

# **UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA SELEÇÃO DE ALVOS EM PESQUISA GEOLÓGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre.

**Área de concentração:** Análise Espacial

**Orientador:** Dr. João Alberto Pratini de Moraes

**Mestrando:** Jarbas Lima Dias Sampaio

**PUC-MG  
Belo Horizonte  
2003**

## AGRADECIMENTOS

Desejo aqui expressar os meus agradecimentos a todas as pessoas e instituições que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho:

A COMIG – Companhia Mineradora de Minas Gerais – nas pessoas de Marcelo Arruda Nassif e Wagner Geraldo da Silva, respectivamente Diretor de Desenvolvimento Mineral e Coordenador de Desenvolvimento Mineral por me desvincularem parcialmente de minhas funções, abrindo espaço para a realização do Mestrado.

A PRODEMGE – Companhia de Processamento de Dados do Estado de Minas Gerais pela cessão de arquivos digitais, referentes a 11 folhas topográficas, vitais para o desenvolvimento deste trabalho.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Ao meu orientador – Prof. João Alberto Pratini de Moraes – pelo auxílio, revisão, leitura crítica e observações realizadas durante o desenvolvimento da dissertação.

Aos geólogos Ulisses Cyrino Penha e João Christophe, o primeiro pelo apoio, incentivo, indicação do curso e o segundo pela troca de e-mails sobre dúvidas com o SURFER, respectivamente.

Á geóloga Sirley de Oliveira, pelo empréstimo do manual do 3D Analyst, item fundamental neste trabalho.

Á Elizabeth Nunes Lima, secretária do Curso de Pós-Graduação, eficaz na solução rápida de todos os problemas , geralmente apresentando sugestões e soluções oportunas e sempre bem vindas.

Aos colegas da COMIG, Sávio Costa Figueiredo, Pedro Paulo da Luz, Roberto do Carmo Ferreira, Karina Azevedo Silva, Andréa Vaz de Melo pelo companheirismo, pela constante troca de favores, apoio e cumplicidade. A Duane Paiva de Moraes e Marcelo Oliveira pelas constantes solicitações para esclarecimento de dúvidas, sempre bem atendidas.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A região de Unaí-Paracatu-Vazante insere-se na Província Mineral Bambuí, constituindo uma das mais importantes e mais ricas do estado de Minas Gerais, encerrando importantes depósitos, jazidas e ocorrências minerais, destacando ouro, chumbo, zinco, diamante, matérias-primas para construção civil, entre outras. Este trabalho apresenta inicialmente as definições, características, funcionalidades, desenvolvimento, e tipos de GIS. Com a utilização de um GIS, especificamente Arcview 3.2a, e uma de suas extensões, 3D Analyst, foi possível desenvolver Modelos Digitais de Terreno – MDT, a partir de pontos cotados gerados de curvas de nível que forneceram um modelo tridimensional, realístico da região. A superposição de elementos como ocorrências minerais, sistema de drenagem ou malha viária sobre estes modelos, impõem a eles uma nova perspectiva, realçando as suas características e o seu poder de representação. Uma segunda etapa deste trabalho consistiu do tratamento estatístico de amostras de sedimento de corrente, concentrado de bateia, rocha e solo, analisadas para os seguintes elementos: ouro, cobre, chumbo e zinco. Através do método de interpolação Krigagem e da construção de mapas de contorno foi possível identificar trinta e oito pontos anômalos considerados para os elementos acima. Estes pontos foram então superpostos com pontos de ocorrências minerais cadastrados pelo Projeto São Francisco, o que permitiu atestar a confiabilidade do método utilizado. Os resultados aqui apresentados poderão vir a constituir subsídios para um projeto de maior magnitude e/ou nível de detalhamento. Inseridos dentro deste novo contexto, novos dados, elementos e idéias poderão surgir, corroborando as propostas iniciais deste trabalho.

## ABSTRACT

The Unaí-Paracatu-Vazante region is inserted in the Mineral Province Bambuí, constituting one of the most important and richer of the state of Minas Gerais, containing important mines, mineral deposits and occurrences, mainly gold, lead, zinc, diamond, minerals for civil construction, among others. This work presents initially the definitions, characteristics, functionalities, development, and types of GIS. With the use of a GIS, specifically Arcview 3.2a, and one of its extensions, 3D Analyst, was possible to develop Digital Terrain Models - DTM, from quoted points generated of levels contours that had supplied a three-dimensional model, realistic of the region. The overlapping of elements such as mineral occurrences, system of draining or road, bring a new perspective to this models, enhancing its characteristics and its power of representation. One second stage of this work consisted of the statistical treatment of samples of stream sediment, pan concentrate, rock and soil, analyzed for the following chemical elements: gold, copper, lead and zinc. Through of the Krigagem, a method of interpolation, together with the construction of contour maps was possible to identify thirty and eight anomalous points. These points had been then combined with points of mineral occurrences cadastrated by the São Francisco Project, what it allowed to certify the trustworthiness of used method.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 <i>Objetivos</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 <i>Geologia Regional</i> .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 <i>Recursos Minerais</i> .....</b>	<b>11</b>
<b>2 CONCEITOS SOBRE GIS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 <i>Histórico da evolução do GIS.....</i></b>	<b>22</b>
<b>2.2 <i>Funções de um GIS.....</i></b>	<b>25</b>
<b>2.3 <i>Estrutura de um GIS.....</i></b>	<b>31</b>
<b>2.4 <i>Transportando as entidades geográficas para o computador .....</i></b>	<b>33</b>
<b>2.5 <i>A representação das entidades geográficas .....</i></b>	<b>35</b>
<b>2.6 <i>A caracterização dos dados .....</i></b>	<b>37</b>
<b>3 MODELOS DIGITAIS DE TERRENO .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1 <i>Fontes de dados disponíveis para a construção do MDT.....</i></b>	<b>42</b>
<b>3.1.1 <i>Fonte e captura de dados .....</i></b>	<b>42</b>
<b>3.1.2 <i>Construção do modelo .....</i></b>	<b>43</b>
<b>3.1.3 <i>Interpolação baseada em TIN.....</i></b>	<b>51</b>
<b>3.2 <i>Características do 3D Analyst.....</i></b>	<b>52</b>
<b>3.2.1 <i>Visão geral .....</i></b>	<b>52</b>
<b>4 FONTES DE DADOS .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 <i>Folhas topográficas na escala 1:100.000 .....</i></b>	<b>55</b>
<b>4.2 <i>Folhas topográficas na escala 1:250.000 .....</i></b>	<b>56</b>
<b>4.3 <i>IBGE – Malha municipal do Brasil – Situação em 1997.....</i></b>	<b>60</b>
<b>4.4 <i>Projeto São Francisco - Província mineral Bambuí .....</i></b>	<b>60</b>
<b>4.5 <i>Geologia e geoprocessamento para integração e interpretação de dados exploratórios na região de Paracatu – Vazante, para montagem de dossiê sobre o Projeto Ouro/Metais base Paracatu .....</i></b>	<b>62</b>
<b>4.6 <i>A preparação dos dados .....</i></b>	<b>63</b>
<b>5 A CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE TERRENO .....</b>	<b>66</b>
<b>5.1 <i>As etapas da construção do modelo .....</i></b>	<b>66</b>
<b>5.2 <i>Características para os MDT's dos Blocos Norte, Centro e Sul.....</i></b>	<b>77</b>
<b>5.3 <i>O processo de interpolação .....</i></b>	<b>77</b>
<b>5.4 <i>A construção de grids .....</i></b>	<b>83</b>
<b>6 O TRATAMENTO DOS DADOS GEOQUÍMICOS NO SURFER .....</b>	<b>87</b>
<b>6.1 <i>O processo de Krigagem.....</i></b>	<b>104</b>
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>136</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>140</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Localização da área de estudo, área coberta pelo levantamento geoquímico e do limite da Bacia do São Francisco no estado de Minas Gerais....	4
FIGURA 2 Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco, exibindo sua delimitação e faixas marginais.....	7
FIGURA 3 Mapa geológico simplificado de Minas Gerais.....	10
FIGURA 4 Mapa de localização da Província Mineral Bambuí no estado de Minas Gerais .....	12
FIGURA 5 Localização das principais sub-províncias e distritos minerais da província Mineral Bambuí em Minas Gerais .....	13
FIGURA 6 Relações existentes entre GIS, programas de CAD, gerenciamento de base de dados, sensoriamento remoto e cartografia digital.....	21
FIGURA 7 Arquitetura em três camadas de um GIS.....	31
FIGURA 8 Interrelações entre os vários estágios do modelamento digital de terreno.....	41
FIGURA 9 Estruturas de dados mais comuns utilizadas em MDT .....	49
FIGURA 10 Triangulação de Delaunay .....	50
FIGURA 11 Exemplo da tabela de atributos após transformação das curvas de níveis em pontos utilizando o script anyshape2point.....	68
FIGURA 12 Modelo Digital de Terreno para o Bloco Norte.....	71
FIGURA 13 Modelo Digital de Terreno para o Bloco Centro.....	72
FIGURA 14 Modelo Digital de Terreno para o Bloco Sul .....	73
FIGURA 15 Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Norte .....	74
FIGURA 16 Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Centro .....	75
FIGURA 17 Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Sul.....	76

