

SANDRO MÁRCIO A. COSTA

**IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO
PARA O MAPA GEOLÓGICO DA AMÉRICA DO SUL**



Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Geoprocessamento da
Universidade Federal de Minas Gerais para a
obtenção do título de Especialista em
Geoprocessamento

Orientador:
Britaldo Silveira Soares Filho

2001

Costa, Sandro Márcio A.

Implantação de Sistema de Informação Geográfico para o Mapa Geológico da América do Sul. Belo Horizonte, 2001.

33. p.

Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia.

1. SIG. Geologia. América do Sul. CPRM. Metodologia. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia

Agradecimentos

Na realização e conclusão deste trabalho foi imprescindível a colaboração e apoio dos abaixo relacionados e, desta forma, gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos.

À Virtual Cad Ltda, em especial aos seus diretores, Engenheiros José Bernardo Baker Botelho e Maria de Fátima Solis Ribeiro, pelo apoio financeiro, técnico e entusiástico, que, em todos os momentos, mesmo envolvidos num ritmo atarefado de trabalho, revelaram disponibilidade, atenção e interesse por este estudo, agradeço a oportunidade concedida, tão importante para minha formação profissional.

Ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em especial aos geólogos Carlos Schobbenhaus e Franciscus Jacobus Baars, agradeço o apoio técnico-científico e sobretudo ao empenho e entusiasmo na concepção deste projeto, que de certa forma é mais um laço para a aproximação de empresas e universidade na formação profissional.

Aos professores do Curso de Especialização em Geoprocessamento da UFMG, ao meu orientador Britaldo Silveira Soares Filho pela disponibilidade e atenção oferecidos para discussões e ao professor Marcos Antônio Timbó Elmiro pelas informações sobre transformações de sistemas de projeção.

À Bentley Systems Inc pelo apoio técnico e fornecimento dos softwares, que se mostraram únicos na resolução de inúmeros problemas tidos como impossíveis de serem solucionados de forma rápida e automatizada.

Resumo

O presente trabalho baseia-se na metodologia de estruturação de um sistema de informações geográficas para o Mapa Geológico da América do Sul e da área oceânica adjacente, dentro dos limites impostos pela escala, e tem como principal objetivo demonstrar os principais passos e dificuldades na geração do projeto SIG, a partir da aquisição de dados provenientes da digitalização de uma base analógica.

Abstract

The present work is based on the methodology to structuralize a system of geographic information for the Geologic Map of the South America and the adjacent oceanic area, inside of the limits imposed for the scale, and has as main objective to demonstrate the main steps and difficulties in the generation of SIG project, from the acquisition of data proceeding from of the an analog base digitalized.

Sumário

<u>AGRADECIMENTOS</u>	I
<u>RESUMO</u>	II
<u>ABSTRACT</u>	II
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	IV
<u>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</u>	V
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>OBJETIVOS</u>	1
<u>2 - METODOLOGIA</u>	2
<u>A BASE DOS DADOS</u>	2
<u>Área Continental</u>	2
<u>Área Oceânica</u>	2
<u>Sistema de Projeção</u>	2
<u>Digitalização</u>	3
<u>IMPORTAÇÃO DA BASE DE DADOS</u>	4
<u>Arquivos SEQ</u>	4
<u>Importação dos Arquivos SEQ para DGN</u>	5
<u>A Estrutura dos Dados</u>	6
<u>TRANSFORMAÇÃO POLINOMIAL DE SISTEMA DE PROJEÇÃO</u>	7
<u>LIMPEZA TOPOLÓGICA</u>	10
<u>Topologia</u>	10
<u>Limpeza Topológica</u>	12
<u>SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICOS</u>	16
<u>Histórico</u>	16
<u>Definição</u>	17
<u>ELABORAÇÃO DO SIG DO MAPA GEOLÓGICO DA AMÉRICA DO SUL</u>	18
<u>Organização do Projeto</u>	19
<u>3 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA GEODÉSICO E CARTOGRÁFICO</u>	22
<u>4 – RERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	24
<u>5 - ANEXOS</u>	25
<u>ANEXO 1 – FEIÇÕES DO SIG DO MAPA GEOLÓGICO DA AMÉRICA DO SUL:</u>	25
<u>ANEXO 2 – TABELA DE CORES RGB:</u>	26

Lista de Figuras

<u>Figura 01 – Exemplo de arquivo SEQ aberto em um editor de textos padrão.....</u>	5
<u>Figura 02 – O conceito de camadas ou <i>overlay</i> do mundo real.....</u>	6
<u>Figura 03 – Os três modos de implantação da informação geográfica.....</u>	7
<u>Figura 04 – Malha de paralelos e meridianos e os 300 pontos de controle.....</u>	10
<u>Figura 05 – Primitivas utilizadas nos relacionamentos topológicos.....</u>	12
<u>Figura 06 - Estruturas simples de polígonos têm a desvantagem de ter que armazenar duas vezes as bordas de polígonos contíguos.....</u>	13
<u>Figura 07 – Sobreposição das bordas dos polígonos.....</u>	13
<u>Figura 08 – Polígonos de mesma litocronologia com diferentes geoquímicas.....</u>	14
<u>Figura 09 - Erros topológicos nas bordas de um polígono simples.....</u>	14
<u>Figura 10 – Auto-Interceptação de polígono.....</u>	15
<u>Figura 11 – Legenda do Mapa Geológico da América do Sul.....</u>	19
<u>Figura 12 – Diagrama de estruturação de um projeto no MicroStation GeoGraphics....</u>	20
<u>Figura 13 – Mapa Geológico da América do Sul e Área Oceânica Adjacente.....</u>	23

Lista de Abreviaturas e Siglas (Na ordem em que aparecem no texto)

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

UFMG - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

SIG - Sistema de Informações Geográfico

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

UNESCO - The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
(Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura)

CGMW - Commission for the Geological Map of the World (Comissão da Carta Geológica do Mundo)

LEPLAC - Levantamento da Plataforma Continental Brasileira

Petrobrás - Petróleo Brasileiro S.A.

Lagemar - Laboratório de Geologia Marinha da Universidade Federal Fluminense

CAD - Computer Aided Design (Projeto Assistido por Computador)

SEQ - Arquivo seqüencial gerado através do programa de computação gráfica Maxicad

ASCII – American Standard Code for Information Interchange (Código Padrão para Intercâmbio de Informações)

DXF - Drawing Exchange Format - Tipo de arquivo que permite a troca de informações entre programas de computação gráfica

DGN - Tipo de arquivo gráfico gerado através do programa de computação gráfica MicroStation

WGR – West Greenwich (Oeste de Greenwich)

RMSE - Root Mean Square Error (Erro Médio Quadrático)

PEC - Padrão de Exatidão Cartográfico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

1 - INTRODUÇÃO

O presente trabalho baseia-se na metodologia de estruturação de um sistema de informações geográficas para o mapa de integração de dados que representa a síntese da geologia da América do Sul e da área oceânica adjacente, dentro dos limites impostos pela escala. Esse mapa é a sùmula de informações geológicas obtidas de trabalhos de geologia de campo e/ou laboratório, por compilação, análise, crítica, integração e interpretação dos dados disponíveis, tanto os publicados como os inéditos, objetivando a divulgação mais ampla da geologia da América do Sul, em formato digital e estruturada em ambiente SIG.

A estruturação em ambiente SIG da versão digital do mapa geológico da América do Sul foi executada pelo Serviço Geológico do Brasil através da empresa mineira Virtual Cad Ltda e vem ao encontro dos anseios e demandas da comunidade geológica que necessitava da oportunidade de obter mecanismos para a realização das atualizações e reinterpretaciones de modo rápido e confiável.

