento, apresentando-se 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, está contida na unidade. Apesar da simplicidade da topologia dessa classe, ela possui vital importância, pois a partir dela se desdobram uma série de outras classes não espaciais como a laminação e a geocronologia.

O modelo conceitual OMTG (Anexo 1) 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 adotados no modelo conceitual do banco de dados estão baseados na segunda versão do documento *Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais* (2009), produzido pela comissão Nacional de Cartografia (CONCAR).

O modelamento lógico (Anexo 2) foi realizado com o auxílio do software DBDesigner (<http://sourceforge.net/projects/dbdesigner-fork/>), auxiliando também a criação do dicionário de dados (Anexo 3) do banco de dados em questão.

4. SISTEMA DE GERÊNCIA DE PROJETOS E DADOS GEOLÓGICOS.

Em um mundo onde a virtualização e a sistematização se tornam cada vez mais presentes em nosso cotidiano, é notável o crescimento no uso e disponibilidade de ferramentas de SIG, sobretudo na internet. Segundo Peterson (2007) o crescimento no uso de mapas através da internet excede a taxa de crescimento da própria internet.

O acesso à informação espacial disponibilizada e a amplitude de potenciais usuários concebidos pelas tecnologias atuais, constituem um marco na história da criação de mapas: o próprio usuário desenvolve o mapa segundo as suas necessidades, baseado nas informações disponíveis, e no momento em que necessita do mesmo (DE MENDONÇA et. al., 2009).

Com o intuito de modernizar os processos dentro do Instituto de Geociências da UnB e adequá-lo à revolução virtual que vivemos no mundo de hoje, foi desenvolvido um banco de dados geológico capaz de armazenar toda a informação geológica produzida, bem como os metadados e dados dos projetos de levantamento de dados.

A partir do desenvolvimento do banco de dados, iniciou-se o planejamento de uma ferramenta adequada para a gerência dos dados espaciais e de toda a informação dos projetos do Instituto.

O Desenvolvimento da aplicação seguiu parâmetros modernos de arquitetura, buscando se enquadrar em todos os padrões de interoperabilidade de dados e disponibilidade, usando sempre todo o potencial dos softwares livres existentes no mercado.

4.1. ARQUITETURA PROPOSTA

A discussão acerca da arquitetura ideal para disponibilização de SIG já vem se realizando há algum tempo por diversos autores. HARROWER (2004) defende o uso da internet na disponibilização de novos serviços de SIG, segundo ele a internet revolucionou a forma como trabalhamos cartografia, apresentando alguns pontos importantes que levaram a esse novo paradigma de distribuição de SIG's:

- Disponibilidade e facilidade de distribuição de produtos cartográficos;
- Universalização do acesso a dados cartográficos;
- Aumento significativo na demanda por serviços cartográficos;
- Surgimento de ferramentas que permitem o desenvolvimento de aplicações “sob-demanda” de forma eficiente e atualizável.

Outro conceito importante apresentado por HARROWER (2004) é o dos “Mapas sob-demanda”. Segundo o autor, um dos principais benefícios dos SIG's modernos é permitir que o próprio usuário manipule e organize os dados, dessa forma os mapas não se encontram prontos e estáticos, mas são construídos de acordo com as necessidades do usuário.

Ao mesmo tempo em que pensamos a universalização do acesso a ferramentas de SIG, devemos também repensar os conceitos de usabilidade dessas ferramentas.

Temos um público cada vez mais sedento de informação, treinado em um mundo digital, mas que não necessariamente possui a formação adequada para manipular corretamente um SIG. Esses problemas devem ser levados em consideração no desenvolvimento de novos SIG's, desde a definição da arquitetura até a produção do layout final do produto.

Outro meio tecnológico que tem tomado corpo ultimamente é o de celulares e tablets. Cada vez mais poderosos e com características muito próximas dos computadores tradicionais, esses aparelhos possibilitam que as tecnologias se tornem definitivas e façam parte de todos os momentos do cotidiano das pessoas.

Levando em consideração que um geólogo utiliza diversas ferramentas em um trabalho de campo, é esperado que os dispositivos móveis ofereçam uma agregação de diversas ferramentas e funcionalidades, disponibilizando ao geólogo um ambiente de coleta de dados integrado e que permita mais agilidade e segurança na coleta de dados.

A utilização de dispositivos móveis na aquisição de dados representaria não só uma enorme redução de custos operacionais, mas principalmente a simplificação do processo de armazenamento, interpretação e publicação dos dados.

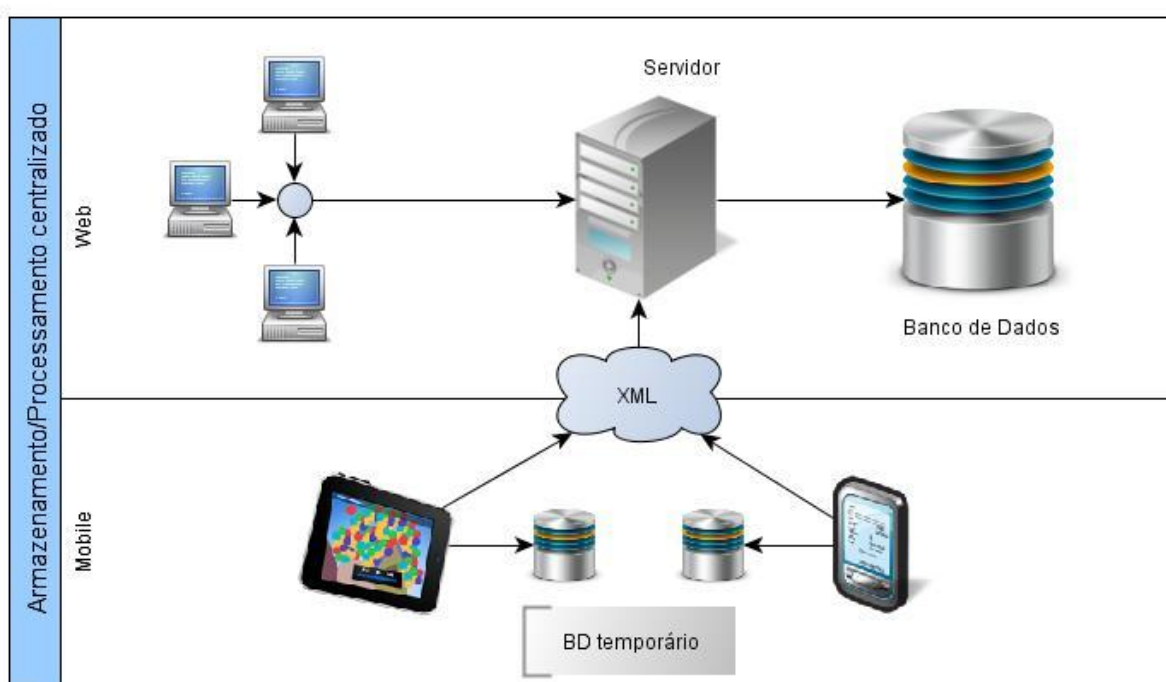


FIGURA 14 - ARQUITETURA DO TIPO “ARMAZENAMENTO/PROCESSAMENTO CENTRALIZADO” COM COLETA DESCENTRALIZADA

Sob o ponto de vista desse trabalho, esse tipo de tecnologia contribui muito para o êxito na implantação do novo SIG, fazendo com que a tecnologia se espalhe com maior velocidade, nos dando a oportunidade de criar uma cultura tecnológica que propicie o avanço real da segurança e disponibilidade da informação geológica.

Todos os pontos apresentados apontam para uma arquitetura onde o processamento e armazenamento das informações seja centralizado e a coleta descentralizada (Figura 14). As seguintes características podem resumir a arquitetura proposta:

- Arquitetura de armazenamento e distribuição WEB
- Armazenamento de dados centralizado
- Processamento de dados centralizado
- Aquisição descentralizada de dados através de dispositivos móveis
- Restrição de acesso a dados

4.2. ARQUITETURA DE SERVIDOR

Um dos pontos fundamentais do software proposto é a disponibilidade dos dados e o trabalho em grupo. Dessa forma é importante que a ferramenta esteja disponível a todo tempo e que seja acessível de forma fácil e universal. Tendo em vista essas questões, decidiu-se por utilizar a WEB (internet) como ambiente de disponibilização da ferramenta.

Para se disponibilizar um serviço desse tipo na WEB, precisamos de algumas ferramentas indispensáveis, são elas: Servidor WEB, Servidor de mapas e o Banco de dados com suporte a dados espaciais. A Figura 15 apresenta a organização desses produtos a partir de alguns softwares livres.

O servidor web é o aplicativo responsável pela disponibilização de um site ou aplicativo web hospedados em um computador para outros dentro de uma rede, nesse caso, a rede mundial de computadores (*World Wide Web*). O servidor de aplicações web adotado foi o Apache Server (<http://apache.org>).

O Servidor de Mapas é o software que nos permite publicar dados geográficos na WEB. Através desse aplicativo, podemos disponibilizar um banco de dados espacial via Web através de uma série de especificações estabelecidas pela OGC (*Open Geospatial Consortium*). Por

serem publicadas baseadas em padrões abertos e internacionais, essas informações podem ser consumidas por uma grande variedade de softwares web e desktop. O aplicativo *Geoserver* (<http://geoserver.org>), mantido pela *Open Planning Project*, foi o servidor escolhido dentro do contexto desse projeto.