FIGURA 18 Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Norte sem interpolação/com interpolação .....	80
FIGURA 19 Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Centro sem interpolação/com interpolação .....	81
FIGURA 20 Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Sul sem interpolação/com interpolação .....	82
FIGURA 21 Grid do Bloco Norte gerado a partir da conversão do respectivo TIN .....	84
FIGURA 22 Grid do Bloco Centro gerado a partir da conversão do respectivo TIN .....	85
FIGURA 23 Grid do Bloco Sul gerado a partir da conversão do respectivo TIN .....	86
FIGURA 24 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Au (aa) Classe: Concentrado de bateia .....	90
FIGURA 25 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Au (espec) Classe: Concentrado de bateia .....	90
FIGURA 26 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Cu (aa) Classe: Concentrado de bateia .....	91
FIGURA 27 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Cu (espec) Classe: Concentrado de bateia.....	91
FIGURA 28 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Pb (aa) Classe: Concentrado de bateia.....	92
FIGURA 29 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Pb (espec) Classe: Concentrado de bateia .....	92
FIGURA 30 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Zn (aa) Classe: Concentrado de bateia.....	93
FIGURA 31 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Zn (espec) Classe: Concentrado de bateia .....	93
FIGURA 32 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Cu (aa) Classe: Sedimento de corrente .....	94

FIGURA 33 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Cu (espec) Classe: Sedimento de corrente.....	94
FIGURA 34 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Pb (aa) Classe: Sedimento de corrente.....	95
FIGURA 35 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Pb (espec) Classe: Sedimento de corrente .....	95
FIGURA 36 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Zn (aa) Classe: Sedimento de corrente.....	96
FIGURA 37 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Zn (espec) Classe: Sedimento de corrente.....	96
FIGURA 38 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Au (aa) Classe: Rocha .....	97
FIGURA 39 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Cu (aa) Classe: Rocha .....	97
FIGURA 40 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Cu (espec) Classe: Rocha.....	98
FIGURA 41 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Pb (aa) Classe: Rocha.....	98
FIGURA 42 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Pb (espec) Classe: Rocha .....	99
FIGURA 43 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Zn (aa) Classe: Rocha.....	99
FIGURA 44 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Zn (espec) Classe: Rocha.....	100
FIGURA 45 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Au (aa) Classe: Solo .....	100
FIGURA 46 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Au (espec) Classe: Solo.....	101
FIGURA 47 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Cu (aa) Classe: Solo.....	101

FIGURA 48 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Cu (espec) Classe: Solo .....	102
FIGURA 49 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Pb (aa) Classe: Solo .....	102
FIGURA 50 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Pb (espec) Classe: Solo.....	103
FIGURA 51 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Zn (aa) Classe: Solo.....	103
FIGURA 52 Distribuição espacial e histograma de freqüência para o elemento Zn (espec) Classe: Solo .....	104
FIGURA 53 Diferentes resultados utilizando os interpoladores disponíveis no Surfer para um conjunto de dados .....	110
FIGURA 54 Mapas de contorno das variáveis Au_aa, Cu_aa, Cu_espec, Pb_aa, Pb_espec, Zn_aa e Zn_espec para a classe Concentrado de bateia .....	116
FIGURA 55 Mapa de contorno da variável Cu_aa para a classe Sedimento de corrente.....	117
FIGURA 56 Mapa de contorno da variável Pb_aa para a classe Rocha.....	117
FIGURA 57 Mapas de contorno das variáveis Au_espec, Pb_aa, e Zn_aa para a classe Solo.....	118
FIGURA 58 Mapas de contorno combinado com mapas “wireframe” das variáveis Au_aa, Cu_aa, Cu_espec, Pb_aa, Pb_espec, Zn_aa e Zn_espec para a classe Concentrado de bateia .....	122
FIGURA 59 Mapa de contorno combinado com mapa “wireframe” da variável Cu_aa para a classe Sedimento de corrente .....	123
FIGURA 60 Mapa de contorno combinado com mapa “wireframe” da variável Pb_aa para a classe Rocha.....	123
FIGURA 61 Mapas de contorno combinado com mapas “wireframe” das variáveis Au_espec, Pb_aa, e Zn_aa para a classe Solo.....	125
FIGURA 62 Mapa indicando a localização das anomalias das classes Concentrado de bateia e Sedimento de corrente plotadas sobre rede de drenagem.....	129

FIGURA 63 Mapa indicando a localização das anomalias das classes Solo e Rocha plotadas sobre malha viária.....	130
FIGURA 64 Superposição das anomalias de Au, Cu, Pb e Zn detectadas neste trabalho com ocorrências minerais dos mesmos elementos cadastradas pelo Projeto São Francisco.....	131
FIGURA 65 Superposição das anomalias de Au detectadas neste trabalho com ocorrências minerais do mesmo elemento cadastradas pelo Projeto São Francisco.....	132
FIGURA 66 Superposição das anomalias de Cu detectadas neste trabalho com ocorrências minerais do mesmo elemento cadastradas pelo Projeto São Francisco.....	133
FIGURA 67 Superposição das anomalias de Pb detectadas neste trabalho com ocorrências minerais do mesmo elemento cadastradas pelo Projeto São Francisco.....	134
FIGURA 68 Superposição das anomalias de Zn detectadas neste trabalho com ocorrências minerais do mesmo elemento cadastradas pelo Projeto São Francisco.....	135

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 Temas disponíveis das folhas topográficas digitais na escala 1:250.000 .....	58
TABELA 2 Temas disponíveis das folhas topográficas digitais na escala 1:100.000 .....	59
TABELA 3 Tipos de dados geoquímicos disponíveis.....	64
TABELA 4 Principais características dos MDT's construídos.....	77
TABELA 5 Situação das 32 variáveis submetidas ao processo de krigagem ...	112
TABELA 6 Algumas características das 12 amostras que deram respostas positivas a krigagem.....	113
TABELA 7 Anomalias identificadas a partir dos mapas de contorno .....	126

**LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1 Principais recursos minerais da Província Mineral Bambuí ..... 14

Nota: “Os anexos encontram-se inseridos no CD que acompanha esta publicação”.

## 1 INTRODUÇÃO

A Bacia do São Francisco compreende uma grande área nos Estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais. Neste último, centenas de ocorrências minerais, espalhadas por toda a região da bacia, elevam-na à categoria de um dos mais importantes distritos mineiros do estado, dada a variedade e economicidade destas ocorrências. Outro fator que deve ser levado em consideração, no que tange a importância econômica e geológica da bacia é a presença de importantes minas: Morro Agudo (Pb e Zn), Morro do Ouro (Au) e CMM e Masa (Zn), localizadas nas porções centro e sul, próximas aos municípios de Paracatu e Vazante.

Atualmente a **COMIG** – Companhia Mineradora de Minas Gerais - em parceria com a **CPRM** – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, executa o Projeto São Francisco, um amplo mapeamento geológico nas escalas 1:100.000 e 1:250.000, incluindo cadastro de ocorrências minerais e recursos hídricos subterrâneos em uma área de aproximadamente 220.000 km<sup>2</sup>, inserida nos limites da bacia, abrangendo cerca de 38% do território do estado de Minas Gerais.

Além disto, essa região também já foi alvo de extensos programas de reconhecimento geológico que tinham como objetivo determinar novas áreas de pesquisa e alvos para prospecção geológica.

Trabalhos como o Projeto Bambuí e diversos outros realizados pela COMIG, principalmente em áreas de pesquisa de sua titularidade cumpriam estes objetivos, assim como campanhas de prospecção geoquímica realizadas em sedimentos de corrente, concentrado de bateia, rocha e solo, principalmente.

Esta enorme quantidade de trabalhos realizados gerou uma grande e variada gama de informações e dados que precisam ser melhor compilados, tratados e gerenciados, sendo que programas de GIS (*Geographical Information Systems*) são os mais indicados, dada a sua particularidade de lidar e manusear dados espacialmente referenciados.

Este contexto confere a região oeste de Minas Gerais relevada importância econômica, motivo pelo qual determinou sua escolha como área de trabalho deste projeto. Mais especificamente, a área abordada neste trabalho abrange as seguintes folhas topográficas: Cachoeira do Queimado (SE-23-V-A-II), Unaí (SE-23-V-A-III), Ribeirão Arrojado (SE-23-V-A-V), Serra da Aldeia (SE-23-V-A-VI), Cavaleiros (SE-23-V-C-I), Serra da Tiririca (SE-23-V-C-II), Paracatu (SE-23-V-C-III), Guarda-Mor (SE-23-V-C-V), Arrenegado (SE-23-V-C-VI), Coromandel (SE-23-Y-A-III) e Lagamar (SE-23-Y-A-III) .

Diferentes tipos de dados vetoriais digitais, concernente à região acima, foram utilizados para o modelamento de dados contínuos, permitindo a construção de Modelos Digitais de Terrenos através de tratamento em Arcview 3.2a e sua extensão 3D Analyst. Os resultados apresentados tem como objetivo melhorar a compreensão e visualização das distribuições e relações espaciais entre as várias entidades.

Na região acima descrita está inserida uma área que foi objeto de amplo levantamento geoquímico (Fig.1). Resultados de análises químicas para ouro (Au), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn) em amostras de sedimento de corrente, concentrado de bateia, rocha e solo consistiram a fonte de dados para a localização de alvos de pesquisa geológica. Estes alvos foram determinados realizando nestas análises, a interpolação pelo método “Kriging” com o auxílio do “software” SURFER 7.0. Os resultados permitiram identificar 38 pontos considerados anômalos correspondentes aos elementos acima mencionados. Posteriormente, estes pontos foram confrontados com ocorrências minerais cadastradas pelo Projeto São Francisco com o objetivo de atestar e comprovar a metodologia empregada.