O Sistema de Informações Geográfico do Mapa Geológico da América do Sul constituído por banco de dados de pequeno porte, basicamente as relações crono e litoestratigráficas da legenda, traduz significativa inovação na forma de divulgação dos novos produtos relacionados com a cartografia geológica atualmente em curso no Serviço Geológico do Brasil. Além disso, registra o compromisso com a freqüente disponibilidade de novas versões periódicas das cartas geológicas, simplificando consultas, facilitando sua utilização, traduzindo o conceito de atualização permanente dos dados geológicos.

Objetivos

O principal objetivo da “Implantação de Sistema de Informações Geográfico para o Mapa Geológico da América do Sul” é demonstrar os principais passos e dificuldades na geração do projeto SIG, a partir da aquisição de dados provenientes da digitalização, por terceiros, de uma base analógica.

2 - METODOLOGIA

A Base dos Dados

Área Continental

A fonte de dados original da área continental para o Mapa Geológico da América do Sul na escala 1:5.000.000, 2001, foi o Mapa Geológico da América do Sul, 1:5.000.000 (Schobbenhaus e Bellizzia, 2000) executado sob a égide da Commission for the Geological Map of the World - CGMW - e publicado com apoio técnico e financeiro do DNPM, CPRM e UNESCO. As principais fontes de informação foram compiladas até 1998. Algumas áreas foram atualizadas através de contribuições dos colaboradores.

Área Oceânica

As fontes de dados originais da área oceânica são as seguintes:

- 1) Smith, W. & Sandwell, D., 1997;
- 2) Sandwell, D. & Smith, W., 1992;
- 3) Projeto LEPLAC-Levantamento da Plataforma Continental Brasileira;
- 4) Schobbenhaus, C., Campos, D. A., Derze, G. R. & Asmus, H. E., 1981;
- 5) Contribuições de colaboradores da Petrobrás e Lagemar (Laboratório de Geologia Marinha/UFF).

Sistema de Projeção

Como o sistema de projeção do Mapa Geológico da América do Sul era desconhecido, foram realizadas análises através da grade formada pelos paralelos e meridianos. Essas análises foram realizadas por John Parr Snyder do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Em um comunicado interno, John Snyder explica os motivos que o levaram a definir o sistema de projeção original do Mapa Geológico da América do Sul. Por meio de uma escala em milímetros, ele realizou nove medições ao longo do meridiano central e do equador. Na maioria das vezes foram utilizados segmentos de 12 graus. Sem envolver mínimos quadrados, ele verificou que as variações absolutas no

raio da terra calculadas a partir da média das nove medições eram quatro vezes maiores do que o normal, considerando a utilização de um elipsóide ao invés de uma esfera. A mudança no afastamento dos meridianos ao longo do equador e de outros paralelos, além da grade ortogonal descartaram a projeção policônica. Os meridianos curvados e a não-concentricidade dos paralelos descartaram as projeções de Albers e de Lambert cônica, e a projeção de Bonne que seriam menos prováveis de qualquer maneira. As paralelas curvadas, à exceção do equador, descartaram a projeção Sinusoidal. As paralelas são espaçadas igualmente ao longo do meridiano central, que se aplica a diversas destas projeções, para a esfera, bem como para a Transversa de Mercator esférica. Com base nestas análises e de outros parâmetros utilizados por Snyder, concluiu-se que o sistema de projeção é o Transversa de Mercator, com meridiano central 60WGR, baseado numa versão esférica (e não um elipsóide), com o raio da esfera igual a 6.293.000 metros e usando um fator de escala central (k-sub-0 nas fórmulas) igual a 1,0000. Para maiores informações sobre sistemas de projeção veja Snyder (1987) e Snyder & Voxland (1989).

Digitalização

A criação da base de dados digital foi realizada na CPRM através da digitalização manual, via mesa digitalizadora. Sobre mesa digitalizadora, é interessante citar uma observação de Davis & Fonseca (1999).

“A mesa digitalizadora é um dos mais antigos dispositivos de entrada de dados gráficos em computador. Embora seja um dos métodos de conversão mais utilizados, a conversão em mesa é potencialmente perigosa no quesito precisão. Os diversos procedimentos utilizados na digitalização em mesa constituem uma fonte de acúmulo de erros, deteriorando a qualidade do resultado. Considerando que a planta ou mapa originais possam estar isentos de distorções, podem ocorrer erros e imprecisões na colocação da planta sobre a mesa, na leitura dos pontos de calibração e no posicionamento manual do cursor para a obtenção de pontos. Estes erros são todos absolutos, e aleatórios. A consequência é natural na digitalização de plantas/mapas contíguos: desacerto de elementos posicionados nas bordas do desenho”.

Essa observação será pertinente para a compreensão dos erros mencionados no item Transformação Polinomial de Sistema de Projeção.

O programa de CAD utilizado pela CPRM para a digitalização do Mapa Geológico da América do Sul na escala 1:5.000.000 foi o Maxicad da empresa MaxiDATA Tecnologia e Informática Ltda, gerando arquivos SEQ e DXF.

Quando a frase “digitalização do Mapa...” é mencionada, envolve-se aí o termo “Cartografia Digital” ou “Cartografia Assistida por Computador”. O termo é muito abrangente, mas pode ser bem entendido através da definição de Soares Filho (2000):

“Um sistema de Cartografia Digital (CD) pode ser compreendido como um conjunto de ferramentas, incluindo programas e equipamentos, orientado para a conversão para o meio digital, armazenamento e visualização de dados espaciais. Um sistema de Cartografia Digital tem como ênfase a produção de mapas”.

Importação da Base de Dados

Arquivos SEQ

O MaxiCAD é um sistema gráfico CAD destinado a digitalização e manutenção de mapas. A principal característica do MaxiCAD é a sua ênfase em cartografia, apresentando limitações quando utilizado em projetos de geoprocessamento. Os mapas gerados pelo Maxicad podem ser exportados através de arquivos de intercâmbio em formato ASCII cujos dados são listados “sequencialmente” em uma estrutura própria e recebem a extensão seq.

Em um arquivo seq, os objetos são numerados em seqüência e as coordenadas de seus vértices são descritos na ordem x, y, z.

```

|; MaxiCAD v3.5 - Versao For Windows
; c:\americ~2\gamsuls.cad 11/23/00 20:08:25.0
M 1.0 S U00
N000001Area do Desenho
E000001000
1 44.00 -10.33 0.0001
1 44.00 859.77 0.0001
1 1254.00 859.77 0.0001
1 1254.00 -10.33 0.0001
1 44.00 -10.33 0.0001
D0000
1 54.00 -0.33 0.0001
1 54.00 849.77 0.0001
1 1244.00 849.77 0.0001
1 1244.00 -0.33 0.0001
1 54.00 -0.33 0.0001
N000201c-480 p.oceano *
P0002
1 74.00 19.33 0.0001
1 1224.00 19.33 0.0001
1 1224.00 829.33 0.0001
1 74.00 829.33 0.0001
1 74.00 19.33 0.0001
-
P0003
1 291.35 440.00 0.0001
1 292.23 440.24 0.0001
1 293.07 440.71 0.0001
1 293.80 441.22 0.0001
1 294.89 441.70 0.0001
1 295.86 442.01 0.0001
1 296.92 442.45 0.0001

```

Figura 01 – Exemplo de arquivo SEQ aberto em um editor de textos padrão. Os códigos E000001000, D0000, P0002 e P0003 referem-se a objetos de diferentes naturezas (P0002 e P0003 são polígonos). As três colunas após o código representam as valores das coordenadas x, y e Z dos vértices. Quando as coordenadas do último vértice coincidem com as do primeiro vértice, o objeto é um elemento fechado.