As especificações OGC para aplicações em mapeamento na web oferecem um padrão para que os usuários realizem buscas por mapas e fontes de dados geográficos na web, independentemente do tipo de servidor de mapas ou do fabricante (LIMP, 2002). As seguintes especificações são definidas pela OGC:

- WMS (*Web Map Service*) – Interface para requisição de dados via HTTP com retorno de imagens georreferenciadas.
- SLD (*Styled Layer Descriptors*) – Estabelece padrões de simbologia a serem utilizados na renderização dos mapas através do protocolo WMS;
- WFS (*Web Feature Service*) – Interface de comunicação de dados geográficos reais no formato GML (*Geographic Markup Language*). Permite operações de consultas em bases de dados e retorno de feições;
- WFS-T (*Web Map Service-Transactional*) – Interface igual à WFS que permite operações de criação edição de dados;
- WCS (*Web Coverage Server*) – Interface para publicação e a distribuição de imagens de satélite e outros “coverages”;

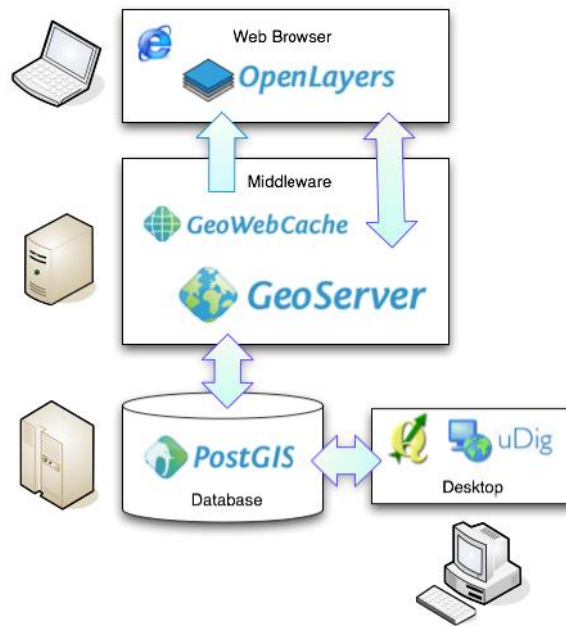


FIGURA 15 - ARQUITETURA BÁSICA BASEADA EM SOFTWARES LIVRES (FONTE: [HTTP://OPENGEO.ORG](http://opengeo.org))

4.3. SISTEMA DE GESTÃO DE DADOS GEOLÓGICOS NA WEB

Para se chegar a uma solução adequada de gestão da informação geológica, é necessário levar em consideração suas principais características:

- A base do estudo geológico é a confecção de mapas. Isso quer dizer que boa parte dos dados serão ou poderão ser representados geograficamente em um mapa.
- O levantamento de dados é quase sempre feito no contexto de projetos de mapeamento. É, portanto, fundamental gerenciar tais projetos.
- As geociências são formadas de diversas ciências integradas com o intuito de se compreender melhor a história geológica. Dessa forma, todas as áreas da geociência, ou a maioria delas, devem estar contempladas no sistema.
- O projeto é o elemento agregador de todas as outras etapas de mapeamento, dessa forma é de suma importância que o sistema seja capaz de gerenciar as

informações mais importantes de um projeto para garantir a herança histórica dos dados.

Para facilitar o processo de mapeamento e agilizar o levantamento dos dados, os projetos são, quase sempre, subdivididos em subprojetos. É no contexto dos subprojetos que todos os dados serão levantados, se atendo espacialmente à área delimitada para cada subprojeto individualmente.

No que diz respeito ao levantamento de dados, de uma forma geral, toda e qualquer informação geológica de campo é obtida através de informações pontuais, o que constitui uma discretização da informação e da realidade geológica pretendida.

A partir do afloramento, devem ser aninhadas uma série de informações importantes, como as amostras do afloramento, as medidas estruturais, laminação de amostras, análises laboratoriais, geoquímica isotópica e outra.

Outro elemento fundamental na aquisição de dados em um mapeamento é a definição espacial de contatos litológicos e estruturas tectônicas. Estes elementos serão responsáveis pela delimitação cartográfica das estruturas e unidades geológicas do projeto.

Um ponto fundamental a ser frisado é o fato de que a área total do projeto deve ser obtida a partir das áreas de seus subprojetos, esse processo deve ser automático para se evitar possíveis erros topológicos e perda de herança de qualquer elemento mapeado.

Outra questão importante é o processo estabelecido aqui para se proceder à produção cartográfica. De uma forma geral, uma unidade geológica pode ser definida a partir do desenho de um polígono diretamente, ou então a partir da intersecção de linhas (contatos).

Foi definida como metodologia de mapeamento que o mais adequado seria a definição das unidades geológicas a partir dos contatos geológicos existentes. Dessa forma, o processo de geração do polígono que representa a unidade geológica, será feito de forma quase automática pelo sistema.

Para viabilizar a correta definição dos polígonos, somente as estruturas do tipo contato serão usadas. Todos os contatos passam então por um processo de intersecção entre si gerando-se os polígonos onde três ou mais contatos fecharem uma área. A partir daí será usada outra informação definida no sistema, que será o ponto guia da unidade.

Esse ponto guarda a informação da unidade geológica que estará abaixo de si, dessa forma, ao se verificar qual ponto guia se sobrepõe a cada polígono, o sistema será capaz de identificar os atributos do polígono criando os relacionamentos e estabelecendo a unidade geológica relativa.

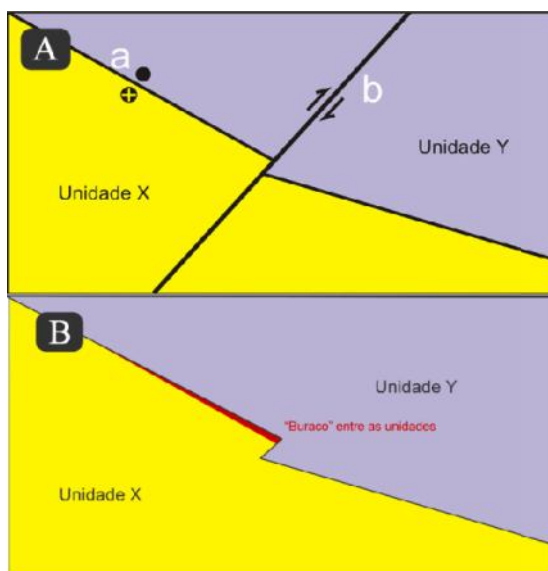


FIGURA 16 - FIGURA MOSTRANDO AS DUAS POSSIBILIDADES DE DEFINIÇÃO DE UMA UNIDADE GEOLÓGICA. EM "A" AS UNIDADES GEOLÓGICAS SÃO OBTIDAS A PARTIR DE CONTATOS TRAÇADOS INICIALMENTE NO MAPA. EM "B" AS UNIDADES GEOLÓGICAS FORAM DEFINIDAS A PARTIR DE DOIS POLÍGONOS CRIADOS SEPARADAMENTE, CORRENDO O RISCO DE SE PRODUZIR ERROS TOPOLÓGICOS COMO O APRESENTADO.

O último passo da cartografia geológica, nesse caso, é a união de todos os polígonos que se toquem e que possuam o mesmo identificador de unidade geológica. Essa junção fará o que é conhecido no geoprocessamento como *"dissolve"*, utilizada com frequência para agregar elementos que, embora iguais, encontram-se separados. Esse procedimento visa também reduzir a quantidade de registros no banco.

Dessa forma, temos um mapa com todas as estruturas lineares, pontuais e poligonais que o compõem, restando apenas a adoção de uma legenda para que o mapa esteja finalizado.

4.4. REQUISITOS FUNCIONAIS DA FERRAMENTA

- Controle de acesso - O sistema deverá restringir o acesso aos dados a partir do cadastro de usuários, restringindo a cada usuário o acesso a projetos em que tenha ligação.
- Gerência de usuários e permissões - O sistema deve permitir a gerência completa de usuários e seus níveis de acesso. Serão estabelecidos apenas dois níveis de acesso em um primeiro momento, sendo eles: Administrador e Usuário.
- Gerência de Projetos - A ferramenta de gerência de projetos deverá permitir o cadastro de projetos e seus subprojetos (grupos de trabalho) e a associação de usuários aos grupos.
- Gerência de Afloramento - As seguintes funcionalidades deverão compor a ferramenta:
 - Inserir, editar e consultar afloramentos
 - Relacionar e gerenciar medidas estruturais ao afloramento
 - Relacionar e gerenciar Fotos aos afloramentos
 - Relacionar e gerenciar amostras do afloramento
 - Relacionar e gerenciar fotos às amostras
 - Relacionar e gerenciar resultados geocronológicos à amostra
 - Relacionar e gerenciar lâminas às amostras
 - Relacionar e gerenciar fotos à lâmina
 - Relacionar e gerenciar minerais (composição modal)

- Gerência de Estruturas geológicas – Essa ferramenta deverá permitir a adição, edição e exclusão de estruturas e contatos geológicos na esfera do grupo (subprojeto) de cada usuário.
- O sistema deve oferecer consultas por atributo, facilitando o acesso a dados específicos do usuário.
- Visualização dos dados de cada projeto através do mapa – Por se tratar de uma ferramenta para construção de mapas geológicos, a ferramenta de mapa deve ocupar posição de destaque e oferecer ferramentas de navegação simplificadas que permitam o trabalho de coleta e interpretação dos dados geológicos.
- Possibilidade de edição e inserção de novos afloramentos e estruturas através do mapa – Será possível inserir estruturas, contatos geológicos e afloramentos tanto através de formulários quanto diretamente pelo mapa.

4.5. REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS

- O sistema irá operar em ambiente Web
- Deverá oferecer interface amigável e colaborativa, compatível com os moldes da WEB 2.0, e com acesso simplificado aos dados do usuário em um projeto.
- O sistema deve ser leve e simples para compensar o grande volume de informação e não onerar demasiadamente o tempo de resposta do usuário.
- O sistema deverá ser construído baseado em plataforma livres e com ampla aceitação no mercado internacional.
- Nos campos de pesquisa e filtragem a serem implementados, deverão ser usados recursos de *'autocomplete'* em Ajax, buscando agilizar e auxiliar o processo de busca do usuário.

4.6. REGRAS DE NEGÓCIO

- O usuário deve ser capaz de inserir afloramentos e contatos apenas dentro dos limites da área do seu grupo.
- O usuário deve ser capaz de inserir afloramentos e contatos visualmente pelo mapa ou através de formulário.
- O usuário realizará a coleta utilizando o datum WGS84, salvo se os dados forem coletados manualmente, nesse caso os dados serão inseridos via interface web e convertidos automaticamente para o datum oficial.
- Ao se editar ou adicionar uma nova feição ao mapa, a ferramenta de *Snapping* deve ser ativada
- O usuário só deve ter acesso aos dados do seu grupo de trabalho para edição, mas poderá consultar os demais dados do projeto.

4.7. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O principal produto desenvolvido, o sistema de gerência de dados geológicos, é um aplicativo que roda em ambiente web e é capaz de gerenciar desde a criação de um novo projeto até o fechamento do mapa geológico.

Para agilizar o desenvolvimento desse aplicativo e garantir uma maior facilidade de manutenção no código, foi utilizado o *framework* php Zend® (<http://framework.zend.com/>). A escolha pelo *framework* se deu pelos seguintes motivos:

- Implementa o *padrão de desenvolvimento MVC (Model-View-Controller)*. Este isola a lógica da aplicação da lógica de apresentação, permitindo que sejam testados e/ou modificados separadamente, diminuindo o tempo de desenvolvimento e possibilitando melhor reaproveitamento de código.
- Biblioteca orientada a objetos que permite fácil extensão e reaproveitamento de código.
- Abstração de banco de dados permite automatizar operações comuns de banco de dados assim como diminui o impacto de mudanças no modelo.
- Automatização de operações de AJAX e Json, facilitando a tarefa de integração com a API de manipulação de dados espaciais OpenLayers®.
- Framework é mantido pela mesma empresa responsável pela linguagem PHP, o que a torna muito popular, facilitando manutenção futura.