No entanto, é permitido afirmar que os resultados aqui obtidos são o início para um projeto de maior amplitude que, envolvendo outras etapas de trabalho como, por exemplo, sondagem, prospecção geoquímica de detalhe, análises químicas, etc, irão caracterizar melhor a ambiência geológica e consequentemente trazer novos dados para serem incorporados.

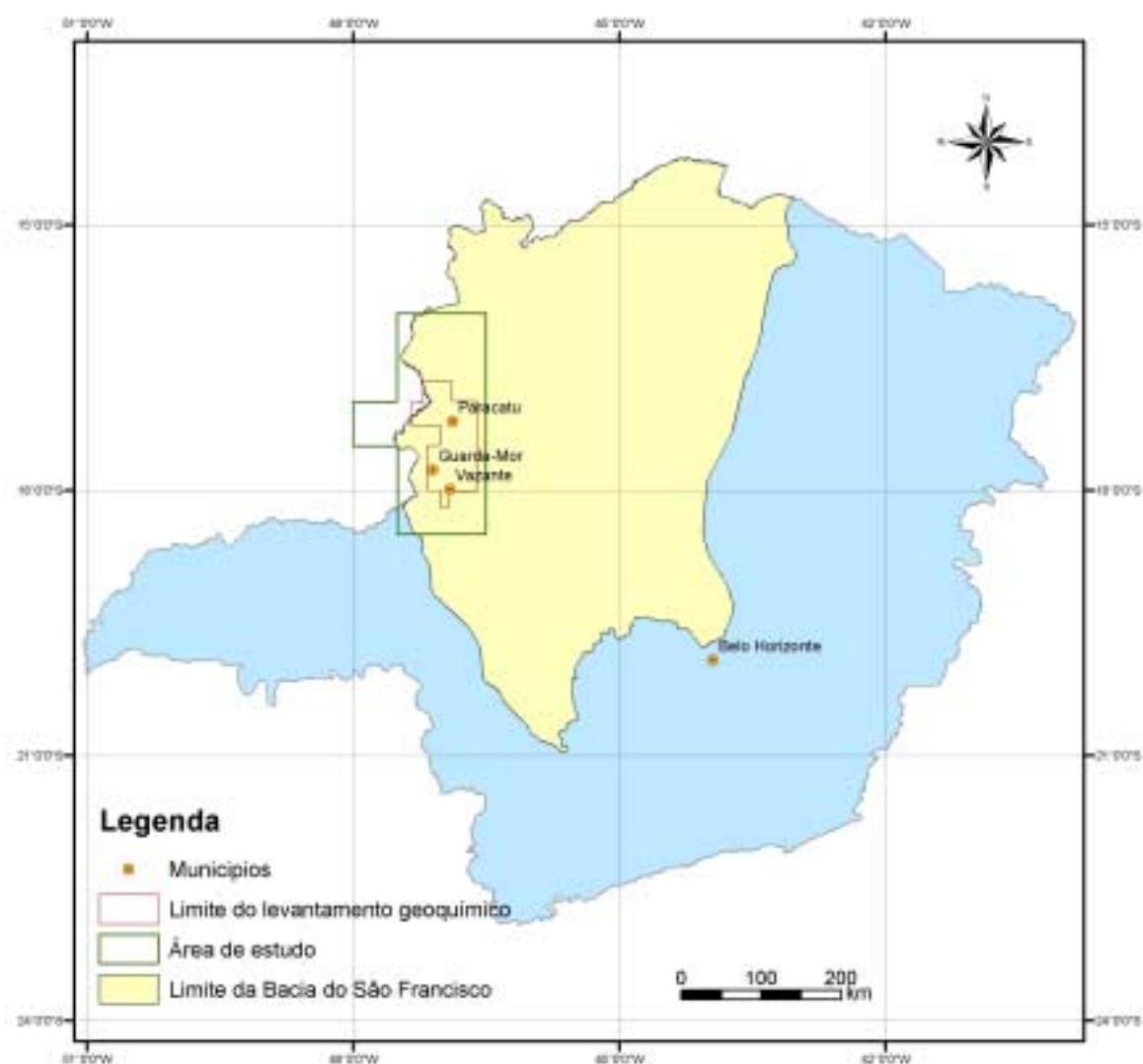


Figura 1 – Localização da área de estudo, da área coberta pelo levantamento geoquímico e do limite da Bacia do São Francisco no estado de Minas Gerais. FONTE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1999).

## ***1.1 Objetivos***

Os objetivos principais desse trabalho são:

- Lidar, manusear e representar graficamente dados espacialmente referenciados – representados por três entidades fundamentais: ponto, linha e polígono - através da utilização de programa de GIS, mais especificamente Arcview 3.2a;
- Realizar a construção de Modelos Digitais de Terreno – MDT para compreensão e visualização das distribuições e relações espaciais de diferentes entidades com a utilização do 3D Analyst, uma extensão que opera em conjunto com o Arcview 3.2a;
- Estabelecer e definir pontos anômalos para quatro elementos selecionados: ouro (Au), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn) a partir de tratamento estatístico utilizando o processo de interpolação “Krigagem”. Este tratamento foi realizado através do “software” SURFER 7.0 em análises químicas efetuadas em amostras de sedimento de corrente, concentrado de bateia, rocha e solo coletadas em uma malha geoquímica;
- Verificar a exatidão deste processo confrontando os pontos anômalos obtidos com anomalias já conhecidas e cadastradas do Projeto São Francisco, considerado os mesmos elementos acima descritos.

## ***1.2 Geologia Regional***

A Bacia do São Francisco, abrangendo uma área de aproximadamente 500.000 km<sup>2</sup> nos estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás (ALKMIN ; MARTINS NETO, 2001) reveste-se de enorme importância geológica e econômica devido principalmente às inúmeras e diversas ocorrências minerais presentes, podendo citar: cobre, chumbo, zinco, ouro, flúor, ferro, manganês, diamante, calcário, fosfato, areia, argila, arenito, ardósia, gás, etc, além de hospedar importantes minas: Morro Agudo (chumbo e zinco), Morro do Ouro (ouro), CMM (zinco), MASA (zinco).

Alkmin e Martins Neto (2001) apresentam uma breve discussão dos limites da bacia, salientando que não há uma formação clara e de ampla aceitação. Deste modo, eles informam as duas definições mais coerentemente aceitas, a saber:

- a) a Bacia do São Francisco é a porção sul do Cráton do São Francisco;
- b) é o local de deposição dos sedimentos neoproterozóicos do Supergrupo São Francisco, (ou às vezes somente do Grupo Bambuí) extrapolando sua extensão para além dos limites do Cráton.

Para a primeira definição, estes autores delimitam os limites da bacia nas seguintes feições: SUL – contato entre as rochas do Supergrupo São Francisco e o substrato cratônico, LESTE – Faixa Araçuaí, OESTE - Faixa Brasília, NORTE - Faixa Rio Preto , NORDESTE – Corredor do Paramirim, evidenciado pela Serra do Espinhaço e Serra do Boqueirão (Fig. 2).



Figura 2 – Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco, exibindo sua delimitação e faixas marginais.  
FONTE: Alkmin e Martins Neto (2001).

Cabe aqui então, exemplificar o que é o Cráton do São Francisco: definido inicialmente por Almeida (1977), o Cráton do São Francisco constitui uma província geotectônica e metalogenética que permaneceu estável relativamente às suas faixas marginais: Faixas Araçuaí, Alto Rio Grande, Brasília, Rio Preto, Riacho do Pontal e Sergipana (FUCK et al., 1993; SOARES et al., 1994).

A principal faixa móvel, situada à oeste do cráton, – Faixa Brasília - envolve as grandes unidades geológicas que são tema da área de estudo deste trabalho. Como evidenciado no Mapa Geológico Simplificado de Minas Gerais (Fig. 3) – modificado a partir de Soares et al. (1994) - estas unidades compreendem:

Grupo Bambuí - estudado inicialmente por Branco e Costa (1961) e desde então alvo de estudo por diversos autores (OLIVEIRA, 1967; AMARAL; KAWASHITA, 1967; BRAUN, 1968; SCHOLL, 1973; DARDENNE, 1978a, 1979, 1981 dentre outros), este grupo extende-se por uma grande área do estado de Minas Gerais, sendo constituído por seqüências carbonáticas, folhelhos, siltitos, argilitos e arenitos arcoseanos.

Grupo Araxá - definido por Barbosa (1955), Barbosa et al. (1970), compreende uma pilha vulcão-sedimentar (ALMEIDA, 1977; COSTA ; ANGUEIRAS, 1971; TEIXEIRA ; DANNI, 1978; CAMPOS NETO, 1984) compreendendo micaxistas, anfibolitos, biotita-granada-gnaisses, xistos granatíferos com intercalações de quartzitos, metaultramáficas e biotita gnaisses localmente granatíferos. SOARES et al. (1994) subdividem este grupo em três domínios: ARX, ARG1 e ARG2, estes dois últimos localizados no segmento sul da Faixa Brasília.