Importação dos Arquivos SEQ para DGN

Conforme mencionado anteriormente, o Maxicad apresenta limitações quando utilizado em projetos de geoprocessamento. Como o propósito desse trabalho é a utilização do Mapa Geológico da América do Sul em um ambiente SIG, tornou-se necessária a utilização de outra ferramenta que possibilitasse tal empreendimento. O MicroStation GeoGraphics foi a ferramenta escolhida para a execução do projeto SIG do Mapa Geológico da América do Sul. Os arquivos utilizados pelo MicroStation GeoGraphics recebem a extensão DGN, proveniente da palavra inglesa *design*, que significa projeto ou modelo. Portanto, era necessário a tradução dos arquivos SEQ para DGN.

Os arquivos fornecidos em formato SEQ do Maxicad foram importados diretamente para o formato DGN do MicroStation GeoGraphics através de aplicativo desenvolvido especificamente para este processo.

A Estrutura dos Dados

A cartografia digital tem uma visão do mundo real discriminada na forma de camadas, na qual cada camada representa um aspecto da realidade (Burrough, 1991, in Soares Filho, 2000).

Portanto, as feições do mundo real de caráter geográfico – conhecidas por isso como feições geográficas -, para fins de representação na cartografia digital, são individualizadas e armazenadas separadamente em níveis lógicos.

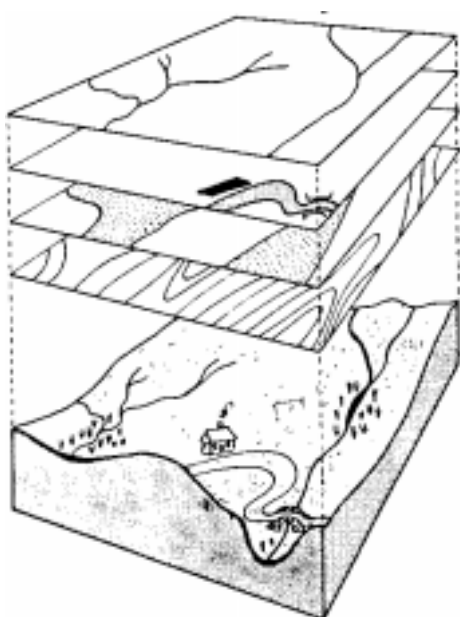


Figura 02 – O conceito de camadas ou *overlay* do mundo real. Fonte: Burrough (1991) in Soares Filho (2000).

As feições geográficas poderão ainda ser representadas, de acordo com a sua natureza espacial, em 4 categorias básicas (ou dimensões topológicas) de dados ou “objetos”: pontual, linear, zonal e volumétrica. A quarta categoria não é normalmente utilizada em cartografia digital para a confecção de mapas, uma vez que se faz necessária a representação de uma terceira dimensão (mapas são bidimensionais).

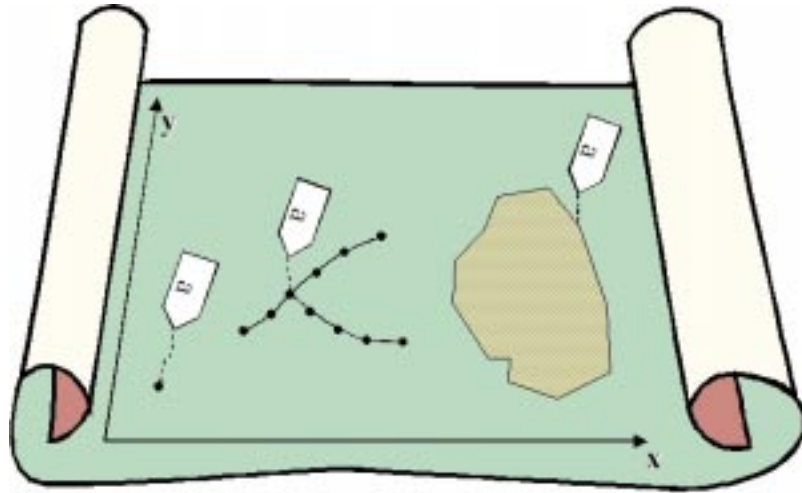


Figura 03 – Os três modos de implantação da informação geográfica. Fonte Soares Filho (2000).

Para possibilitar a inserção dos dados em um Sistema de Informações Geográfico, os níveis de informação geográfica originais tiveram que ser redefinidos e separados, uma vez que existiam camadas contendo tipos de informação sem correspondência.

Os níveis de informação definidos inicialmente foram:

- Batimetria
- Geografia Política
- Contatos
- Diques
- Estrutural
- Hidrografia
- Litocronologia (polígonos)
- Símbolos
- Textos

Transformação Polinomial de Sistema de Projeção

Após a importação para o formato DGN, os níveis de informação do Mapa Geológico da América do Sul foram transformados para o sistema de projeção policônica com meridiano central 59° WGR (As configurações dessa projeção poderão ser verificadas no capítulo 3 - Características do Sistema Geodésico e Cartográfico).

O Mapa Geológico da América do Sul não possuía originalmente, nas suas informações marginais, dados suficientes para determinar com exatidão, o sistema de projeção original no qual foi construído.

Para se determinar o sistema de projeção original do mapa, foram realizadas análises das características da grade de paralelos e meridianos, mas não foram consideradas como procedimento seguro, devido à quantidade de variáveis envolvidas no processo, tendo sido descartadas. Segundo Timbó Elmiro (2001), nos casos em que se desconhece a projeção original de um mapa, a literatura de cartografia e geoprocessamento recomenda que seja feita uma transformação utilizando polinômios com coeficientes ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

Para a realização do processo de transformação do sistema de projeção foram realizados os passos e procedimentos fundamentais abaixo discriminados:

- Foram utilizados os *softwares* de geoprocessamento/geoengenharia da Bentley Systems:
 - a) MicroStation GeoCoordinator para o processo de definição do sistema de projeção (policônica) e da criação da grade de paralelos e meridianos;
 - b) MicroStation Descartes para efetuar o processo de transformação polinomial;
- Foi utilizado o modelo polinomial de ordem 3 para transformar o mapa, tendo em vista o seu maior grau de liberdade para transformação de elementos complexos;
- Foram utilizados 300 pontos de controle localizados nas interseções das linhas da grade de paralelos e meridianos para determinação dos coeficientes de transformação polinomial;
- A grade de paralelos e meridianos foi construída com exatidão, utilizando as leis matemáticas da projeção policônica;
- O Erro Médio Quadrático (*Root Mean Square Error – RMSE*) obtido com a utilização dos pontos de controle foi de 1437,63 m.

A Figura 04 nos mostra a grade de paralelos e meridianos do Sistema de Projeção Policônica gerada pelo *software* MicroStation GeoCoordinator e a relação dos pontos de

controle com base nos resíduos individuais de Erro Médio Quadrático, após a operação de transformação polinomial realizada com o *software* MicroStation Descartes. Os pontos verdes indicam resíduos individuais abaixo de 2.500 m (que é o Padrão de Exatidão Cartográfico-PEC para a escala de 1: 5.000.000), e os pontos vermelhos indicam resíduos individuais acima de 2.500 m. Em cinza, estão as áreas em que os pontos com elevados valores de resíduos individuais não foram considerados na transformação.

Como o Mapa Geológico da América do Sul é constituído por duas folhas (norte e sul), pode-se verificar que os maiores erros ocorrem preferencialmente na junção entre as folhas.

Outro fator que contribui para a propagação de erros é o fato da grade de paralelos e meridianos original ter sido gerada por digitalização manual, e não por meios matemáticos. Os erros gerados pelo processo manual de criação da malha de paralelos e meridianos determinam diferenças em relação à malha gerada por equações matemáticas, utilizadas nos programas de projeção cartográfica.