Além da linguagem PHP utilizada no desenvolvimento da aplicação, foram utilizadas algumas outras API's de código aberto com o intuito de melhorar a navegação por parte do usuário e proporcionar o uso de mapas. São elas:

- Openlayers: (<http://openlayers.org>) Conjunto de ferramentas de código aberto, disponibilizada como uma API javascript, para visualização e manipulação de dados geográficos baseados nos padrões OGC.
- JQuery: (<http://jquery.org>) Trata-se de uma das mais poderosas API's JavaScript da atualidade. Possui código aberto e sua utilização é livre. O objetivo principal do JQuery é fornecer uma experiência de navegação web moderna e prática baseada nos conceitos do AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*)

4.8. RESTRIÇÃO DE ACESSO E SEGURANÇA

Para garantir a segurança dos dados e o adequado controle dos projetos, foi implementado um sistema de verificação de usuário. O usuário é identificado pelo seu e-mail e senha. Logo ao entrar no sistema, o usuário será solicitado a escolher em qual projeto deseja trabalhar. Dessa forma, ele poderá trabalhar em qualquer projeto que esteja cadastrado.

A definição de permissões de acesso, de cadastro de usuários, projetos e subprojetos é feita no próprio sistema por um usuário administrador. O sistema permite que um usuário esteja cadastrado em diversos projetos, no entanto, deverá pertencer a um único subprojeto.

Embora ainda não implementado na atual versão, propõe-se a implantação de versionamento no banco de dados, isso quer dizer que uma vez cadastrados, os dados permanecem versionados no sistema, dessa forma, mesmo que alguém consiga acessar a conta de um usuário e fazer grandes mudanças ou mesmo excluir massivamente os dados, estes poderão ser recuperados pelo administrador do sistema através de restituição de versão.

É importante observar que todos os dados do projeto são aninhados em seus subprojetos, e sempre relacionados a um usuário cadastrado no subprojeto em questão. Caso um projeto não possua subprojetos, deverá ser criado um com a área total do projeto para que se iniciem os trabalhos.

4.9. CADERNETA DIGITAL

Para oferecer maior usabilidade ao conceito tecnológico planejado, foi desenvolvida uma aplicação para dispositivos móveis (*tablets* e celulares) equipados com sistema operacional *Android*[®].

A funcionalidade básica do sistema móvel é oferecer uma ferramenta a ser usada em trabalhos de campo de mapeamento geológico. O aplicativo permite o cadastro de afloramentos e sua posterior sincronização com o banco de dados central.

Os dados inseridos no banco de dados através desse tipo de aplicativo recebem o rótulo de não validados, isto é, os dados são colocados a parte no sistema até que sejam validados através do sistema Web.

Por questões de viabilidade, o sistema trabalha atualmente desconectado, isto é, os dados são cadastrados na memória do celular e, posteriormente, são sincronizados no banco de dados central. Para garantir que os afloramentos tenham um identificador único, os afloramentos possuem um identificador incremental e o nome dado aos afloramentos recebe o seguinte tratamento:

- *Identificador do sistema móvel*: sigla do projeto + ID do subprojeto
- *Identificador na plataforma Web*: identificador do sistema móvel + ID incremental do banco (Caso o afloramento tenha sido inserido direto pela plataforma web ou por ETL, o sistema se responsabilizará por gerar o identificador simulando o do sistema móvel)

A utilização do sistema móvel em sua primeira versão segue um fluxo simplificado (Figura 17) que busca garantir a segurança dos dados. Inicialmente todas as informações são armazenadas em um banco de dados local (Sqlite), quando o usuário desejar atualizar o banco de dados do projeto com os novos afloramentos coletados, será gerado um arquivo de extensão CSV (*comma-separated values*). Uma vez gerado o arquivo, o usuário deverá usar a plataforma web para fazer *upload* do mesmo e atualizar o banco de dados.

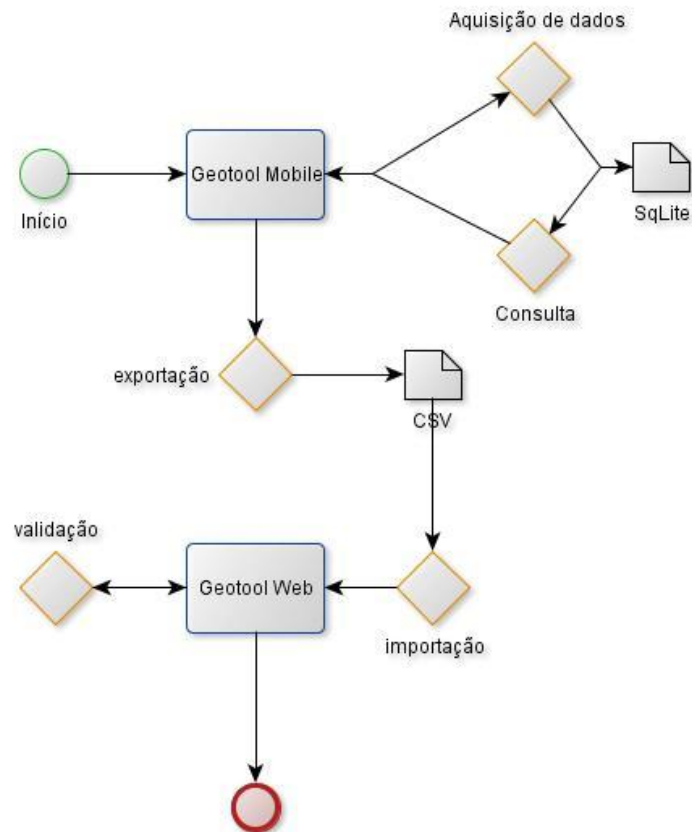


FIGURA 17 - FLUXO METODOLÓGICO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

4.10. FUNCIONALIDADES

A aplicação deve permitir o cadastro de afloramentos com os seguintes atributos:

- Nome, descrição e toponímia
- Dados de posicionamento
- Litotipos e medidas
- Fotos

O sistema também deve coletar informações de localização automaticamente através do GPS do aparelho, caso ele possua. As informações de latitude e longitude serão sempre referenciadas pelo sistema WGS84, a fim de se padronizar a espacialização dos dados.

Na coleta de medidas o sistema deve fazer uso do clinômetro e acelerômetro do aparelho a fim de automatizar a coleta das medidas.

A aplicação deve permitir o cadastro de vários litotipos relacionados a um afloramento e permitir a entrada de várias medidas relacionadas ao afloramento, inclusive armazenando o tipo, a hierarquia e a cinemática (quando necessário).

O usuário deve ser capaz de coletar fotos diretamente do aparelho e relacioná-las ao afloramento, descrevendo-as.

A navegabilidade proposta segue o padrão adotado pelo sistema Operacional *Android*[®], apresentando-se sempre com o mínimo possível de telas e com uma navegação simples e intuitiva.

Outro aspecto importante com relação à interface do aplicativo é o fato de suas funções terem sido pensadas em cima dos requisitos levantados anteriormente para a aplicação Web. A idéia é que se tenham dois ambientes, que embora distintos, possuam semelhanças funcionais.

A simplicidade da aplicação possui o intuito de deixar o aplicativo leve e consumindo o mínimo de tempo e esforço dos usuários. Tais fatores podem ser decisivos no sucesso do uso da aplicação em larga escala.

5. PROCESSO DE TRABALHO

A forma que conhecemos e estamos habituados a adquirir e manipular dados não tem mudado muito ao longo dos anos. Mesmo com a introdução de novas tecnologias de levantamento de dados e com a evolução das ferramentas de SIG, os dados continuaram sendo coletados de acordo com a individualidade de cada profissional, e armazenados também de forma individualizada.

Embora venha funcionando por muito tempo, esse tipo de metodologia de trabalho tem se mostrado bastante defasada, apresentando grandes problemas no que se refere à disponibilidade e integridade dos dados.

Para que se obtenha sucesso com os produtos apresentados nesse trabalho, é primordial repensar o fluxo metodológico usado até hoje, propondo uma metodologia nova de trabalho, ou ao menos adaptações que viabilizem o sucesso da ferramenta e da proposta defendida.

5.1. FLUXO DE TRABALHO (PROCESSO)

Todo o trabalho de mapeamento temático, como é o caso do mapeamento geológico, passa ao menos pelas etapas de aquisição, manipulação e publicação dos dados. Junto a cada uma dessas etapas existe uma série de processos de trabalho já consagrados.

A etapa de aquisição de dados é tradicionalmente conhecida como a etapa de campo, onde o geólogo realiza anotações através de uma caderneta de campo, coleta amostras e realiza medidas através de uma bússola de geólogo. Ao chegar do campo o geólogo irá transcrever todos os dados coletados para um ambiente de SIG onde possa manipular os dados e interpretar a informação geológica com auxílio de outras ferramentas.

O processo proposto aqui, conforme a Figura 20, não pretende mudar o fluxo básico de trabalho já conhecido, mas adaptá-lo ao uso das novas ferramentas e torná-lo o mais eficiente possível.

5.2. PREPARAÇÃO DO PROJETO

Antes que se inicie o mapeamento geológico propriamente dito, é necessário que sejam realizadas as etapas de planejamento. Inicialmente deve ser criado um novo projeto pelo administrador do sistema (Figura 18) que definirá as informações básicas do projeto tais como a área do projeto, a quantidade e a distribuição espacial dos grupos (Figura 19), a composição dos grupos e as camadas de imagens e mapas que estarão disponíveis para serem utilizadas no trabalho.

The screenshot shows a web interface for creating a project. At the top, there is a header for 'Universidade de Brasília' with a 'Logout' button. Below the header is a navigation bar with 'Menu', 'Administração', and 'Mapa' options. The main content area is titled 'TF2008 (Rodrigo e Felipe)' with a 'mudar de projeto' button. The main form is titled 'Formulário de projetos' and includes the following fields:

- Nome:** A text input field.
- Sigla:** A text input field.
- Referência espacial:** A dropdown menu currently showing '4326 - wgs84 / LongLat'.
- Data de início:** A text input field.
- Instituição:** A text input field.
- Observação:** A large text area for notes.