Grupo Canastra – definido inicialmente por Barbosa (1955) e Barbosa et al. (1970) representa uma associação de metasedimentos pelíticos e psamíticos freqüentemente contendo carbonato e consistindo essencialmente de filito e quartzito (DARDENNE, 2000).

Formação Paracatu – definida por Almeida (1969) compreende uma seqüência de filitos, carbonosos ou não, com intercalações de quartzitos (FREITAS SILVA; DARDENNE, 1992; DARDENNE, 2000).

Formação Vazante – constituída essencialmente por lentes de dolomito estromatolítico envolvidas por sedimentos (DARDENNE, 1978, 1979). Soares et al. (1994) salientam que esta formação constitui uma unidade distinta do Grupo Bambuí, estando grosseiramente orientada N-S, e geralmente está associada com importantes depósitos de chumbo-zinco e fosfato.

Grupo Paranoá – especificamente na região de Unaí, compreende quartzitos, siltitos, dolomitos , calcários e cherts recobertos discordantemente (discordância erosiva) por sedimentos do Supergrupo São Francisco (DARDENNE, 1978, 1979, 1981; DARDENNE ; FARIA, 1986).

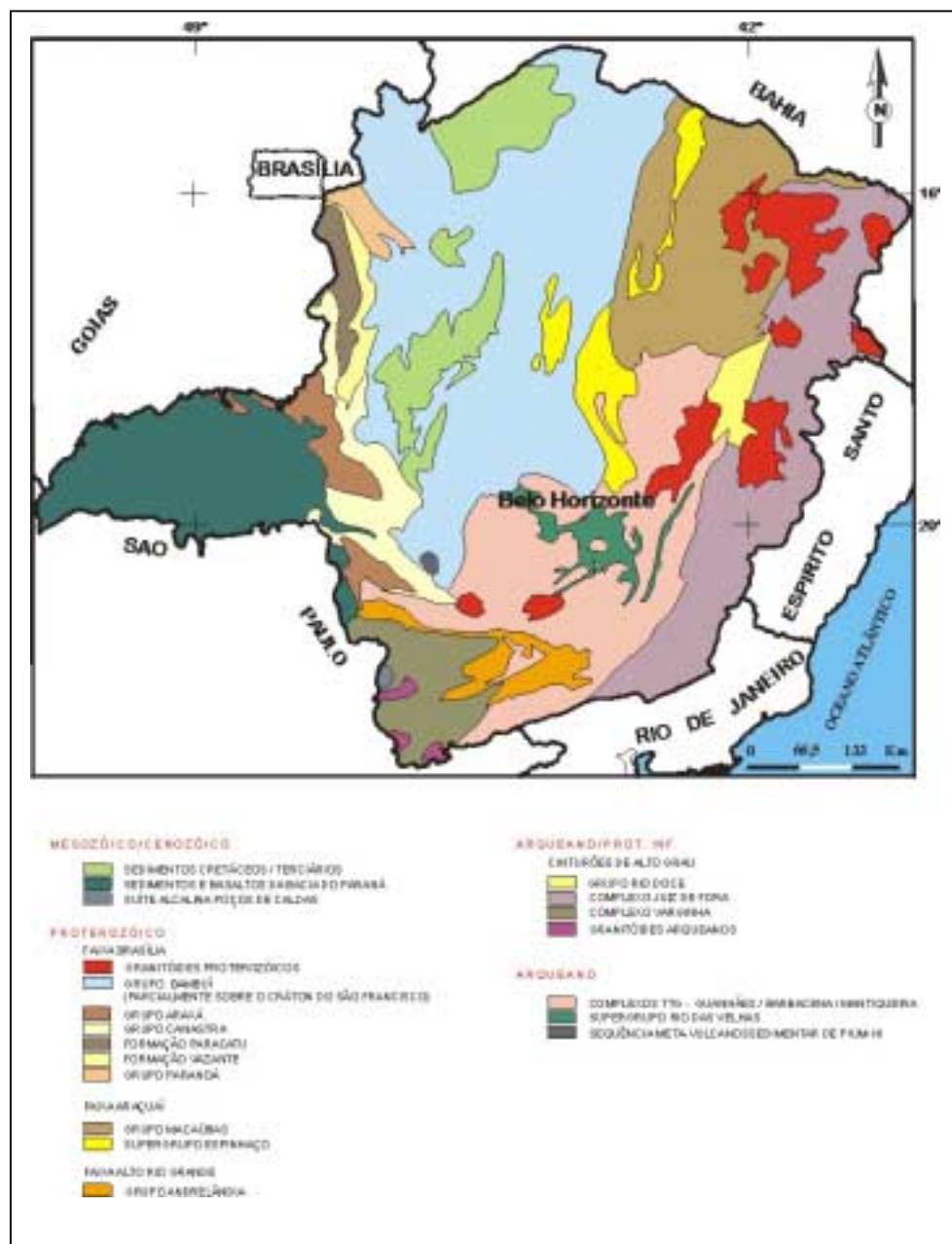


Figura 3 – Mapa geológico simplificado de Minas Gerais. FONTE: modificado de Soares et al., (1994).

### **1.3 Recursos Minerais**

A denominada Província Mineral Bambuí, inserida na Bacia do São Francisco, compreende uma grande área territorial incluindo parte dos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia. Em Minas Gerais abrange uma região de aproximadamente 220.000 km<sup>2</sup> na porção centro-ocidental do estado (PINTO et al., 2001) (Fig. 4).

Atualmente essa área é objeto de mapeamento geológico pelo Projeto São Francisco, através de um convênio firmado entre o Governo do Estado de Minas Gerais, representado pela **SEME** – Secretaria de Estado de Minas e Energia , **COMIG** – Companhia Mineradora de Minas Gerais, e a **CPRM** – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, que pretendem lançar mapas nas escalas 1:100.000 e 1:250.000 além de efetuar o cadastro das ocorrências minerais e recursos hídricos subterrâneos.

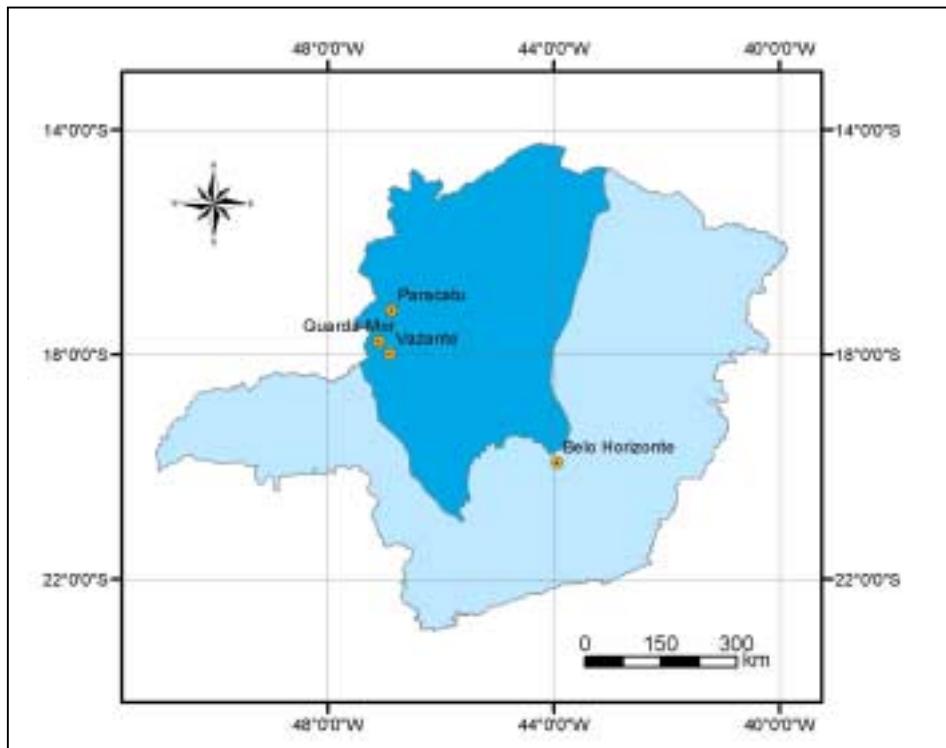


Figura 4 – Mapa de localização da Província Mineral Bambuí no estado de Minas Gerais.  
FONTE: Pinto et al.,(2001).

Tal iniciativa é justificada pelo alto interesse econômico da província, representado por cerca de 700 depósitos minerais, entre minas, jazidas e ocorrências minerais. Dentre estes depósitos destacam-se mineralizações de chumbo, zinco, prata, flúor, bário, ouro, quartzo, argilas, rocha fosfática, calcário, ardósia, diamante, gás natural, turfa, etc., (PINTO et al., 2001).

Os autores acima, ainda aproveitando-se das definições de Província Mineral e Distrito Mineral, adaptadas do Código de Mineração (DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL, 1987) e do Manual Técnico de Geologia da CPRM (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 1996), estabelecem as principais sub-províncias e distritos minerais da Província Mineral Bambuí. (Fig. 5).