Entretanto, fica evidente ao observador, a compatibilidade entre as grades após a transformação. Outro fator que corrobora a transformação é a total coincidência dos limites do continente sul-americano com o limite brasileiro após a transformação do limite do mapa do Brasil da Série Brasil – Geográfico 1:5.000.000 do IBGE, usando os mesmos parâmetros da transformação do mapa geológico. Na ilustração a seguir, o limite do Brasil pode ser visualizado coincidindo com o limite da América do Sul quando estes se sobrepõem.

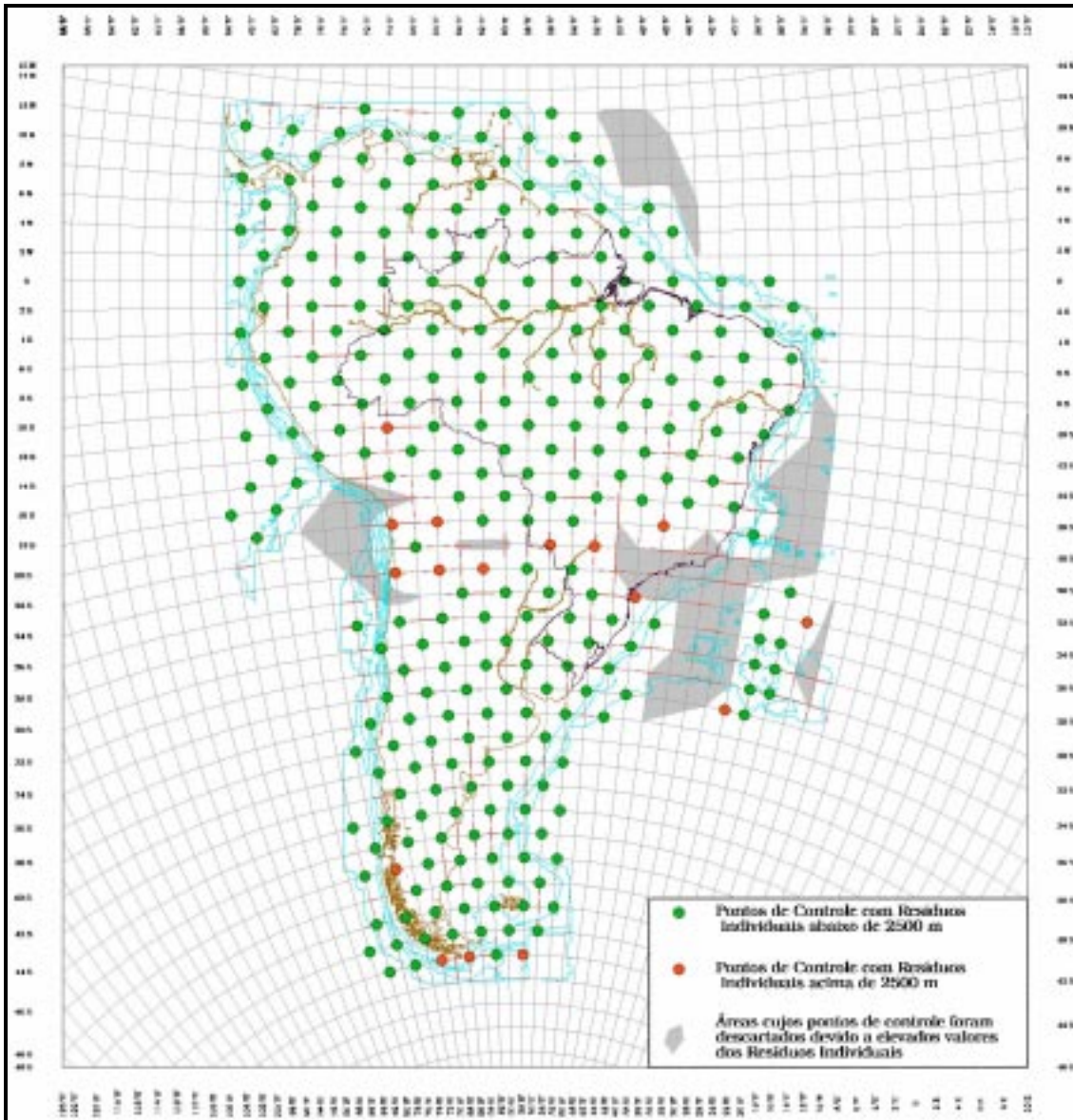


Figura 04 – Malha de paralelos e meridianos e os 300 pontos de controle utilizados no processo de transformação de sistema de projeção.

Limpeza Topológica

Topologia

“Dá-se o nome de topologia ao ramo da matemática que estuda as propriedades das configurações geométricas que não são alteradas por transformações ou deformações elásticas homomórficas. Trocando em miúdos, topologia é um conjunto de técnicas que nos permitem perceber as relações espaciais inerentes ao posicionamento relativo dos objetos, independente de suas dimensões ou

coordenadas exatas. Relações de continência (contém/contido), adjacência (vizinho a, ao lado de) e conexão (conectado a, ligado a, relacionado com) são deduzidas com base em técnicas de topologia.

Aplicando o conceito de topologia em GIS, vemos que é a topologia que responde, para um objeto geográfico, aos seguintes tipos de questões: onde estou, ao lado de, perto de, à direita ou à esquerda de, vindo de ou indo para. Infelizmente, o computador não percebe os dados cartográficos com a facilidade que a mente humana entende um mapa. Ele não "vê" em um mapa, como nós, um trecho de rua entre duas interseções e sabe entre quais ruas este trecho está situado. O ser humano olha para o mapa e implicitamente sabe se há ali perto uma escola, ou quantas edificações existem nesta rua. Desde cedo o ser humano aprende a distinguir estas relações espaciais

Esta "análise topológica", que é natural na mente humana, nos GIS tem de ser inserida de modo explícito. Portanto, os objetos de um GIS devem ter sua natureza e suas relações com outros objetos claramente definidas, para que o computador possa distinguir relações espaciais como ao lado de, a esquerda, perto de, dentro de, etc.

Em alguns GIS, as relações topológicas entre os objetos geográficos são codificadas explicitamente.” (Davis & Fonseca, 1999).

Ao trabalhar os dados do Mapa Geológico da América do Sul, criados inicialmente para atender puramente aos requisitos de apresentação cartográfica, deparou-se com uma grande quantidade de elementos topologicamente incorretos. Tendo em mente que a finalidade do trabalho inicial não contemplava a implantação de um Sistema de Informação GeoGráfico, estes erros de relacionamentos topológicos foram previstos. Em consequência desse fato, foi necessária a realização de operações denominadas “limpeza topológica”.

A figura 05 nos mostra as primitivas válidas (e não válida) em um SIG de forma a manter a integridade das relações topológicas entre os objetos geográficos.

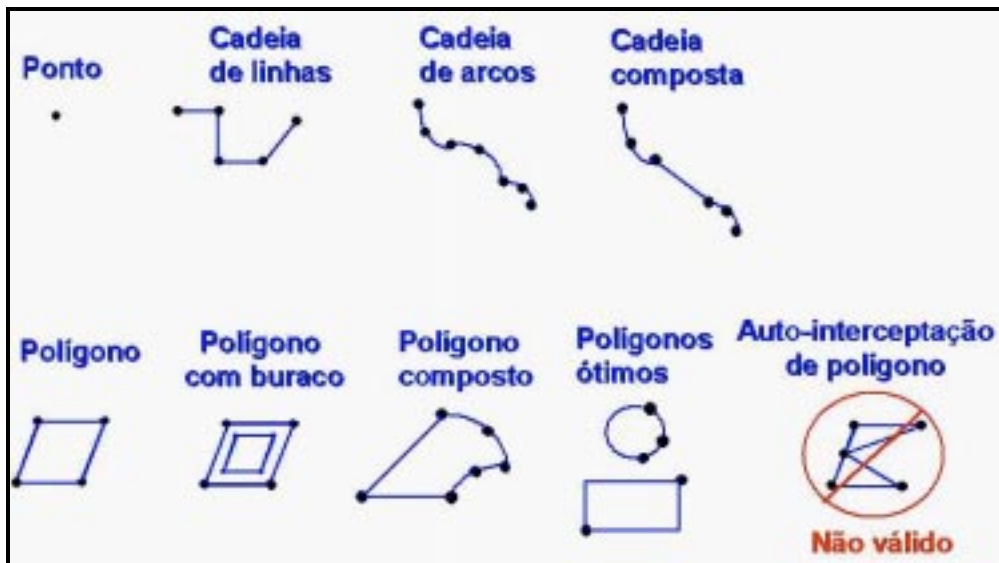


Figura 05 – Primitivas utilizadas nos relacionamentos topológicos em Sistema de Informações Geográfico Fonte: Introduction to Oracle8i Spatial, Oracle Corporation, 2000.