At the bottom of the form, there are two buttons: 'Enviar Dados' on the left and 'Cancelar' on the right.

FIGURA 138 - TELA DE CRIAÇÃO DE PROJETOS

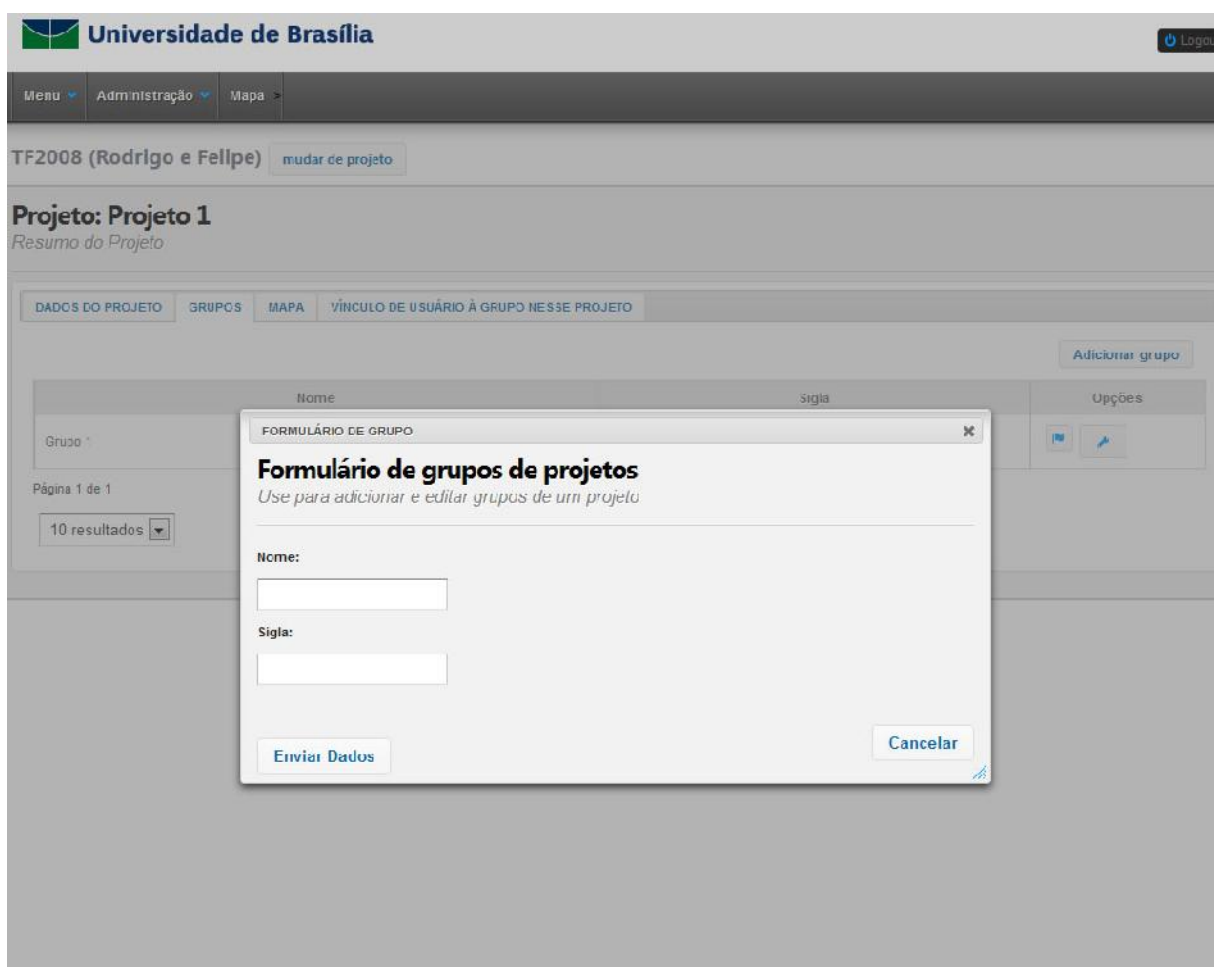


FIGURA 19 - TELA DE ADIÇÃO DE NOVOS GRUPOS AO PROJETO

5.3. AQUISIÇÃO DE DADOS

Uma vez que tenham sido criados projeto e grupos, a próxima etapa, assim com o processo tradicional de mapeamento, é a aquisição de dados feita através do trabalho de campo.

Antes de iniciar a atividade de campo o usuário deverá efetuar seu primeiro acesso na ferramenta instalada em seu dispositivo móvel. Para isso ele deverá estar conectado a internet e fornecer seu nome de usuário e senha. Ao concluir essa etapa, o usuário já estará apto a iniciar a coleta de dados.

Os dados serão coletados em cada investida de campo e armazenados na memória do dispositivo. Sempre que possível, recomenda-se que o usuário faça backup dos dados armazenados e faça a carga desses dados para o banco de dados central do projeto através da interface web.

Ao final do trabalho de mapeamento todos os dados deverão estar sincronizados com o servidor.

5.4. MANIPULAÇÃO DOS DADOS

A partir da coleta de campo, é iniciado o tratamento dos dados e a produção cartográfica do mapa geológico.

Nessa etapa são registrados todos os resultado laboratoriais feitos sobre as amostras coletadas em campo. Tais resultados são determinantes para definir as unidades geológicas do trabalho. A medida que os resultados laboratoriais vão sendo inseridos no sistema, o trabalho de delimitação de contatos e estruturas vai sendo desenvolvido em paralelo através da interface web, onde cada grupo vai trabalhando colaborativamente.

Uma vez que todos os dados já estão validados e os contatos devidamente traçados, passa-se à etapa de fechamento de contatos, onde os grupos trabalham juntos no sistema a fim de compatibilizar as interpretações individuais de cada grupo. Ao final do processo de fechamento de contatos, o sistema se responsabilizará por executar o algoritmo de detecção de unidades geológicas, aonde os contatos vão sendo transformados em polígonos que representam as unidades geológicas.

Para que o sistema possa interpretar os contatos e transformá-los em unidades geológicas, alguns afloramentos devem ser apontados no sistema como “controle”. Isso indica que o afloramento assinalado representa a unidade geológica da área em que está contido. Dessa forma, ao se gerar os polígonos, o sistema busca pelos afloramentos de controle e atribui a cada polígono uma unidade geológica representada pelo afloramento contido em seu interior.

A última etapa do processo é representada pela validação por parte dos geólogos do resultado dos polígonos gerados, podendo nesse momento manipular as unidades geológicas geradas automaticamente. Feito o trabalho de validação os dados já podem ser publicados para o público em geral.

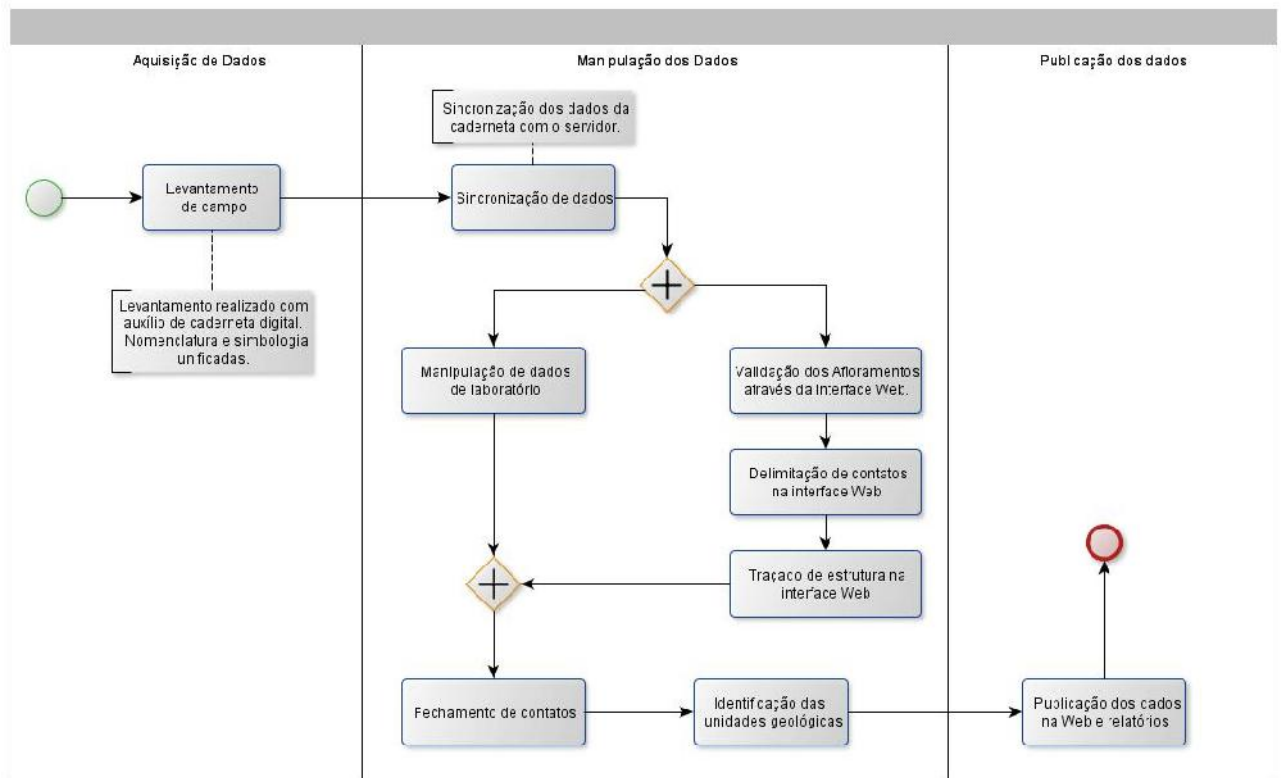


FIGURA 20 - PROCESSO DE TRABALHO PROPOSTO

5.5. PUBLICAÇÃO DOS DADOS

Após a validação de consistência e integração dos dados de um projeto, esses dados deverão ser carregados em um banco de dados de produção que estará disponível para consumo através dos padrões internacionais de interoperabilidade.

5.6. PROCEDIMENTO DE ETL

Em muitos casos onde se deseja inserir informações espaciais já existentes no modelo, é necessária a realização de um processo de ETL (*Extract, Transform and Load*). Esse procedimento será usado também para validar o banco de dados e as ferramentas produzidas nesse trabalho. Nesse procedimento, toda uma base de dados tradicional armazenada em arquivos do tipo *shapefile* foi validada, normalizada e carregada no banco de dados (Figura 21).