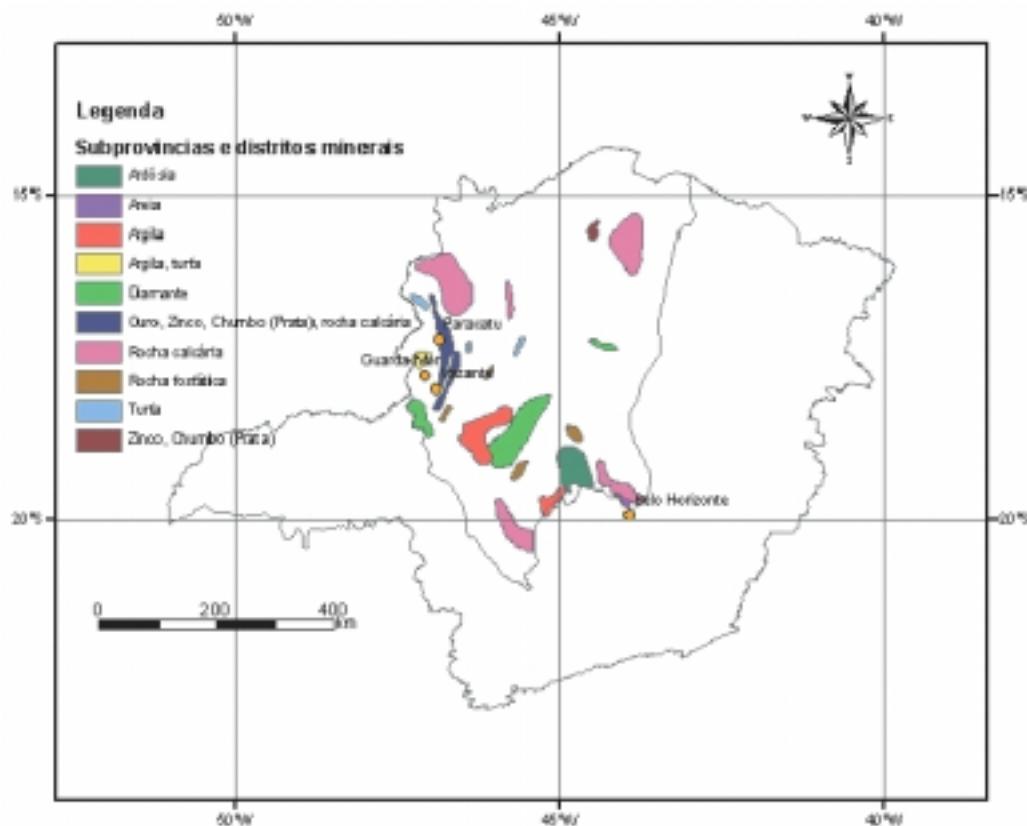


Figura 5 – Localização das principais sub-provincias e distritos minerais da Província Mineral Bambuí em Minas Gerais. FONTE: modificado de Pinto et al. (2001)

O quadro 1 apresenta os principais recursos minerais desta província, segundo PINTO et al. (2001).

**QUADRO 1**  
**PRINCIPAIS RECURSOS MINERAIS DA PROVÍNCIA MINERAL BAMBUÍ**

<b>Recursos minerais metálicos, não metálicos e energéticos</b>				
	<b>Sub-província</b>	<b>Municípios</b>	<b>Minas</b>	<b>Depósitos e ocorrências menores</b>
Pb – Zn	2	Vazante	Morro Agudo CMM MASA	Fagundes, Ambrósia Poções
Pb – Zn	2	Januária, Itacarambi Montalvânia		Pb – Lontra, Capitão Enéas, Tiros Cu – Serra do Landim (Paracatu)
Au	1	Paracatu	Rio Paracatu	
Mn		Peruaçu Itacarambi		Sete Lagoas, Lagoa Santa, Taquaraçu, Jabuticatubas
Calcário	6	Montes Claros, Sete Lagoas, Vespasiano, Arcos, Pains, Unaí, Coromandel		Camadas ou lentes de calcário em coberturas sedimentares nas bacias dos rios Urucuia e Paracatu
Rochas fosfáticas	7	Patos de Minas	Rocinha	Serra da Saudade, Cedro do Abaeté, Coromandel
Ardósia	9	Felixlândia, Papagaios		
Quartzo	4	Francisco Drummond, Joaquim Felício, Buenópolis, Lassance, Várzea da Palma, Jequitáí		
Areia	3	Cachoeira da Prata Esmeraldas, Pedro Leopoldo, Vespasiano		
Argila/ Caulim	5	Monte Carmelo Coromandel, São Gotardo Carmo do Paranaíba São Gonçalo do Abaeté Arapuá, Lagoa Formosa, Patos de Minas, Presid. Olegário		
Espongilito		João Pinheiro Lagoa Grande		
Diamante	8	Coromandel São Gonç. do Abaeté, região da Serra do Cabral		
Gás		Buritizeiros Montalvânia		
Turfa	10,11,12,13, 14	Região do Triângulo, partes W, NW, S do estado		

FONTE: Pinto et al., (2001)

Outros trabalhos acerca dos recursos minerais da Província Mineral Bambuí no contexto do Cráton do São Francisco e suas faixas marginais podem ser encontrados em Lobato e Soares (1993) e Misi et al. (1993) e no contexto da plataforma sul-americana em Dardenne e Schobbenhaus (2000).

## 2 CONCEITOS SOBRE GIS

Longley et al. (2001) destacam a importância da localização geográfica ao afirmarem que as atividades humanas de qualquer natureza ou informações de um determinado local sempre foram preocupações consideradas das mais importantes para a humanidade. Isto porque muitos problemas podem ser solucionados se é conhecida a sua localização geográfica. Para isto, sistemas de informação como programas de GIS (*Geographical Information System*) ajudam a gerenciar as informações que são conhecidas, facilitando processos de organização, armazenamento, acesso, recuperação e manipulação, de modo a sintetizar e aplicar a solução dos problemas.

Esses autores ainda apresentam alguns termos que são utilizados para descrever o que é conhecido:

- **Dados** – números, texto ou símbolos em um sentido neutro, destituídos de qualquer contexto;
- **Informação** – implica em algum grau de seleção, organização e preparação para alguma proposta. Informações são dados utilizados para alguma proposta ou dados que tem sido submetidos a algum tipo de interpretação. Uma característica da informação é a possibilidade de processamento ou fusão com outra informação permitindo agregar valor a ela;

- **Conhecimento** - é considerado como informação na qual tem sido agregado valor adicionando interpretação baseada em um contexto particular, experiência e proposta. Se a informação está disponível em livro ou na internet, ela torna-se conhecimento somente quando é lida e compreendida. Evidência é considerada um meio termo entre informação e conhecimento;
- **Sabedoria** – refere-se ao contexto constituído de decisões quando baseadas no conhecimento disponível, dada alguma compreensão das prováveis consequências.

Um dos grandes méritos do GIS, considerado como ferramenta para a solução de problemas, reside no fato deste programa combinar o geral com o específico. O GIS captura e implementa conhecimento geral enquanto a base de dados representa a informação específica LONGLEY et al. (2001).

Maguire (1991) salienta que o termo GIS (*Geographical Information System*) pode ser aplicado a:

- 1) uma tecnologia computacional orientada geograficamente;
- 2) sistemas integrados usados em aplicações reais e mais recentemente,
- 3) uma nova disciplina que tem gerado grande interesse mundial.

No entanto, ele considera que qualquer assunto ou conceito que apresente um uso muito amplo, quando utilizado por um grupo heterogêneo de usuários, é de difícil definição ou conceituação. Neste contexto, esse autor apresenta duas razões principais que corroboram esta idéia:

- O GIS apresenta diferentes classificações para objetos e assuntos, isto é, dada a diversidade de seu campo de aplicação, muitos métodos diferentes tem sido aplicados;
- Existem dois diferentes métodos que debatem o foco central das atividades dos GIS atuais: alguns autores defendem que “hardware” e “software” são o foco central enquanto outros acham que o elemento chave é a informação que é processada ou as suas aplicações.

Deste modo, Maguire (1991) apresenta várias definições de GIS:

“Um sistema para capturar, armazenar, checar, manipular, analisar e exibir dados que estão espacialmente referenciados na Terra.” (DOE, 1987, citado em MAGUIRE, 1991)

“Um sistema com capacidades avançadas de geomodelamento”.  
(KOSHKARIOV; TIKUNOV ; TROFIMOV, 1989, citado em MAGUIRE, 1991)

“Qualquer conjunto de procedimentos, manual ou computacional, utilizado para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados”.  
(ARONOFF, 1989, citado em MAGUIRE, 1991)

“Um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados espaciais do mundo real”. (BURROUGH, 1986, citado em MAGUIRE, 1991)

“Um sistema de suporte à decisão envolvendo a integração de dados espacialmente referenciados em um ambiente de respostas a problemas”. (COWEN, 1988, citado em MAGUIRE, 1991)

“Uma base de dados indexada espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais”. (SMITH et al., 1987, citado em MAGUIRE, 1991)

Já Longley et al., (2001) apresentam o GIS como uma tecnologia para suportar ciência e solução de problemas, usando conhecimento geral e específico sobre uma realidade geográfica.