Limpeza Topológica

A base de dados do Mapa Geológico da América do Sul teve então de passar através do processo de “Limpeza Topológica”, onde a execução de rotinas automatizadas garantiram a integridade dos relacionamentos topológicos, impedindo a ocorrência de elementos duplicados, sobreposição e auto-interceptação de polígonos, além de garantir a segmentação, no cruzamento, de linhas que se interceptam.

Os principais problemas encontrados nas bases do Mapa Geológico da América do Sul foram:

1. Sobreposição de polígonos. As bordas de vários polígonos invadiam os polígonos adjacentes (figura 07);

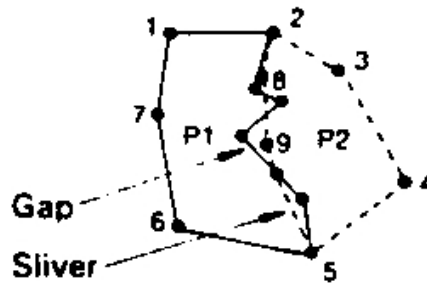


Figura 06 - Estruturas simples de polígonos têm a desvantagem de ter que armazenar duas vezes as bordas de polígonos contíguos Fonte: Burrough (1991) in Soares Filho (2000).

No Mapa Geológico da América do Sul, este tipo de situação foi o erro topológico de maior frequência, como pode ser verificado na figura 07.

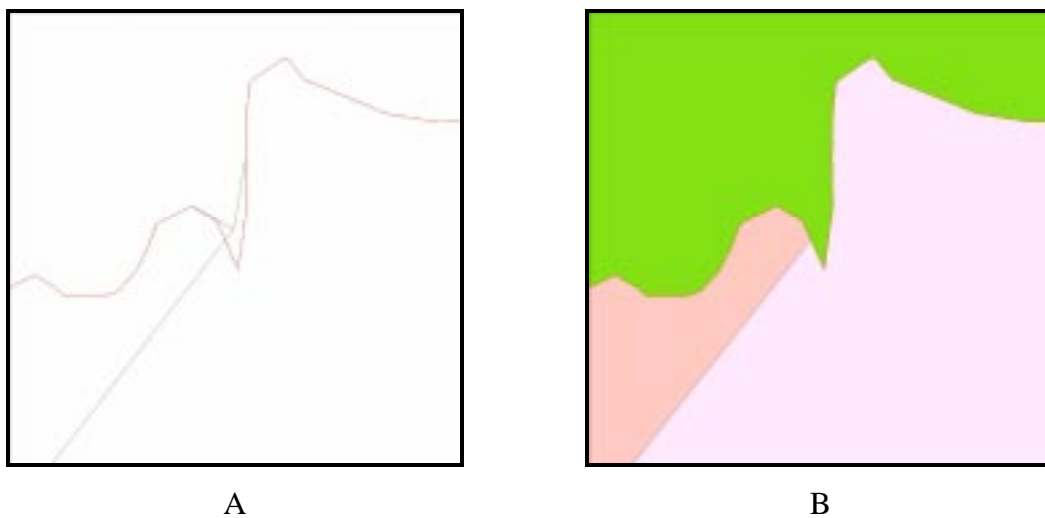


Figura 07 – Sobreposição das bordas dos polígonos. Em **A** os polígonos são visualizados sem o preenchimento de cor. Em **B** o preenchimento “mascara” a sobreposição.

2. Ausência de polígonos, dentro de polígonos de mesma litocronologia, delimitando áreas de afinidades geoquímicas ou grau metamórfico (figura 08);
3. Ausência de buracos (*holes*) em polígonos que permitam a ocorrência de polígonos menores em seus interiores (figura 08);

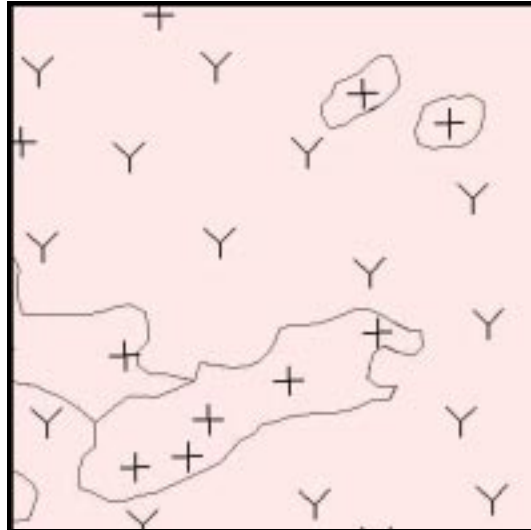


Figura 08 – Polígonos de mesma litocronologia com diferentes afinidades geoquímicas. Os polígonos menores estão “encaixados” em buracos do polígono envolvente.

4. Ocorrência de auto-interceptação de polígono.



Figura 09 - Erros topológicos nas bordas de um polígono simples. Fonte: Burrough (1991) in Soares Filho (2000).

Muitas vezes foram encontrados polígonos compostos por duas áreas, conectadas por um ponto de interseção, tal como uma gravata borboleta. A figura 10 exemplifica essa situação.

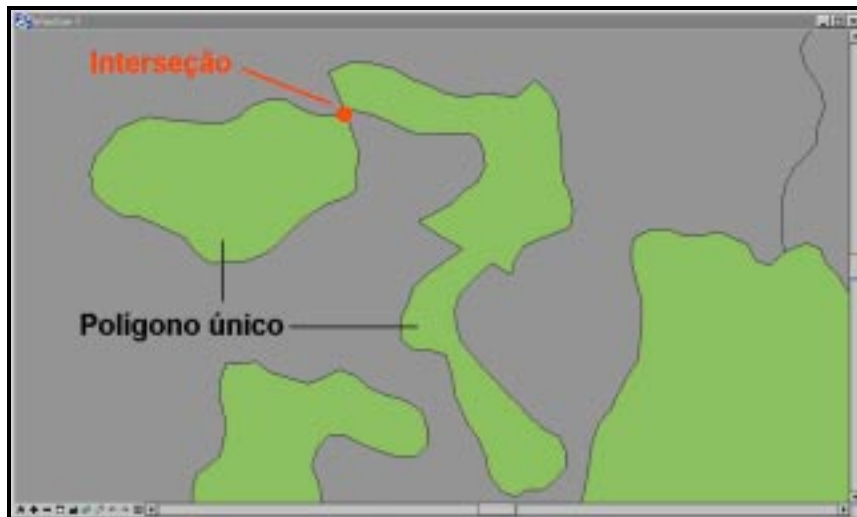


Figura 10 – Auto-Interceptação de polígono. A correção foi a foi subdivisão do polígono em dois, separados no ponto de interseção.