Existe no mercado uma grande variedade de ferramentas de ETL, algumas delas carregando funcionalidades de ETL espacial. Tais ferramentas são capazes não só de carregar os dados entre diversos formatos, mas também de manipular a informação, cruzar dados e gerar novas informações. Dentre as ferramentas mais modernas e poderosas em se tratando de ETL espacial, estão o FME (<http://www.safe.com/fme>), software proprietário que permite a interoperabilidade de dados entre mais de 250 formatos, e o GeoKettle (<http://www.spatialytics.org/projects/geokettle>), ferramenta de ETL espacial *opensource* com diversas operações topológicas e espaciais integradas.

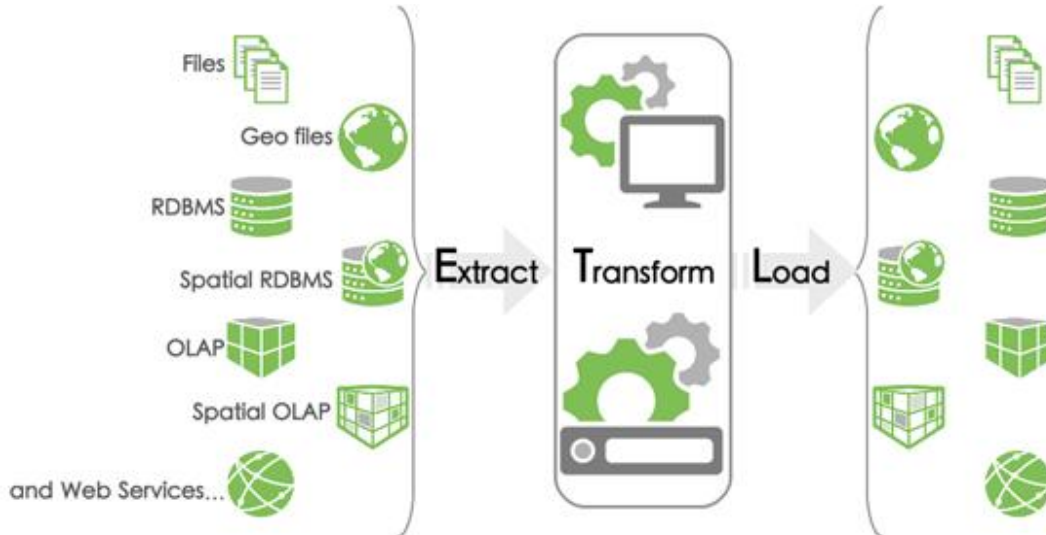


FIGURA 21 - ESQUEMA GERAL DE UM PROCESSO DE ETL ESPACIAL. (FONTE: [TTP://SPATIALYTICS.ORG/PROJECTS/GEOKETTLE](http://SPATIALYTICS.ORG/PROJECTS/GEOKETTLE))

Apesar do grande poder das ferramentas de ETL apresentadas, e mesmo tendo consciência que estas poderiam realizar tais procedimentos de forma rápida e confiável, optou-se por realizar os procedimentos manualmente através da biblioteca *Gdal* (http://www.gdal.org/index_br.html) e através de comandos SQL (*Structured Query Language*). O objetivo maior em se efetuar manualmente as operações de carga, foi o de dominar melhor os processos e agregar mais conhecimento ao produto final.

Para que se torne possível a manipulação e transformação dos dados em nível de banco de dados, diversas funções espaciais disponíveis no cartucho espacial *Postgis* foram utilizadas.

O processo apresentado na Figura 22 reflete as etapas realizadas no processo de carga de dados, e é o mesmo procedimento que deverá ser repetido sempre que esse tipo de carga seja demandada.

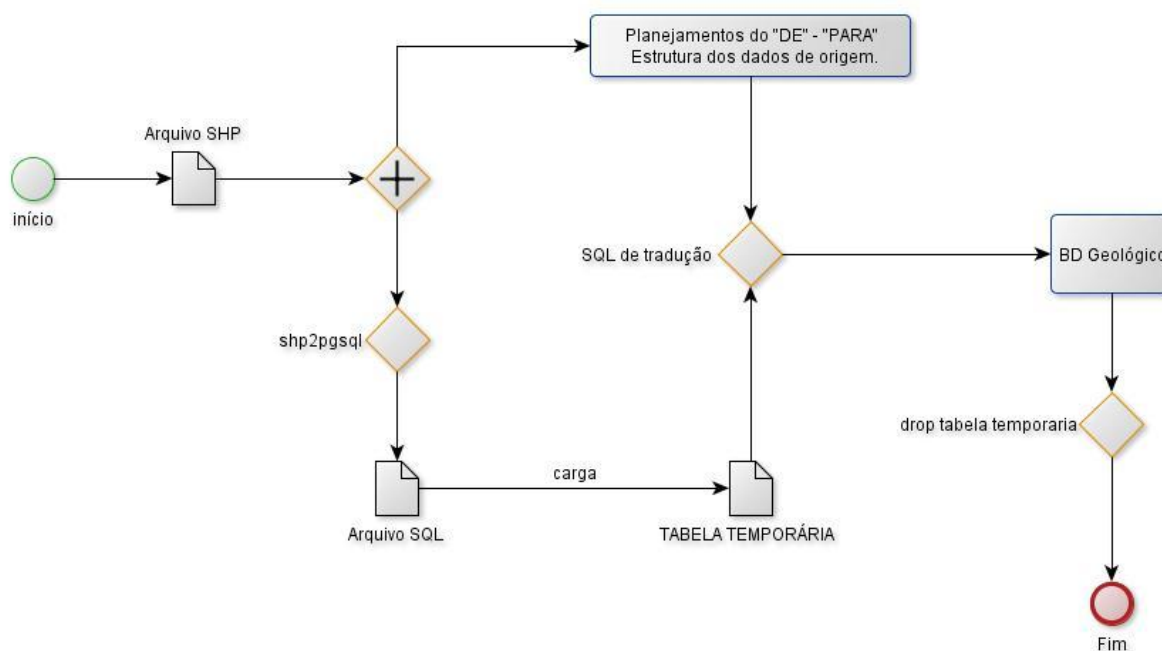


FIGURA 22 - PROCESSO DE ETL GERAL UTILIZADO NO PROJETO

Conforme apresentado na Figura acima, o processo de carga se inicia sempre a partir de um arquivo de formato *shapefile*. Esse arquivo é transformado em linguagem SQL através de um pequeno aplicativo disponibilizado pelo próprio Postgis, o Shp2pgsql. Uma vez que se tenha

gerado o arquivo SQL, o código é executado em ambiente de banco criando-se uma tabela temporária.

A próxima etapa do processo é conhecida como “De – Para”, que nada mais é que se conhecer a tabela de entrada e a de destino identificando os dados que serão levados ao modelo e os dados que necessitam de transformações e correções.

Uma vez que se tenha entendido o processo para se realizar a carga dos dados para o modelo final, é criado um código SQL que será responsável por efetivar a carga de dados.

6. TESTES E RESULTADOS

A etapa de testes foi dividida em três, sendo a primeira referente ao modelo de dados e ao banco de dados em si, a segunda à verificação da carga de dados realizada, a terceira aos algoritmos que irão garantir a consistência topológica dos dados e a quarta aos testes de usabilidade e desempenho dos sistemas.

6.1. PRIMEIRA ETAPA DE TESTES – BANCO DE DADOS

Na primeira etapa de testes buscou-se validar a consistência do modelo de banco de dados proposto e a eficiência do SGBD empregado (PostgreSQL). É importante observar que a consistência tratada aqui não diz respeito apenas à consistência relacionada às restrições de integridade, mas também no que diz respeito à informação geológica, ou seja, a capacidade do banco armazenar os dados na sua totalidade sem perdas conceituais e sem redundância.

Para verificar a consistência do banco de dados foram necessários alguns pontos de análise:

- Verificação das restrições de Integridade: Para se realizar essa etapa foram realizados diversos comandos de “*inserts*” no banco, sempre com alguma chave errada buscando verificar a integridade de todos os relacionamentos. Caso algum erro seja encontrado, volta-se ao modelo lógico para se analisar o problema.
- Busca de possíveis pontos de redundância: A busca de redundância no banco de dados relacional é feita através da análise do próprio modelo lógico do banco. Geralmente a redundância é gerada pela ausência de alguma tabela de tradução que poderia evitar a repetição de alguma informação.
- Verificação da integridade espacial: Essa restrição é feita pelo próprio SGBD, sendo que ele deve garantir que os dados espaciais inseridos não possuam erro de geometria e que estejam no mesmo sistema de referência declarado para a tabela em que se deseja inserir dados. Essa verificação também foi feita através

de comandos de “*inserts*” nas tabelas espaciais, sempre passando SRID (*Spatial Reference System Identifier*) errados ou geometrias erradas.

6.2. SEGUNDA ETAPA DE TESTES - CARGA DE DADOS JÁ EXISTENTES

Para testar tanto o modelo de dados quanto os algoritmos de topologia e a aplicação de gerência de projeto, foi selecionado um trabalho de graduação já concluído do Instituto de Geociências da UnB.

O intuito de se testar o sistema com base em dados reais, é o de se detectar problemas topológicos comuns nesse tipo de trabalho, bem como compreender melhor a sistemática e as peculiaridades de um projeto de mapeamento geológico com múltiplos usuários.

Vale ressaltar que os dados a serem usados nos processos de carga dos dados foram obtidos de um trabalho anterior, o qual, naquele momento, não seguiu a metodologia sugerida no escopo deste trabalho. Dessa forma, essa etapa da metodologia representa também o procedimento para se alimentar o banco de dados com informações já existentes ou derivadas de um trabalho de campo analógico, e deverá ser utilizado sempre que se fizer necessário.

6.3. DADOS UTILIZADOS

A área de estudo utilizada diz respeito ao Trabalho Final dos formandos em Geologia do ano de 2008, tendo recebido a designação de Projeto Mozarlândia.

O Projeto constituiu-se de quinze áreas variando entre 140 e 200 Km², totalizando uma área de aproximadamente 2.351 Km². Localiza-se na porção noroeste do estado de Goiás, perto da divisa com Mato Grosso abrangendo pelo menos três municípios do Estado de Goiás: Mozarlândia, Crixás e Araguapaz (Figura 23). Teve como base a cidade de Mozarlândia que fica a 412Km de Brasília e a 297 Km de Goiânia.