Nesse trabalho, o acrônimo GIS será adotado em função de ser um termo consolidado, bastante difundido e de ampla aceitação. Para Longley et al. (2001) muitas definições de GIS tem sido sugeridas e nenhuma delas é inteiramente satisfatória embora muitas optem por descrever o GIS como algo mais do que uma simples tecnologia. O termo GIS atualmente está ligado a muitas coisas: um “software” que pode ser comprado de um fornecedor (“GIS software”), representações digitais de vários aspectos do mundo geográfico na forma de um conjunto de dados (“GIS data”), um conjunto de pessoas que usam e advogam o uso destas ferramentas para várias finalidades (“GIS community”) e a atividade de utilizar um programa de GIS para resolver problemas ou realizar ciência avançada (“doing GIS”), estando a aplicação destes rótulos dependente do contexto no qual é utilizado.

O dado ou informação espacial é melhor discutido por Maguire (1991), que o separa em dois componentes constituintes: o elemento de dado geográfico (ou locacional) e o elemento de dado estatístico ou não-locacional (atributo) sendo que ao primeiro cabe a função de fornecer uma referência para o segundo. Afirma ainda que no GIS, o elemento geográfico é mais importante que o atributo e esta é a característica-chave que o diferencia de outros sistemas de informação, como por exemplo: programas de CAD (*Computer Aided Design*), programas de cartografia digital, programas de gerenciamento de base de dados e sistemas de sensoriamento remoto.

Esta mesma relação é apresentada por Bernhardsen (1992), mas esse autor classifica o dado espacial em dado geométrico e dado de atributo. Este último, por sua vez é subdividido em dado qualitativo e dado quantitativo. Um ponto a ser destacado é que o dado geométrico pode estar relacionado a um ou a vários dados de atributo com a finalidade de descrever melhor as suas características.

Korte (1997) salienta que o GIS apresenta a particularidade de manter bem definidas as relações espaciais entre os dados. Conhecido como topologia, sua abrangência está além da simples descrição da localização e geometria dos dados, descrevendo também como os elementos lineares estão conectados, como áreas estão demarcadas ou quais áreas são contíguas.

Goodchild (1998, citado em MAGUIRE, 1991) salienta que cabe aos sistemas de informação a função de produção de mapas enquanto que o GIS tem a capacidade de analisar dados espaciais.

Esta função de análise é definida por esse autor como sendo “o conjunto de métodos analíticos o qual requer acesso aos atributos do objeto sob estudo e à sua informação locacional”.

A relação entre GIS e diversos outros tipos de sistemas assume uma certa importância e auxilia na compreensão do problema da definição de GIS. A relação existente entre o GIS e sistemas de informação é melhor caracterizada a partir da visualização da Fig. 6 (MAGUIRE, 1991).

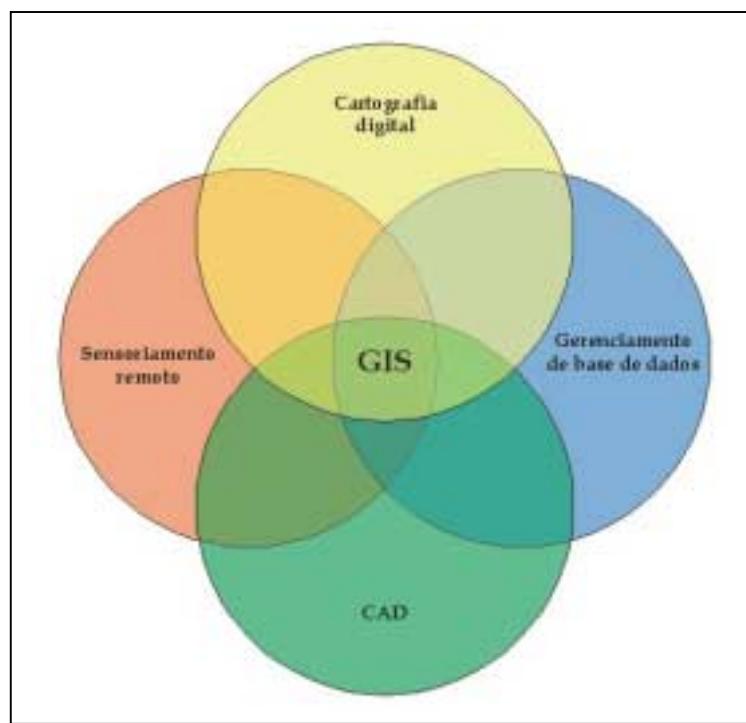


Figura 6 – Relações existentes entre GIS, programas de CAD, gerenciamento de base de dados, sensoriamento remoto e cartografia digital. FONTE: Maguire (1991).

As características principais de cada programa, exibidas na figura acima, são apresentadas a seguir, segundo Maguire (1991):

**CAD** – *Computer Aided Design* – são sistemas desenvolvidos para desenhar objetos e representar suas características a partir de entidades gráficas primitivas. Possuem “links” rudimentares a bases de dados;

**Cartografia digital** – são sistemas voltados principalmente para a recuperação, classificação e simbolização automática de dados (COWEN, 1988 citado em MAGUIRE, 1991);

**DBMS** – *Database Management Systems* ou Sistemas de Gerenciamento de Base de Dados (SGBD) - são sistemas otimizados para armazenar e recuperar dados de atributo;

**Sensoriamento remoto** – designados para coletar, armazenar, manipular e exibir dados matriciais (raster) a partir de “scanners” posicionados em aviões ou satélites.

## **2.1 Histórico da evolução do GIS**

O surgimento de programas de GIS deve-se a uma conjugação de fatores e/ou iniciativas que, ocorrendo independentemente ou não, culminou na reunião dos mais diferentes campos de interesse motivando o seu desenvolvimento ou o desenvolvimento de seus componentes (COPPOCK e RHIND, 1991).

Longley et al. (2001) apresentam a seguir, um breve histórico da evolução do GIS: o primeiro GIS foi o ***Canada Geographic Information System***, na década de 60, desenvolvido como um sistema computadorizado utilizado para realizar medições em mapas. O ***Canada Land Inventory*** foi um esforço maciço dos governos federal e provincial para identificar os recursos terrestres e seus usos potenciais. Os resultados práticos de tal inventário eram medidas de área, ainda que apresentassem dificuldades em sua execução.

Um segundo pico de atividade ocorreu na final da década de 60, quando o ***US Bureau of the Census*** planejou as ferramentas necessárias para realizar o censo da população em 1970. O programa DIME (*Dual Independent Map Encoding*) criou registros digitais de todas as ruas dos Estados Unidos suportando referenciamento automático e agregação de registros. Este projeto encontrou grande similaridade com o programa desenvolvido no Laboratório de Computação Gráfica e Análise Espacial da Universidade de Harvard. Por sua vez, esta universidade desenvolveu um GIS que possibilitava diversas aplicações, culminando no surgimento do ODISSEY GIS no final da década de 70.

Independentemente, cartógrafos e agências de mapeamento tinham começado na década de 60 a questionar se computadores podiam se adaptar às suas necessidades, de modo a reduzir os custos e diminuir o tempo gasto na criação de mapas.

Agências tais como Ordnance Survey (Reino Unido), Institute Geographique National (França), US Geological Survey e US Defense Mapping (ambas dos Estados Unidos) começaram a investigar o uso de computadores para realizar edição de mapas, evitando o oneroso e lento processo de correção manual e reimpressão. Os primeiros desenvolvimentos em cartografia digital ocorreram na década de 60 e final da década de 70.

As técnicas de Sensoriamento remoto também tiveram uma participação importante no desenvolvimento do GIS, assumindo papéis de fonte de tecnologia e de dados. Embora o início, na década de 50, tenha sido marcado pela utilização de satélites militares espiões, já na década de 60, sistemas digitais de sensoriamento remoto já eram utilizados. Na década de 70, sistemas como o Landsat forneciam dados sobre a superfície terrestre e exploravam as tecnologias de classificação de imagens e reconhecimento de padrões, técnicas estas já exploradas para aplicações militares. Outras aplicações desenvolvidas para o uso militar como métodos de controle posicional e GPS (*Global Positioning System*) também foram incorporados.

O GIS começou realmente a ter um grande impulso no início da década de 80 com a queda nos preços de “hardware” e o consequente barateamento no custo dos sistemas.

Coppock e Rhind (1991) definem vários estágios da evolução do GIS : o primeiro, definido no intervalo entre a década de 60 até meados de 1975 é motivado por ações individuais de pessoas que iniciaram o desenvolvimento de uma nova tecnologia;

o segundo de 1973 ao início da década de 80 experimenta a regulamentação e padronização de práticas que futuramente viriam a ser implementadas, esforço este realizado por agências governamentais e universidades; a terceira fase, de 1982 até o final da década de 80 foi a do predomínio comercial e finalmente a quarta e atual fase é a do domínio do usuário, suas ações e interesses determinam a competição visando o predomínio no mercado de GIS. A busca pela interoperabilidade ou sistema aberto é outra característica desta fase.

Estes autores ainda apontam que o principal fator impeditivo para a construção da história evolutiva do GIS está relacionado à ausência de publicações e/ou trabalhos referentes ao desenvolvimento desta nova tecnologia, (exceções devem ser feitas) e a pouca relevância dada a ela, ressaltando que o desenvolvimento do GIS deve-se principalmente a iniciativas individuais praticadas em diferentes métodos de trabalho em várias instituições de diversos países.