Sistemas de Informação Geográficos

Histórico

A história dos Sistemas de Informação Geográficos tem início no momento em que o homem resolveu analisar um mapa e tirar outras conclusões além da sua localização. De acordo com Davis & Fonseca (1999):

“De um ponto de vista abrangente, a solução mais antiga, e até hoje mais comum, de resolver problemas de análise de informações espaciais envolve a construção e a utilização de mapas. Embora toda a técnica de produção de mapas em papel esteja bastante dominada, uma vez que a Cartografia é uma ciência/arte muito antiga, o processo de produção e utilização de mapas é muito caro, principalmente levando em conta os aspectos de armazenamento e atualização manual.

As primeiras tentativas de automatizar parte do processamento de dados com características espaciais aconteceram na Inglaterra e nos Estados Unidos, nos anos 50, com o objetivo principal de reduzir os custos de produção e manutenção de mapas. Dada a precariedade da informática na época, e a especificidade das aplicações desenvolvidas (pesquisa em botânica, na Inglaterra, e estudos de volume de tráfego, nos Estados Unidos), estes sistemas ainda não podem ser classificados como sistemas de informação.”

Seguindo essa cronologia, Maillard (2001) sintetiza o amadurecimento do SIG:

“Início dos anos 60 - McHarg: Compilação de vários poliesters, cada um com tema diferente, para fins de planejamento urbano.

1963 - Howard Fisher: outro arquiteto fez a mesma coisa, mas com um computador, e criou um programa baseado numa matriz dividindo o espaço

1965 - Fisher criou SYMAP no "Harvard Laboratory of Computer Graphics"

Foram desenvolvidos vários programas deste tipo: SYMAP, GRID, IMGRID, GEOMAP, etc.

1966 - Tomlinson se envolve no desenvolvimento do "Canada Geographic Information System" com vários milhões de dólares : é aparentemente a origem do nome e da sigla GIS ou SIG, em português.

Alguns destes são usados até hoje nas universidades para fins de ensino.

1977 - David W. Rhind (ainda hoje especialista nesta área) apresentou num congresso, 11 razões para se usar o computador na cartografia:

- 1- Fazer mapas convencionais mais rápido*
- 2- Fazer mapas convencionais mais barato*
- 3- Fazer mapas para usuários específicos*

- 4- Fazer mapas mesmo na falta de profissionais
- 5- Experimentação gráfica
- 6- Facilitar a atualização
- 7- Facilitar a análise com métodos estatísticos
- 8- Reduzir o uso de mapa de papel como referência
- 9- Fazer mapas difíceis de se realizar manualmente (3D, compilação, fotomapas)
- 10- Resolver problemas de generalização só na hora de imprimir
- 11- Forçar a revisão completa do processo de produção cartográfica

As quatro fases do desenvolvimento do SIG são:

- 1)1960 - 1975 - Fase de desenvolvimento pela iniciativa de certos indivíduos (Fisher, McHarg, Rhind, Tomlinson) de importância crítica.
- 2)1973 - 1982 - Fase de propagação das experiências e tentativas, principalmente por agências governamentais.
- 3)1982 - 1989 - Fase dominada pelo setor comercial (empresas privadas) e pela promoção de pacotes fechados
- 4)1990 em diante - Fase dominada pelos usuários podendo aproveitar da concorrência entre as empresas e do lançamento, no mercado, de pacotes de arquitetura aberta.”

Definição

O termo SIG é definido de várias maneiras por diversos autores, mas todos focalizam a facilidade de captura e gerenciamento de dados geográficos. A definição de SIG, assim Segundo Davis & Fonseca (1999) é descrita a seguir:

“SIG são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la”.

Outra definição semelhante pode ser encontrada em Soares Filho (2000):

“Um conjunto de facilidades voltado à captura, armazenamento, verificação, integração, manipulação, análise e visualização de dados referenciados à Terra”.

Como pode ser verificado, as definições acima estão centradas nos dados geográficos, cuja existência e comprovada utilidade seriam a razão de existir do SIG.

Elaboração do SIG do Mapa Geológico da América do Sul

Após a realização dos processos de importação, transformação para o sistema de projeção policônica e limpeza topológica, os dados foram inseridos em um sistema de informações geográficas, segundo uma modelagem de dados baseada principalmente na legenda litocronológica do mapa geológico impresso. A legenda foi dividida em quatro sublegendas indicando diferentes tipos de rochas, as quais relacionam-se a uma divisão cronoestratigráfica do tempo geológico.

Essas sublegendas indicam as seguintes classes de rochas: sedimentares, vulcânicas, plutônicas e metamórficas. As três últimas classes, por sua vez, estão divididas em subclasses de rochas. As rochas vulcânicas, que também incluem vulcano-sedimentares, são subdivididas em não-diferenciadas, ácidas e intermediárias, básicas e intermediárias, e alcalinas. As rochas plutônicas, incluindo rochas hipabissais, são divididas em não-diferenciadas, ácidas e intermediárias, básicas e ultrabásicas, e complexos alcalinos. As rochas metamórficas são divididas em não-diferenciadas e em graus de metamorfismo muito baixo a baixo, baixo a médio e médio a alto.

A ocorrência de símbolos de ornamentação era a única forma de diferenciar os polígonos, de acordo com a classificação descrita acima. Para alimentar o banco de dados com a informações corretas segundo essa classificação, realizou-se processos de “análise topológica” entre elementos poligonais e pontuais. Sendo assim, explicando com um exemplo, polígonos que continham símbolos “pontuais” representativos de rochas plutônicas ácidas e intermediárias, recebiam automaticamente a inserção de dados referentes ao tipo de rocha (neste caso: plutônica) e afinidade geoquímica (neste caso: ácida e intermediária) em seus respectivos campos da tabela LITO do banco de dados. Ao final do processo, as informações de diferentes campos foram concatenados em um único campo denominado “Descrição”, descrevendo assim a rocha em questão.

Os dados referentes às idades foram inseridos de acordo com a denominação do polígono. Assim, um polígono classificado como PZ1, recebia idades de acordo com as idades máximas e mínimas dos períodos cobertos pela sua ocorrência na legenda. Nesse

exemplo, PZ1 - Paleozóico Inferior, ocorre desde o início do período Cambriano (540 Ma) ao término do período Siluriano (410 Ma).