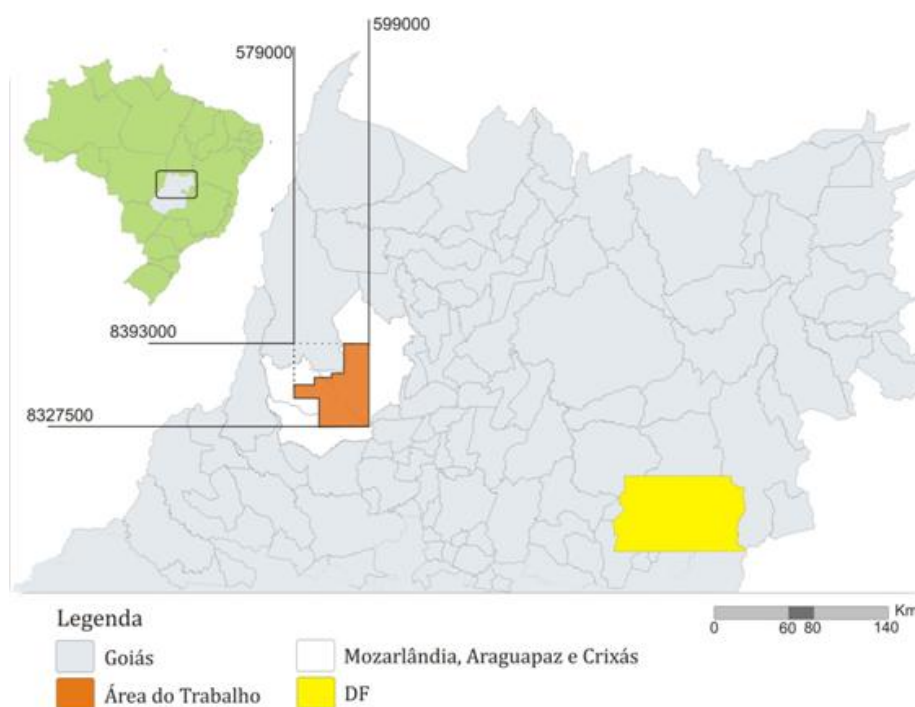


FIGURA 23 - POSICIONAMENTO DO PROJETO MOZARLÂNDIA

A área estudada está inserida no contexto geológico da Província Tocantins (Almeida 1977), porção central do Brasil, representando um orógeno de grandes dimensões de idade neoproterozóica, desenvolvido no Ciclo Brasileiro, quando ocorreu a aglutinação do Gondwana ocidental, num evento colisional envolvendo três importantes áreas cratônicas: o Cráton Amazônico a noroeste, o Cráton do São Francisco (CSF) a leste e o suposto Cráton do Paranapanema encoberto pela bacia do Paraná a sul.

Esta província é composta pelas Faixas Dobradas Araguaia, Paraguai e Brasília. As Faixas de Dobramentos Araguaia e Paraguai localizam-se na porção oeste da Província Tocantins, bordejando as margens leste e sul do Cráton Amazônico.

6.4. VALIDAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE ETL

Uma vez que os dados tenham sido levados ao banco de dados, faz-se necessário a realização de uma serie de testes junto aos dados para verificar se o modelo utilizado atende o escopo do trabalho e garante de forma plena a consistência dos dados.

Para executar essa etapa, são propostos alguns passos:

- Cruzamento espacial dos dados originais com os importados para o banco através do uso de software de SIG Desktop. Essa etapa nos garante que as geometrias inseridas no banco não foram corrompidas e que não houve algum tipo de deslocamento em virtude de possíveis diferenças de parametrização nos sistemas de referências.

Essa conferência é realizada visualmente e não necessita de maiores detalhes, no entanto, deve ser executada sempre afim de se garantir que os dados espaciais foram corretamente armazenados em banco.

- Conferência por amostragem aleatória dos dados e metadados das diversas camadas de informação do banco.

É sempre interessante que essa etapa seja realizada manualmente para checar se todas as informações foram persistidas no banco de dados, caso alguma informação tenha se perdido, deve-se descartar a carga realizada e refazer o procedimento de ETL.

- Verificação nos documentos de erros dos procedimentos de ETL, a fim de se identificar possíveis problemas de relacionamentos ou transformações do processo.

6.5. TERCEIRA ETAPA DE TESTES – ALGORITMOS TOPOLÓGICOS

A segunda etapa busca testar o funcionamento de alguns algoritmos desenvolvidos. Alguns deles foram feitos buscando a geração de polígonos a partir de linhas, outros apenas para verificar se uma geometria está contida em outra. A seguir são apresentados alguns desses algoritmos. Os testes foram feitos analisando seus resultados e comparando com operações similares de softwares desktop.

6.5.1.1. AFLORAMENTOS CONTIDOS EM SEU PROJETO

Para se realizar esse operação foi utilizada a função “*ST_Union*” do postgis:

```
SELECT * from geom_afloramento ga, geom_grupo gg  
where ST_Contains(gg.geom, ga.geom)  
AND gg.id_geom_grupo = 15 ;
```

O resultado da consulta acima é então verificado, primeiro analisando se a quantidade de afloramentos está correta e depois se todos os afloramentos que estão sob a área pertencem de fato a ela. Operação semelhante a essa é realizada para verificar se os grupos estão contidos em seus projetos e se os lineamentos e estruturas estão contidos em seus grupos.

6.5.1.2. GRUPOS NÃO DEVEM SE CRUZAR E NEM SE SOBREPOR

Para se realizar essa operação foi utilizada a função “*ST_Crosses*” do postgis:

```
SELECT * from geom_afloramento ga, geom_grupo gg  
where ST_Crosses(gg.geom, ga.geom)  
AND gg.id_projeto = 3;
```

O resultado esperado é que não se retorne nada. Caso isso ocorra é porque nenhum grupo está se sobrepondo, o que corresponde à regra topológica definida para essa classe no modelo.

6.6. QUARTA ETAPA DE TESTES – SISTEMAS

A última etapa consiste em realizar testes sobre a camada de aplicação. As duas ferramentas desenvolvidas foram testadas por usuários externos buscando detectar falhas ou vulnerabilidades de segurança. Outro ponto analisado foi a usabilidade das ferramentas.

Os sistemas foram validados inicialmente de acordo com os requisitos propostos, sendo que todos os pontos do requisito foram atendidos. Logo após foram feitos testes buscando falhas nos sistemas. Alguns problemas de interface envolvendo as janelas de cadastro foram identificados e devem ser resolvidos em uma próxima versão.

Em outro ponto de análise, a navegabilidade, foi detectada a necessidade de uma página inicial do aplicativo web com explicações do projeto e manuais de utilização.

A navegabilidade do sistema web também deverá ser alterada de forma que o usuário possa realizar as tarefas de forma mais simples sem ter que ir de tela em tela até chegar onde deseja. Um exemplo desse problema aparece quando o usuário deseja inserir uma nova lâmina, por exemplo. Nesse caso o usuário tem de abrir o afluoramento desejado, em seguida abrir uma amostra desse afluoramento, e só então consegue inserir a nova lâmina. Essa navegação se mostrou demorada e deve ser reavaliada para uma próxima versão.

7. CONCLUSÕES

Diante dos imensos 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 banco de dados, observa-se que a ferramenta escolhida para a implantação, o PostgreSQL, é suficientemente madura e estável para acolher grandes bancos de dados como o que se propõe 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 passo inicial muito importante na introdução de uma nova cultura de armazenamento de dados dentro da instituição.

Apesar de avanços na construção de alguns algoritmos de topologia que eram propostos para garantir algumas etapas do processo, fazem-se 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. Esse deveria ser capaz de gerar os polígonos que representam as unidades geológicas a partir dos cruzamentos entre os contatos traçados no projeto. No entanto, mesmo após vários testes, nenhum dos algoritmos implementados foi capaz de responder plenamente, chegando, no máximo, a cerca de 40% de sucesso.

As aplicações desenvolvidas para a gestão dos dados geológicos responderam positivamente aos testes aos quais foram submetidas. Foram detectados, no entanto, alguns problemas de usabilidade na ferramenta web que devem ser corrigidos antes que o sistema entre em produção. Dentre esses problemas, destaca-se a ausência de uma interface mais centrada no mapa, o que daria ao geólogo maior facilidade na avaliação dos dados e proporcionaria um ambiente de trabalho mais próximo dos ambientes desktop utilizados atualmente.

Conclui-se, portanto, que embora muito extenso, o processo de aquisição e manipulação de dados geológicos proposto foi desenvolvido adequadamente, e já responde minimamente às necessidades da comunidade acadêmica, sobretudo no que diz respeito aos trabalhos acadêmicos de graduação e pós-graduação. O Banco de dados 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 projeto de interoperabilidade como o GeoSciML (<https://www.seegrid.csiro.au/>).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F. F. M. De; Hasui, Y.; Neves, B. B. de B. & Fuck, R. A. 1977. *Províncias Estruturais Brasileiras*. Atas do Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande - PB. pp 363-391.

Alves, M. B.; Arruda, S. Como Fazer Referências: bibliográficas, eletrônicas e demais formas de documentos. Disponível em <<http://bu.ufsc.br/framerefer.html>>. Acesso: 15 abril 2002.

Bonham-Caster, G. F. - 1994. *Geographic Information System for Geoscientists - Modelling with GIS*. Computer Methods in Geosciences Vol. 3

Borges, K.A.V. Modelagem de Dados Geográficos – Uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas. 139pp. Escola de Governo João Pinheiro. Belo Horizonte – MG. 1997.

Borges, K. A. V., Davis Jr., C. A., Laender, A. H. F., Medeiros, C. B. Ontology-driven discovery of geospatial evidence in Web pages. *Geoinformatica* (no prelo - disponível no sistema Springer Online First em 02/11/2010), 2010.

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., et al. Bancos de Dados Geográficos. Cap.3 – Modelagem Conceitual de Dados geográficos. Ed. Mundo Geo. Curitiba – PR, 506pp, 2005.

Burrough, P.A.; McDonell, R.; "Principles of Geographical Information Systems". Oxford, Oxford University Press, 1998. 200pp

Câmara, G.; Davis.C.; Monteiro, A.M.; Paiva, J.A.C.; D'Alge, J.C. " Geoprocessamento:Teoria e Aplicações". Curso on-line, INPE 1999.

Câmara, Gilberto, DAVIS, Clodoveu e MONTEIRO, A. Miguel V. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: DPI/INPE, 2001.

Câmara, G. Bancos de Dados Geográficos. Cap.1 – Representação Computacional de Dados geográficos. Ed. Mundo Geo. Curitiba – PR, 506pp, 2005.