## ***2.2 Funções de um GIS***

Goodchild (1991) lista as várias características que discriminam a natureza do GIS. Estas compreendem:

**Interatividade** – o usuário deve ser capaz de interagir com o sistema, enviando instruções e recebendo respostas;

**Multusuário** – muitos usuários devem ser capaz de acessar a base de dados geográfica simultaneamente. Os primeiros sistemas multusuários datam do final da década de 60, sendo que ultimamente ocorre o predomínio de bases de dados distribuídas, o que evita a concentração de todos os dados em uma localização única;

**Gráfico** – o sistema deve possuir entradas e saídas gráficas para os dados, do contrário é muito difícil para o usuário trabalhar com informação geográfica;

**Volume e velocidade** – dados geográficos são usualmente grandes e complexos o que requer enormes dispositivos de armazenamento. Além do mais, o sistema deve ser capaz de processar grandes volumes de dados rapidamente e fornecer respostas imediatas;

**Memória virtual** – até recentemente o custo de memórias RAM (*Random Access Memory*) era muito alto. O desenvolvimento de sistemas operacionais virtuais permitiu que grandes volumes de dados fossem processados usando comparativamente menos memória;

**Sistemas de gerenciamento de base de dados** – As complexas tarefas que um GIS realiza impõem que ele seja dependente de muitos outros produtos que operam conjuntamente a ele. Um destes exemplos são Sistemas Gerenciadores de Base de Dados (SGBD) ou DBMS (*Data Base Management System*). Uma base de dados típica geralmente armazena pontos geográficos e seus atributos;

**Custo** – relativamente à aquisição de dados ou “softwares” de modelamento matemático, o custo de um GIS é relativamente baixo. O grande salto no interesse do GIS no final da década de 80 deve-se em grande parte à queda nos custos da tecnologia da computação nos últimos 30 anos.

Para completar toda esta discussão sobre GIS, há que considerar a estruturação interna deste tipo de programa. Goodchild (1991) apresenta levando em consideração quatro fatores principais, a saber:

- a) entrada de dados;
- b) armazenamento;
- c) manipulação e;
- d) saída de dados.

Segundo o autor, para o primeiro item há uma grande contribuição de bases de dados derivadas de mapas impressos, muito embora a tecnologia do início da década de 90 já tenha permitido outros meios de captura de dados como a digitalização e o escaneamento, apesar destas tarefas consumirem muito tempo e ser necessária a intervenção humana para correção de erros. Davis e Simonett (1991 citado em GOODCHILD, 1991) fazem uma revisão da integração GIS/Sensoriamento remoto, sendo este último considerado um método rápido e eficaz de coleta e/ou compilação de informação geográfica.

Neste sentido, ainda citando Goodchild (1991) uma outra tecnologia de captura de dados que vem se destacando é a fornecida pelos receptores GPS (*Global Positioning System*). Os GPS's mais modernos são instrumentos de grande portabilidade que aliados à uma boa precisão (geralmente inferior a 30 m) tem grandes aplicações em áreas como mapeamento, a um custo bem menor do que aquele apresentado pelos métodos de aerofotogrametria.

Já para o segundo item, Goodchild (1991) apresenta os dispositivos mais comuns utilizados em GIS: discos rígidos, fitas magnéticas e CD-ROM detalhando suas vantagens e desvantagens. Ele também salienta que a procura e a recuperação rápida de um valor na base de dados torna imprescindível alguma forma de indexação para que tal ação seja mais eficiente.

Programas com esta finalidade, denominados indexadores, estão baseados nas características do valor e sua localização e são utilizados para que as consultas sejam realizadas. Melhores referências podem ser encontradas em Buchmann et al., (1989) e Samet (1989), citados em Goodchild (1991).

O terceiro item, manipulação e análise, para Goodchild (1991) experimentou as maiores inovações na área do GIS. Na década de 70, a configuração predominante consistia de um “mainframe” servindo vários usuários conectados, cada qual operando um terminal de vídeo.

A comunicação usuário/máquina era realizada através de seqüências de caracteres de textos digitados em um teclado e um terminal capaz de exibir informações gráficas coloridas era excessivamente caro. Já no início dos anos 90, o aparecimento de “workstations” determinava um novo estilo. Aparecendo no final da década de 80 em decorrência da necessidade de máquinas potentes para serem utilizadas em aplicações científicas e de engenharia, estas “workstations” consistiam de um terminal gráfico, tinham alto poder de processamento, boa capacidade de armazenamento, sendo bastante eficazes, adequadas e eficientes para as tarefas realizadas por um GIS.

Na década seguinte, as “workstations” apresentam um grande salto tecnológico com a inclusão de processadores gráficos com funções 3D, o que as tornavam capazes de computar, renderizar, exibir e manipular objetos sólidos 3D em tempo real. Mais recentemente, todo este poder de processamento voltou-se para pequenos computadores pessoais (PC's) que a um custo muito inferior, tanto a nível de “software” quanto de “hardware” realizavam as mesmas tarefas com igual ou similar eficiência.

E finalmente, o último item – saída - Goodchild (1991) relata que os dispositivos de impressão (saída) também experimentaram um grande salto tecnológico. O início foi marcado pelo predomínio de impressoras matriciais que imprimiam tons de cinza através da sobreposição de caracteres. Com o advento dos “plotters” a caneta, ficou mais eficiente a impressão, uma vez que estes dispositivos desenhavam um mapa a partir do movimento de uma caneta, sendo muito eficientes para arquivos vetoriais. Com a queda no custo dos processadores foi possível oferecer dispositivos que possuíam mecanismos para realizar a conversão entre raster e vetor, tornando pouco nítida a distinção entre “plotter” e impressora.

Longley et al. (2001) descrevem uma arquitetura para programas de GIS denominada arquitetura em três camadas compreendendo três componentes-chave: a) interface do usuário – interage com a interface gráfica do usuário (*GUI – Graphical User Interface*) que é uma coleção integrada de menus, barras de ferramentas e controles diversos que fornecem acesso às ferramentas do GIS; b) ferramentas - capacidades ou funções que o GIS apresenta para o processamento de dados e c) sistemas de gerenciamento de dados – os dados são armazenados em arquivos ou base de dados, sendo organizados por um sistema de gerenciamento de dados. Este três componentes-chave definem então esta arquitetura, sendo cada camada denominada **Apresentação**, “**Business logic**” e **Servidor de dados** - Fig.7.

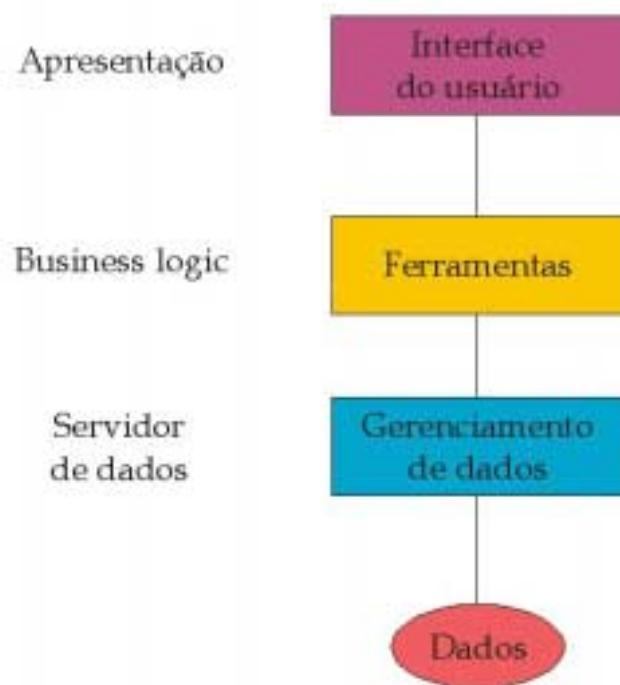


Figura 7 – Arquitetura em três camadas de um GIS. FONTE: Longley et al. ,(2001)

### **2.3 Estrutura de um GIS**

Longley et al. (2001) apresentam e descrevem os cinco principais componentes que constituem a arquitetura de um GIS:

- 1) **Rede** : é o principal componente e o responsável pela rápida comunicação e compartilhamento dos dados. O autor destaca que o termo “GISservice” tem sido introduzido para definir um novo modelo no qual os usuários podem acessar as capacidades oferecidas por um GIS através de aparelhos portáteis como “pagers”, PDA (*Personal Digital Assistents*) e telefones celulares. Tais dispositivos são capazes de fornecer informações e serviços geográficos em tempo real, tais como mapas, rotas de tráfego, índices de produtos e serviços, alterando o modelo GIS para muitos tipos de aplicações;
- 2) “**Hardware**” - definido como o dispositivo que o usuário utiliza para interagir diretamente na realização de operações GIS, através de tarefas como digitação, seleção ou fala (comunicação oral) retornando informações pelo monitor do computador ou produzindo avisos sonoros;
- 3) “**Software**” - executado localmente na máquina do usuário, consiste de um navegador Web ou um GIS adquirido de um fornecedor (Autodesk, ESRI, Intergraph, Mapinfo, GE). Cada fornecedor oferece um pacote de produto, cada qual designado para níveis diferentes de sofisticação, diferentes volumes de dados e diferentes nichos de aplicação. Como exemplo de um GIS, produzido por uma instituição acadêmica, pode-se citar o Idrisi;
- 4) **Base de dados** – pode ser considerada a representação digital de aspectos relacionados de alguma área específica da superfície da Terra ou próxima dela;
- 5) **Gerenciamento** – conjunto de procedimentos, relatórios, pontos de controle ou outros mecanismos que permitem que as atividades GIS permaneçam dentro de limites mantendo alta qualidade.