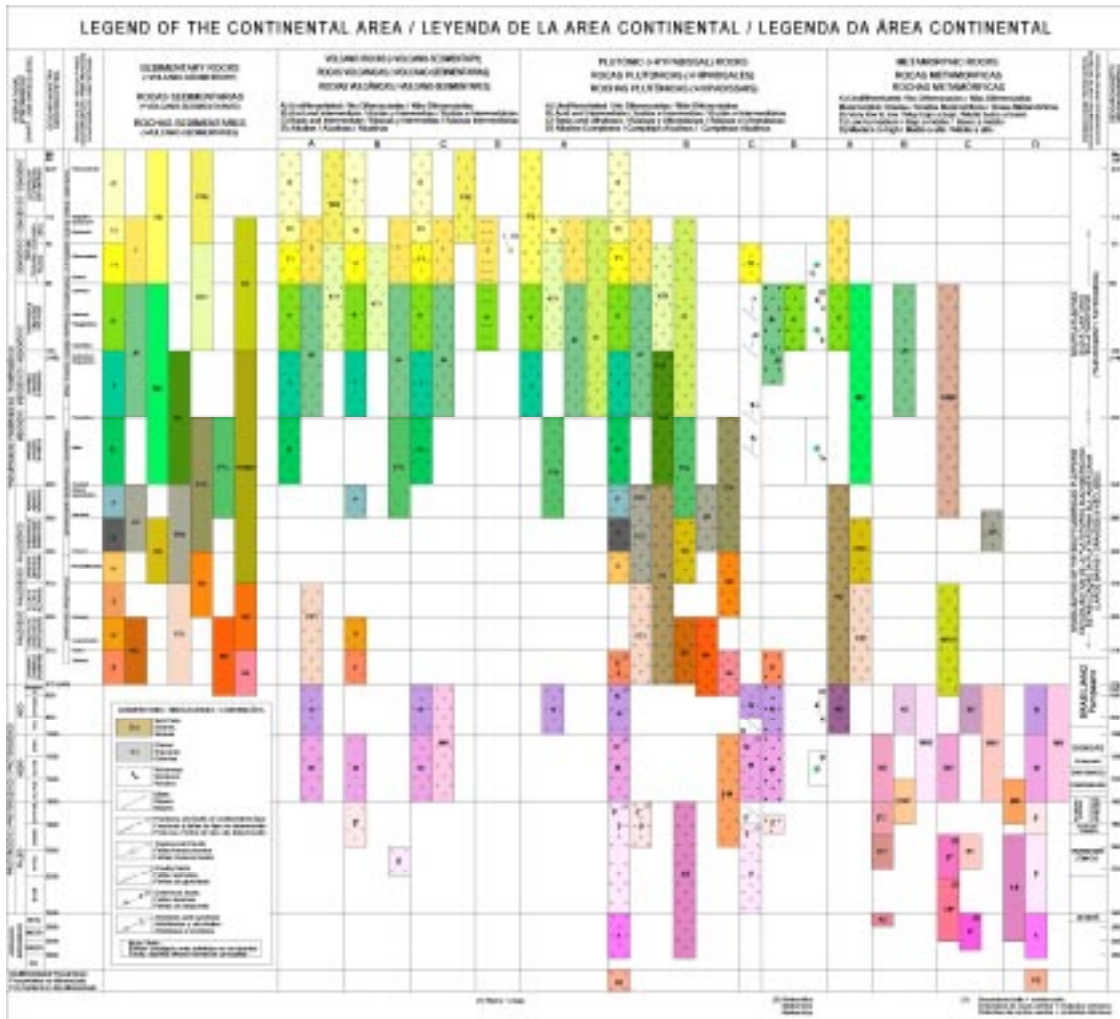


Figura 11 – Legenda do Mapa Geológico da América do Sul, dividida em quatro sublegendas indicando os diferentes tipos de rochas.

A organização do projeto em relação aos dados alfanuméricos e das entidades espaciais obedeceram a estrutura utilizada pelo *software* MicroStation GeoGraphics, da Bentley Systems, conforme pode ser observado a seguir.

Organização do Projeto

O MicroStation GeoGraphics organiza os dados de mapeamento dentro de projetos. O diagrama a seguir apresenta os principais componentes de um projeto criado no MicroStation GeoGraphics:

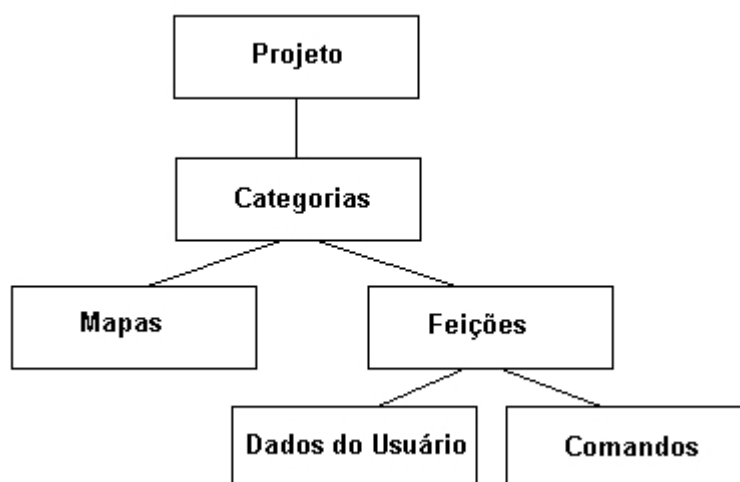


Figura 12 – Diagrama de estruturação de um projeto no MicroStation GeoGraphics.

Feições: As Feições são os objetos reais que estão sendo modelados no projeto. Por exemplo, uma feição pode representar um dique, um rio, um eixo de anticlinal ou polígono de litocronologia. A cada feição é atribuída um conjunto de especificações gráficas como nível, simbologia e outras características de visualização, e também pode ter associado Dados do Usuário (atributos do banco de dados), e comandos.

Comandos: As feições podem conter comandos próprios para otimizar os diversos processos de inserção e edição de dados. São comandos específicos para cada feição. A feição rio possui comandos exclusivos para digitalizar, editar ou apagar.

Dados do Usuário: As feições podem ter dados do usuário que são guardados em tabelas de banco de dados, que são “ligadas” à feições individuais dentro de um mapa. O conteúdo específico dessas tabelas de atributos foi definido considerando, principalmente, as informações contidas na legenda original do mapa impresso.

Categorias: Uma categoria é um agrupamento de feições similares, frequentemente organizadas segundo uma hierarquia. Os mapas que contém estas feições também são associados à categoria.

Mapas: Um mapa é um arquivo de desenho do MicroStation que foi registrado no banco de dados do projeto e pertence à uma determinada categoria. Um mapa contém o

componente gráfico das feições e pode guardar o mesmo subconjunto de feições como outros mapas pertencentes à mesma categoria.

Uma vez que os níveis de informação haviam sido separados, foram agrupados em categorias os vários tipos de objetos que mantinham relacionamentos comuns entre si.

Os objetos foram inseridos no SIG em níveis e simbologias próprios (cor, espessura e estilo de linha), e receberam denominações lógicas que os identificassem, constituindo-se as feições do projeto.

As feições que necessitavam de identificações de atributos foram ligadas a tabelas contidas em banco de dados relacional. Para exemplificar, os atributos da feição litocronologia, contidos na tabela LITO, se baseiam na legenda impressa que acompanha o Mapa Geológico da América do Sul 1:5.000.000.

A relação das feições e categorias que compõem o projeto podem ser verificadas no Anexo 1 – Feições do SIG do Mapa Geológico da América do Sul.

A maioria das feições recebeu atribuições identificadas no próprio nome. A ausência de outros atributos tornou desnecessária a ligação ao banco de dados do usuário.

3 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA GEODÉSICO E CARTOGRÁFICO

O Mapa Geológico da América do Sul 1:5.000.000 foi elaborado no Sistema de Projeção Policônica e tem as seguintes referências:

- Geodésica
 - Elipsóide: South American 1969
 - Semi-eixo maior = 6378160.0000000000 m
 - Semi-eixo menor = 6356774.7189999996 m
 - Excentricidade = 0.0818201804
 - Achatamento = 0.0033528919
 - Datum Planimétrico South American 1969 – SAD69
 - Datum Altimétrico: Imbituba

- Cartográfica
 - O Sistema de Projeção Policônica, para o Mapa Geológico da América do Sul 1:5.000.000 tem as seguintes características:
 - Meridiano Central ou origem das longitudes: 59°WGR
 - Origem das latitudes: 0°
 - Falso Norte: 10.000.000 m
 - Falso Leste: 5.000.000 m

- Unidades e Formatos utilizados pelo sistema

<i>Identificação</i>	<i>Unidade</i>	<i>Precisão</i>
COORD. GEOGRÁFICAS	Grau	1,0 E ⁻⁴
Projeção	Metro	1,0 E ⁻²



Figura 13 – Mapa Geológico da América do Sul e Área Oceânica Adjacente resultante da implantação do SIG.