- Câmara, Gilberto. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. São José dos Campos, SP: INPE (Tese de Doutorado). 1995.
- Cintra, J. P., GPS & GIS: Integração geométrica. In: XVII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, Anais. pp. 88-98, 1997.
- De Mendonça, Schmidt, Delazari. Publicação de mapas na web: abordagem cartográfica com uso de tecnologias de código aberto. *bcg* vol. 15, No 1 (2009) .
- Edward H. Isaaks, R. Mohan Srivastava. *Applied Geostatistics*. Oxford. Oxford University Press, 592pp., 1990.
- Elmasri, R. & Navathe, S. B. *Sistemas de Bancos de Dados*. 4ª Ed. Pearson Addison Wesley, São Paulo – SP. 724pp, 2005.
- Fialovszky, L. *Surveying Instruments and their operational principles*. New York, Elsevier, 1991. 550p.
- Goodchild, M.; Kemp, K. *NCGIA Core curriculum: technical issues in GIS*. National Center for Geographic Information and Analysis. Santa Barbara: University of California, 1991.
- Goodchild, Michael F. Geographical data modeling. *Computers & Geoscience*, London, v.18, n.4, pp. 401-408, 1992
- Harrower, M. A look at the history and future of animated maps. In: *Cartographica* n. 39 (3): 2004. pp. 33-42.
- Jesper Møller. *Spatial Statistics and Computational Methods*. New York. Springer Verlag. 216pp, 2006.
- Lange, A. Accuracy Specifications Affect Application Success. *GIS World*, v.10, n. 10, pp. 32, Oct. 1997a.
- Lange, A. Which GPS Processing Technique is Right for You? *GIS World*, v.10, n. 8, p. 58, Aug. 1997b.
- Limp, W.F. Web mapping In: *GeoWorld* n. 15; pp. 30–32. 2002.
- Lisle, R. J., *Geological Structures and Maps: A Practical Guide*. Butterworth-Heinemann, 150pp, 3ª edição. 2004.

Machado, F.B.; Moreira, C.A.; Zanardo, A; Andre, A.C.; Godoy, A.M.; Ferreira, J. A.; Galembeck, T.; Nardy, A.J.R.; Artur, A.C.; Oliveira, M.A.F.de. Atlas de Rochas. [on-line]. ISBN: 85-89082-12-1. URL: <http://www.rc.unesp.br/museudpm>. Arquivo capturado em 28 de Junho de 2011.

Maltman, A., Geological Maps, John Wiley & Sons, (2nd Edit.), 260 pp., 1998.

Mikhail Kanevski & Michel Maignan. Analysis and modelling of spatial environmental data. New York. EPFL-Press 304p, 2004.

Mitchel, A., The ESRI Guide to GIS Analysis. Volume 2: Spatial measurements & Statistics; ESRI press. 238pp, 1995.

Mitchel, A., The ESRI Guide to GIS Analysis. Volume 1: Spatial measurements & Statistics; ESRI press. 238pp, 2005.

Nhu D. Le, James V. Zidek. Statistical Analysis of Environmental Space-Time Processes. New York. Springer Verlag 341pp, 2006

Peterson, M. P., The Internet and Multimedia Cartography. In: CARTWRIGHT, W.; Peterson, M. P.; Gartner, G. Multimedia Cartography. 2a ed. Berlin: Springer-Verlag, 546 pp., pp35-50; 2007.

Richard J. Lisle, Geological Structures and Maps a practical guide, 1995-2004.

Rumbaugh, J. et al. Object-Oriented Modeling and Design. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.

Russell G. Congalton H. Todd Mowre. Quantifying Spatial Uncertainty in Natural Resources: Theory and Applications for GIS and Remote Sensing. Sleeping Bear Software. 2000

Shoji T., Chung C.-J. (ed). Spatial Modeling for Environmental and Hazard Management. Elsevier. Volume 32, Issue 8: 230 pp, 2005.

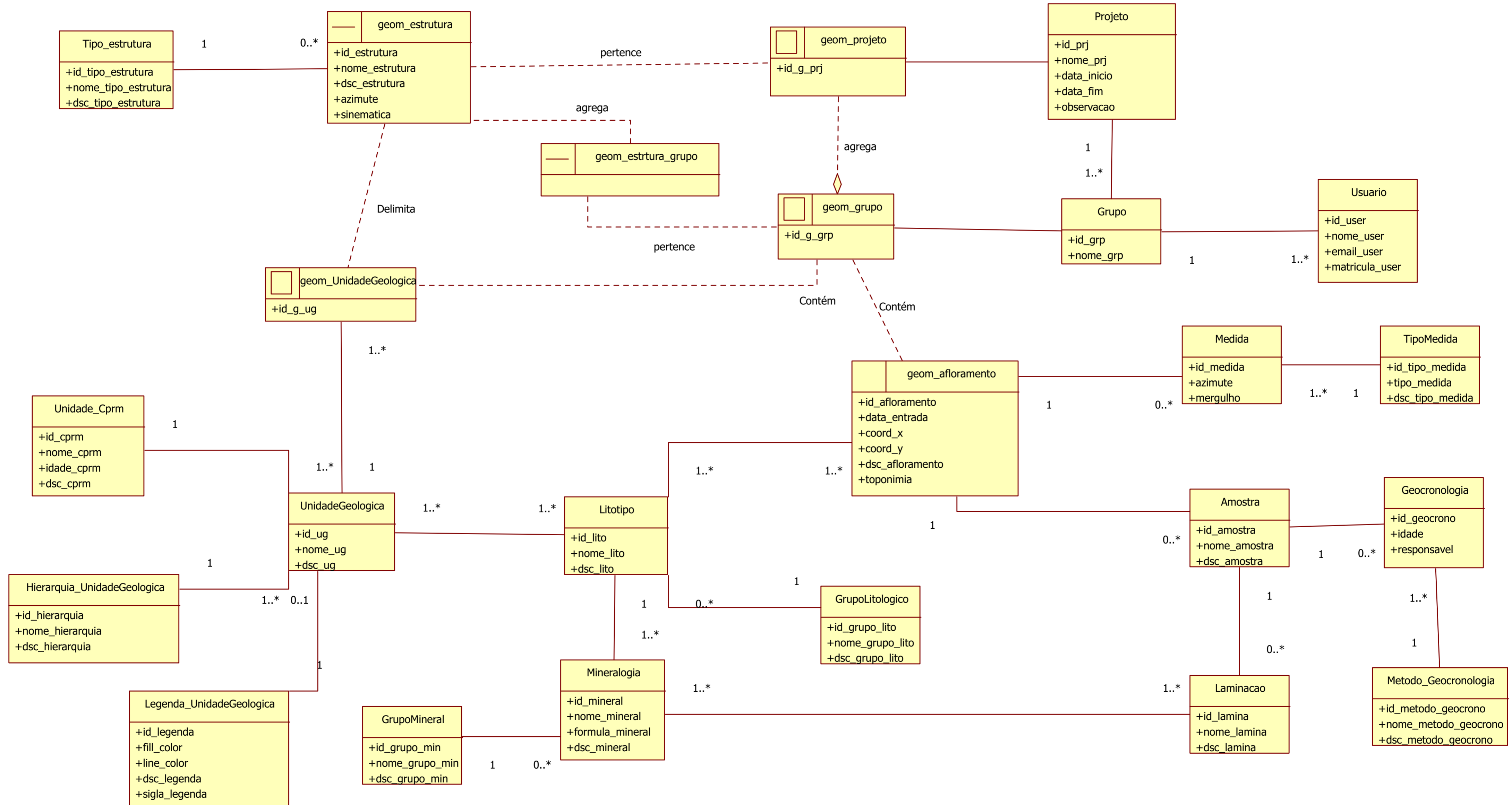
Silva, A; B.. Sistemas de Informações Geo-referenciadas, conceitos e fundamentos. São Paulo: UNICAMP, 156pp, 1999

Vera Pawlowsky-Glahn and Ricardo A. Olea. Geostatistical Analysis of Compositional Data. London. Oxford University Press, 304pp, 2004

Worboys, M.; Duckham, M. GIS A Computing Perspective Second Edition. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 426pp, 2004.

ANEXO 1

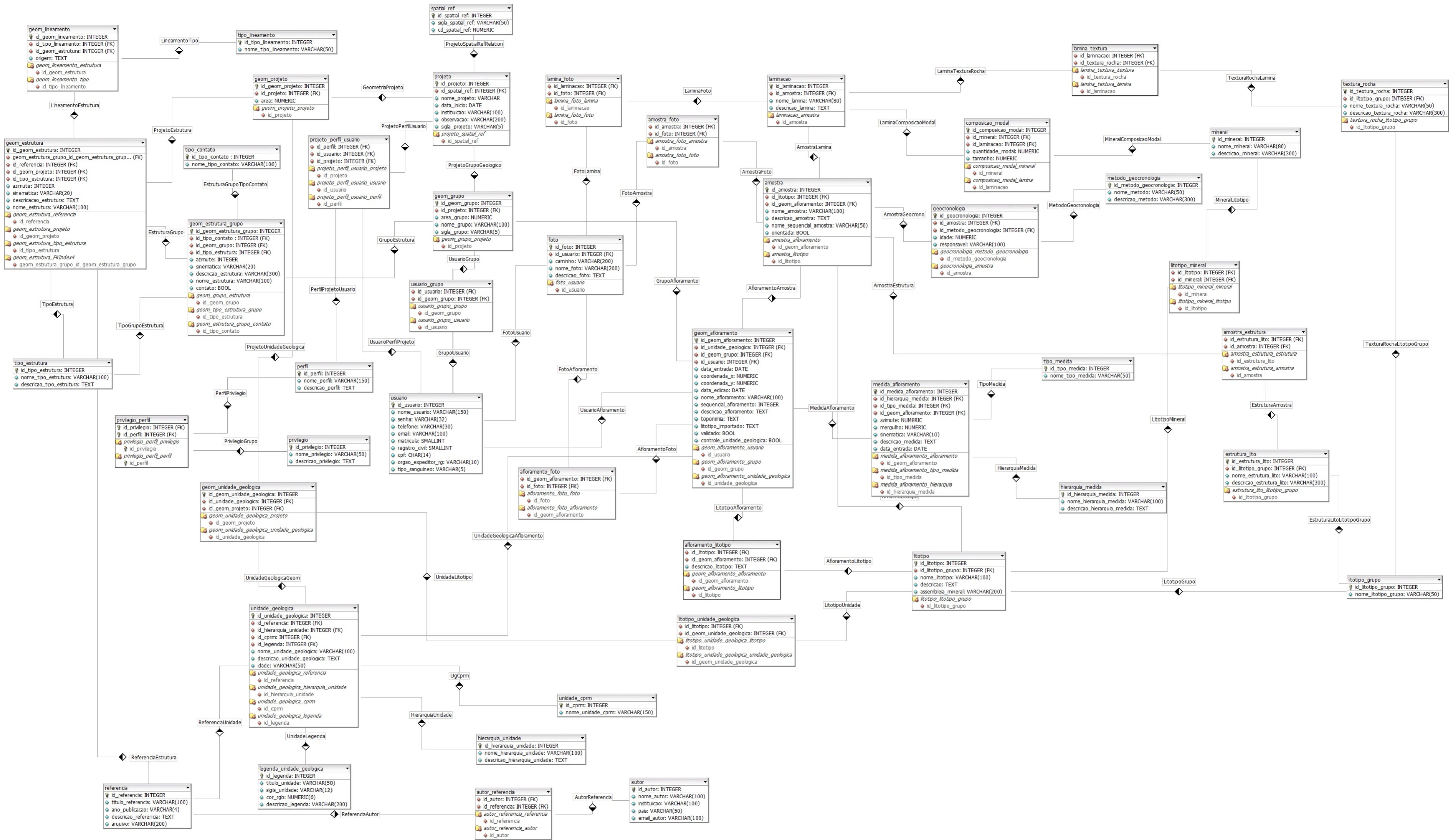
Modelo OMTG



Modelo conceitual OMTG

ANEXO 2

Modelo Lógico do banco de dados



Modelo Lógico do Banco de Dados

ANEXO 3

Dicionário de dados do banco de dados

afloramento_foto		
id_geom_afloramento	INTEGER	
id_foto	INTEGER	

afloramento_litotipo		
id_litotipo	INTEGER	
id_geom_afloramento	INTEGER	
descricao_litotipo	TEXT	

amostra		
id_amostra	INTEGER	PK
id_litotipo	INTEGER	
id_geom_afloramento	INTEGER	
nome_amostra	VARCHAR(100)	
descricao_amostra	TEXT	
nome_sequencial_amostra	VARCHAR(50)	
orientada	BOOL	

amostra_estrutura		
id_estrutura_lito	INTEGER	
id_amostra	INTEGER	

amostra_foto		
id_amostra	INTEGER	
id_foto	INTEGER	

autor		
id_autor	INTEGER	PK
nome_autor	VARCHAR(100)	
instituicao	VARCHAR(100)	
pais	VARCHAR(50)	
email_autor	VARCHAR(100)	

autor_referencia

id_autor	INTEGER	
id_referencia	INTEGER	

composicao_modal

id_composicao_modal	INTEGER	PK
id_mineral	INTEGER	
id_laminacao	INTEGER	
quantidade_modal	NUMERIC	
tamanho	NUMERIC	

estrutura_lito

id_estrutura_lito	INTEGER	PK
id_litotipo_grupo	INTEGER	
nome_estrutura_lito	VARCHAR(100)	
descricao_estrutura_lito	VARCHAR(300)	

foto

id_foto	INTEGER	PK
id_usuario	INTEGER	
caminho	VARCHAR(200)	
nome_foto	VARCHAR(200)	
descricao_foto	TEXT	

geocronologia

id_geocronologia	INTEGER	PK
id_amostra	INTEGER	
id_metodo_geocronologia	INTEGER	
idade	NUMERIC	
responsavel	VARCHAR(100)	

geom_afloamento (Polígono)		
id_geom_afloamento	INTEGER	PK
id_unidade_geologica	INTEGER	
id_geom_grupo	INTEGER	
id_usuario	INTEGER	
data_entrada	DATE	
coordenada_x	NUMERIC	
coordenada_y	NUMERIC	
data_edicao	DATE	
nome_afloamento	VARCHAR(100)	
sequencial_afloamento	INTEGER	
descricao_afloamento	TEXT	
toponimia	TEXT	
litotipo_importado	TEXT	
validado	BOOL	
controle_unidade_geologica	BOOL	

geom_estrutura (Linha)		
id_geom_estrutura	INTEGER	PK
geom_estrutura_grupo_id_geom_estrutura_grupo	INTEGER	
id_referencia	INTEGER	
id_geom_projeto	INTEGER	
id_tipo_estrutura	INTEGER	
azimute	INTEGER	
sinematica	VARCHAR(20)	
descricao_estrutura	TEXT	
nome_estrutura	VARCHAR(100)	

geom_estrutura_grupo (Linha)		
id_geom_estrutura_grupo	INTEGER	PK
id_tipo_contato	INTEGER	
id_geom_grupo	INTEGER	
id_tipo_estrutura	INTEGER	
azimute	INTEGER	
sinematica	VARCHAR(20)	
descricao_estrutura	VARCHAR(300)	
nome_estrutura	VARCHAR(100)	
contato	BOOL	

geom_grupo (Polígono)		
id_geom_grupo	INTEGER	PK
id_projeto	INTEGER	
area_grupo	NUMERIC	
nome_grupo	VARCHAR(100)	
sigla_grupo	VARCHAR(5)	

geom_lineamento (Linha)		
id_geom_lineamento	INTEGER	PK
id_tipo_lineamento	INTEGER	
id_geom_estrutura	INTEGER	
origem	TEXT	

geom_projeto (Polígono)		
id_geom_projeto	INTEGER	PK
id_projeto	INTEGER	
area	NUMERIC	

geom_unidade_geologica (Polígono)		
id_geom_unidade_geologica	INTEGER	PK
id_unidade_geologica	INTEGER	
id_geom_projeto	INTEGER	

hierarquia_medida		
id_hierarquia_medida	INTEGER	PK
nome_hierarquia_medida	VARCHAR(100)	
descricao_hierarquia_medida	TEXT	

hierarquia_unidade		
id_hierarquia_unidade	INTEGER	PK
nome_hierarquia_unidade	VARCHAR(100)	
descricao_hierarquia_unidade	TEXT	

lamina_foto		
id_laminacao	INTEGER	
id_foto	INTEGER	

lamina_textura		
id_laminacao	INTEGER	
id_textura_rocha	INTEGER	

laminacao		
id_laminacao	INTEGER	PK
id_amostra	INTEGER	
nome_lamina	VARCHAR(80)	
descricao_lamina	TEXT	

legenda_unidade_geologica		
id_legenda	INTEGER	PK
titulo_unidade	VARCHAR(50)	
sigla_unidade	VARCHAR(12)	
cor_rgb	NUMERIC(6)	
descricao_legenda	VARCHAR(200)	

litotipo		
id_litotipo	INTEGER	PK
id_litotipo_grupo	INTEGER	
nome_litotipo	VARCHAR(100)	
descricao	TEXT	
assembleia_mineral	VARCHAR(200)	

litotipo_grupo		
id_litotipo_grupo	INTEGER	PK
nome_litotipo_grupo	VARCHAR(50)	

litotipo_mineral		
id_litotipo	INTEGER	
id_mineral	INTEGER	

litotipo_unidade_geologica		
id_litotipo	INTEGER	
id_geom_unidade_geologica	INTEGER	

medida_afloramento		
id_medida_afloramento	INTEGER	PK
id_hierarquia_medida	INTEGER	
id_tipo_medida	INTEGER	
id_geom_afloramento	INTEGER	
azimute	NUMERIC	
mergulho	NUMERIC	
sinematica	VARCHAR(10)	
descricao_medida	TEXT	
data_entrada	DATE	

metodo_geocronologia		
id_metodo_geocronologia	INTEGER	PK
nome_metodo	VARCHAR(50)	
descricao_metodo	VARCHAR(300)	

mineral		
id_mineral	INTEGER	PK
nome_mineral	VARCHAR(80)	
descricao_mineral	VARCHAR(300)	

perfil		
id_perfil	INTEGER	PK
nome_perfil	VARCHAR(150)	
descricao_perfil	TEXT	

privilegio		
id_privilegio	INTEGER	PK
nome_privilegio	VARCHAR(50)	
descricao_privilegio	TEXT	

privilegio_perfil		
id_privilegio	INTEGER	PK
id_perfil	INTEGER	PK

projeto		
id_projeto	INTEGER	PK
id_spatial_ref	INTEGER	
nome_projeto	VARCHAR	
data_inicio	DATE	
instituicao	VARCHAR(100)	
observacao	VARCHAR(200)	
sigla_projeto	VARCHAR(5)	

projeto_perfil_usuario		
id_perfil	INTEGER	
id_usuario	INTEGER	
id_projeto	INTEGER	

referencia		
id_referencia	INTEGER	PK
titulo_referencia	VARCHAR(100)	
ano_publicacao	VARCHAR(4)	
descricao_referencia	TEXT	
arquivo	VARCHAR(200)	

spatial_ref		
id_spatial_ref	INTEGER	PK
sigla_spatial_ref	VARCHAR(50)	
cd_spatial_ref	NUMERIC	

textura_rocha		
id_textura_rocha	INTEGER	PK
id_litotipo_grupo	INTEGER	
nome_textura_rocha	VARCHAR(50)	
descricao_textura_rocha	VARCHAR(300)	

tipo_contato		
id_tipo_contato	INTEGER	PK
nome_tipo_contato	VARCHAR(100)	

tipo_estrutura		
id_tipo_estrutura	INTEGER	PK
nome_tipo_estrutura	VARCHAR(100)	
descricao_tipo_estrutura	TEXT	

tipo_lineamento		
id_tipo_lineamento	INTEGER	PK
nome_tipo_lineamento	VARCHAR(50)	

tipo_medida		
id_tipo_medida	INTEGER	PK
nome_tipo_medida	VARCHAR(50)	

unidade_cprm		
id_cprm	INTEGER	PK
nome_unidade_cprm	VARCHAR(150)	

unidade_geologica		
id_unidade_geologica	INTEGER	PK
id_referencia	INTEGER	
id_hierarquia_unidade	INTEGER	
id_cprm	INTEGER	
id_legenda	INTEGER	
nome_unidade_geologica	VARCHAR(100)	
descricao_unidade_geologica	TEXT	
idade	VARCHAR(50)	

usuario		
id_usuario	INTEGER	PK
nome_usuario	VARCHAR(150)	
senha	VARCHAR(32)	
telefone	VARCHAR(30)	
email	VARCHAR(100)	
matricula	SMALLINT	
registro_civil	SMALLINT	
cpf	CHAR(14)	
orgao_expeditor_rg	VARCHAR(10)	
tipo_sanguineo	VARCHAR(5)	

usuario_grupo		
id_usuario	INTEGER	
id_geom_grupo	INTEGER	