4 – RERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burrough, P. 1991. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford, Great Britain, Oxford University Press, 194 p.
- Davis Jr., C. A., Fonseca, F. T. 1999. Conceitos e Aplicações em GIS. Notas de Aula, Belo Horizonte.
- Maillard, P., 2001. Notas do Curso de Cartografia Digital, Belo Horizonte.
- Projeto LEPLAC - Levantamento da Plataforma Continental Brasileira/Comissão Interministerial de Recursos do Mar - CIRM (executado por Petrobrás e Diretoria de Hidrografia e Navegação-DHN), Rio de Janeiro.
- Sandwell, D. & Smith, W., 1992. Global Marine Gravity from ERS-1, Geosat and Seasat reveals new tectonic fabric. EOS Transaction AGU, 73(43):133.
- Schobbenhaus, C. & Bellizzia, A., 2000 (coord.) - Mapa Geológico da América do Sul, 1:5.000.000, CGMW - CPRM - DNPM – UNESCO, Brasília.
- Schobbenhaus, C. , D.de A. Campos, G.R. Derze. & H. E. Asmus (coord.) 1981. Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente / Geologic Map of Brazil and Adjoining Ocean Floor, 1:2.500.000. Departamento Nacional de Produção Mineral -DNPM.
- Smith, W. & Sandwell, D., 1997. Measured and Estimated Seafloor Topography (V.4.2). World Data Center A for Marine Geology and Geophysics Research, Publication RP-1.
- Snyder, John P., Map Projections - A Working Manual, U.S. Geological Survey Professional Paper 1395 (Supersedes USGS Bulletin 1532), United States Government Printing Office, Washington D.C., 1987.
- Snyder, John P. and Voxland, Philip M., An Album of Map Projections, U.S. Geological Survey Professional Paper 1453, United States Government Printing office, Washington D.C., 1989.
- Soares Filho, B. S., 2000. Cartografia Assistida por Computador – Conceitos e métodos. Belo Horizonte.
- Timbó Elmiro, M. A. , 2001. Parecer Técnico sobre Operação de Transformação de Sistema de Projeção do Mapa Geológico da América do Sul, escala 1:5.000.000, sob a Coordenação dos Srs. Carlos Schobbenhaus e Alirio Bellizzia do Ano de 2.000 – Relatório Interno, CPRM, Belo Horizonte.

5 - ANEXOS

Anexo 1 – Feições do SIG do Mapa Geológico da América do Sul:

Feição	Categoria	Tabela De Atributos
Prof 0 200	Batimetria	Batimetria
Prof 200 2000	Batimetria	Batimetria
Prof 2000 4000	Batimetria	Batimetria
Prof >4000	Batimetria	Batimetria
Prof Isolinhas	Batimetria	
Grid	Cartografia	
Coordenadas	Cartografia	
Lideres	Cartografia	
Lim Internacional	Cartografia	
Capital	Cartografia	
Capital.Texto	Cartografia	
Cidade	Cartografia	
Cidade.Texto	Cartografia	
Ac Geograficos	Cartografia	
Cidade.Centroide	Cartografia	
Capital.Centroide	Cartografia	
Anticlinal	Estrutural	Eixos
Sinclinal	Estrutural	Eixos
Falha.Emp	Estrutural	
Falha.Def	Estrutural	
Falha.Grav	Estrutural	
Mov.Falhas	Estrutural	
Estrat Pre Cambriano	Geologia Oceanica	
Estrat Nao Definida	Geologia Oceanica	
Estrat Pre Rift	Geologia Oceanica	
Estrat Rift	Geologia Oceanica	
Estrat Transicional	Geologia Oceanica	
Estrat Marinho Restrito	Geologia Oceanica	
Estrat Marinho Franco	Geologia Oceanica	
Colunas Estratigraficas	Geologia Oceanica	
Isopacas	Geologia Oceanica	
Isopacas Texto	Geologia Oceanica	
Anomalia Magnetica	Geologia Oceanica	
Limite Evaporitos	Geologia Oceanica	
Canal	Geologia Oceanica	
Lineamento Estrutural	Geologia Oceanica	
Estruturas Textos	Geologia Oceanica	
Embasamento Continental	Geologia Oceanica	
Cordilheira Fueguina	Geologia Oceanica	
Alto Embasamento	Geologia Oceanica	
Rocha Magmatica	Geologia Oceanica	
Cristas Oceanicas	Geologia Oceanica	
Falhas Oceanicas	Geologia Oceanica	
Zonas Fraturas	Geologia Oceanica	
Sentido Sedimentacao	Geologia Oceanica	
Ilhas	Geologia Oceanica	
Fossa Oceanica	Geologia Oceanica	
Curso.Dagua	Hidrografia	
Lagos	Hidrografia	
Texto.Hidro	Hidrografia	
Litocronologia	Litocronologia	Lito
Corpo Igneo	Litocronologia	Corpos Ig Pontuais
Dique	Litocronologia	Diques
Lito Texto	Litocronologia	
Lito Lideres	Litocronologia	
Vulc.Nd	Ornamentos	
Vulc.Ai	Ornamentos	
Vulc.Bi	Ornamentos	
Vulc.Al	Ornamentos	
Plut.Nd	Ornamentos	
Plut.Ai	Ornamentos	
Plut.Bu	Ornamentos	
Plut.Ca	Ornamentos	
Met	Ornamentos	
Plut.Ai.Pontual	Ornamentos	
Plut.Bu.Pontual	Ornamentos	
Vulcao	Vulcoes	

Anexo 2 – Tabela de Cores RGB:

As cores utilizadas no Mapa Geológico da América do Sul seguiram as definições da Tabela Estratigráfica Internacional, apresentada pela União Internacional de Ciências Geológicas da UNESCO. A seguir são apresentados os valores RGB para composição de cores das unidades litocronológicas.

Litocronologia	R	G	B
A (Arqueano)	255	92	255
A* (Arqueano)	255	0	230
A2 (Arqueano)	212	120	148
AP* (Arqueano a Paleoproterozoico)	255	92	148
AP (Arqueano a Paleoproterozoico)	212	120	194
C (Carbonifero)	94	94	94
CP (Carbonifero-Permiano)	168	168	148
D (Devoniano)	255	194	92
e (Cambriano)	242	120	92
eO (Cambro-Ordoviciano)	194	92	0
J (Jurassico)	61	212	148
JK (Juro-Cretaceo)	137	205	137
K (Cretaceo)	148	230	0
M (Mesoproterozoico)	230	153	230
M1 (Mesoproterozoico)	230	153	212
M2 (Mesoproterozoico)	230	153	194
MN (Meso a Neoproterozoico)	255	194	230
MN1 (Meso a Neoproterozoico)	255	194	194
MN2 (Meso a Neoproterozoico)	255	230	255
MZ (Mesozoico)	92	255	92
N (Neoproterozoico)	194	148	230
N1 (Neoproterozoico)	194	148	194
N2 (Neoproterozoico)	230	194	230
N3 (Neoproterozoico)	148	92	148
Ne (Neoproterozoico III - Cambriano)	242	120	148
NO (Neoproterozoico III - Ordoviciano)	242	61	0
O (Ordoviciano)	230	148	0
OS (Ordoviciano-Siluriano)	230	92	0
P (Permiano)	148	194	194
P* (Paleoproterozoico)	230	92	194
P (Paleoproterozoico)	255	230	255
P_1 (Paleoproterozoico)	255	194	194
P_2 (Paleoproterozoico)	205	137	137
P_M (Paleo a Mesoproterozoico)	255	148	92
P_M2 (Paleo a Mesoproterozoico)	255	194	148
P_ (Paleoproterozoico)	255	230	230
P_2 (Paleoproterozoico)	230	153	174
Pe (Pre-Cambriano)	242	168	148
PZ1 (Paleozoico)	242	212	194
Q (Quaternario)	255	255	194
S (Siluriano)	230	148	92
SD (Siluro-Devoniano)	242	120	0
T (Terciario)	255	230	92
T1 (Paleogeno)	255	255	0
T2 (Neogeno)	255	255	148
T2Q (Neogeno-Quaternario)	242	242	92
TQ (Terciario-Quaternario)	255	255	92
Tr (Triassico)	61	212	92
TrJ (Triassico-Jurassico)	92	148	0