Os autores, ainda consideram um último componente, sem o qual o GIS não cumpriria suas funções, que é representado pelas pessoas responsáveis pelo seu planejamento, programação, manutenção, alimentação de dados e interpretação de resultados.

Longley et al. (2001) classificam os GIS existentes no mercado em seis grandes grupos, enquanto Elshaw Thrall e Thrall (1999) citado em Longley et al. (2001) fazem uma revisão sobre os pacotes de GIS existentes.

#### ***2.4 Transportando as entidades geográficas para o computador***

Todo e qualquer fenômeno geográfico, em princípio, pode ser representado em um GIS através de três entidades consideradas fundamentais: ponto, linha ou polígono. Um ponto determina uma característica que está associada a uma localização única no espaço; a linha existe se a localização da característica pode ser descrita por uma “cadeia” de coordenadas espaciais e por sua vez, um polígono determina uma “cadeia” fechada de coordenadas espaciais (BUCKLEY, 2003).

Bernhardsen (1992) afirma que o GIS apresenta uma visão simplificada do mundo real e os processos envolvidos são tortuosos porque a realidade é irregular e está sempre em constante mudança, de tal modo que a percepção do mundo real depende do observador.

A complexidade e enormidade do mundo real combinada com as infinitas interpretações do GIS implica que este programa pode variar de acordo com as capacidades e preferências de seus criadores. O mundo real pode ser descrito em termos de modelo os quais delimitam os conceitos e procedimentos necessários para traduzir as observações do mundo real em dados que serão úteis no GIS.

Para Longley et al. (2001) é proveitoso considerar quatro níveis de abstração (generalização ou simplificação) quando da representação do mundo real em um computador. Estes quatro níveis compreendem:

- **Realidade** – constituída de fenômenos do mundo real (construções, ruas, lagos, pessoas, etc), incluindo também todos os aspectos que podem ou não ser percebidos ou considerados relevantes para uma aplicação em particular;
- **Modelo conceitual** – orientado pelo homem, é um modelo de objetos selecionados e processos que são relevantes a um problema particular;
- **Modelo lógico** – representação da realidade freqüentemente expressa através de diagramas e listas;
- **Modelo físico** – retrata a aplicação atual em um GIS e freqüentemente comprehende tabelas armazenadas como arquivos ou base de dados.

Os autores ainda complementam que no processo de modelamento de dados, usuários e desenvolvedores de sistema participam em um processo que sucessivamente compromete cada um desses níveis. A primeira fase do modelamento começa com a definição dos tipos principais de objetos que serão representados no GIS e termina com a descrição conceitual dos tipos principais de objetos e as relações entre eles. Trabalhos posteriores permitirão a criação de diagramas e listas descrevendo os nomes dos objetos, seu comportamento e o tipo de interação entre eles. A fase final envolve a criação de um modelo exibindo como os objetos estudados podem ser digitalmente implementados em um GIS.

## ***2.5 A representação das entidades geográficas***

Egenhofer e Herring (1991) destacam a grande importância que tem sido dada à representação e organização dos dados espaciais e citam vários autores, como por exemplo, Peucker e Chrisman (1975), Nagy e Wagle (1979), Peuquet (1984), Burrough (1986) e Samet (1989) que tem publicado compilações envolvendo este tema.

O armazenamento das entidades das bases de dados geográficas ocorre através de dois modelos fundamentais: raster (matricial) e vetorial. A finalidade da utilização destes modelos está em reduzir fenômenos geográficos a formas que podem ser codificadas em bases de dados computacionais.

O primeiro modelo utiliza um arranjo de células ou pixels que armazenam qualquer atributo de valor. Já o modelo vetorial reduz (classifica) o mundo real em três formas básicas: pontos (registrados como um par de coordenadas), linhas (como uma série de pares de coordenadas ordenados) ou polígonos (um ou mais segmentos de linha que fecham para formar uma área) (LONGLEY et al. , 2001).

Maiores considerações e detalhes sobre estes tipos de modelos são fartamente documentados. Vantagens e desvantagens de uso destes modelos, exemplos de entidades que são representadas, entre outros itens podem ser encontrados em Bernhardsen (1992), Laurini e Thompson (1992), Korte (1997) e Longley et al. (2001) entre outros.

Por outro lado, um terceiro modo de armazenamento, a imagem, utiliza técnicas muito similares ao raster, diferenciando desta pela falta de formatos internos necessários para a análise e modelamento dos dados, sendo freqüentemente usada para representar dados gráficos ou pictóricos em uma grande variedade de formatos proprietários (tiff, gif, pcx, jpg, etc). “Softwares” de processamento de imagens utilizam este tipo de armazenamento para realizar atividades como classificação e processamento (BUCKLEY, 2003).

## **2.6 - A caracterização dos dados**

É necessário especificar que o GIS trabalha com uma classe particular de dado geográfico designado como entidade, a qual segundo Laurini e Thompson (1992) refere-se a fenômenos da superfície terrestre que não podem ser subdivididos em unidades menores.

Cinco categorias de informação caracterizam as diferentes entidades:

- **Identificador** – fornece um meio para fazer referência única a uma entidade;
- **A posição na superfície terrestre** – necessária para localizar ou delimitar objetos naturais ou antropomórficos na superfície terrestre;
- **Característica da entidade** – define e demarca uma característica, também designada como atributo;
- **Comportamento ou função da entidade** - referem-se a condições que não podem ser usadas na definição, mas definem condições especiais necessárias para muitos tipos de eventos;
- **Propriedades espaciais** – uma categoria particular de uma entidade pode ser distingível de outras devido a uma condição particular e isto permite que entidades que possuam características similares possam ser agrupadas.

O dado geográfico possui dois componentes, um denominado geográfico (ou locacional) que é usado para fornecer uma referência de posição e o atributo, este denominado estatístico ou não locacional, que descreve a característica do dado. (MAGUIRE ; DANGERMOND, 1991 e BUCKLEY, 2003).

Longley et al. (2001) consideram que o dado geográfico é constituído por três propriedades: local, tempo e atributo. Local e tempo são propriedades intrínsecas estando relacionadas respectivamente, a uma localização específica, em termos de coordenadas espaciais para o dado e a uma determinada época em que o evento ocorre. Já o atributo pode ser qualquer informação numérica ou textual referente ao dado. Esses autores afirmam que o atributo, no contexto de informação geográfica, apresenta uma grande diversidade, podendo ser classificado em relação à natureza em físicos ou ambientais, ou ainda sociais ou econômicos. Alguns atributos identificam um local ou um indivíduo (endereços, registros de identificação) ou atribuem um valor de medida para uma localização ou para uma época (temperatura atmosférica, altitude) enquanto outros permitem realizar classificações (tipos de uso de solo, área residencial, comercial ou industrial).

### 3 MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

Modelos Digitais de Terreno - MDT - são os constituintes no processamento de informação geográfica, ajudando a modelar, analisar e exibir fenômenos relacionados à topografia ou superfícies similares (WEIBEL ; HELLER, 1991). Estes autores salientam que MDT podem ser usados como um modelo digital de qualquer superfície avaliada por um único valor, como por exemplo, temperatura do ar ou densidade populacional. Felicisimo (1994) apresenta uma definição bastante formal sobre MDT: é uma estrutura numérica de dados que representa a distribuição espacial de uma variável quantitativa e contínua. São, portanto, modelos simbólicos já que as relações de correspondência que se estabelecem com o objeto real tem a forma de algoritmos ou formalismos matemáticos.

Cabe aqui inicialmente conceituar a palavra modelo. Para Rios (1995) (citado em Felicisimo, 1994), modelo é um objeto, conceito ou conjunto de relações utilizado para representar e estudar de forma simples e compreensível uma porção da realidade. Ele salienta que para que o modelo tenha uma grande relação com o objeto representado, este deve ser construído estabelecendo uma relação com a realidade que deve ser simétrica, havendo um certo grau de correspondência entre o objeto real e o modelo.

A utilidade dos modelos para conhecer ou fazer previsão está condicionada à uma boa seleção dos fatores relacionados ao problema e à uma adequada descrição de suas relações funcionais. Assim quando se constrói um modelo, o que está se construindo é um sistema simplificado da realidade, que para ser aceitável necessita de uma prévia seleção dos componentes envolvidos, cada qual sendo um modelo adequado do componente real.

Weibel e Heller (1990) citado em Weibel e Heller (1991) relacionam as seguintes tarefas relacionadas ao MDT:

- **Geração de MDT** – amostragem dos dados originais do terreno, estabelecimento de relações entre as diversas observações (construção do modelo);
- **Manipulação do MDT** – modificação e refinamento de MDT's, derivação de modelos intermediários;
- **Interpretação do MDT** – análises dos MDT's, extração de informação do MDT;
- **Visualização do MDT** – renderização gráfica de MDT e informações derivadas;
- **Aplicação do MDT** – desenvolvimento de modelos de aplicação apropriados para exercícios específicos, MDT forma o contexto para modelamento digital de terreno: cada aplicação particular tem seu requerimento funcional específico relativo a outras tarefas de modelamento de terreno.

Estes autores apresentam na Fig. 8, as interrelações entre os vários estágios de um modelamento digital de terreno, destacando que este fluxo não é um processo de via única, mas dinâmico, onde os vários estágios influenciam e são influenciados uns pelos outros.

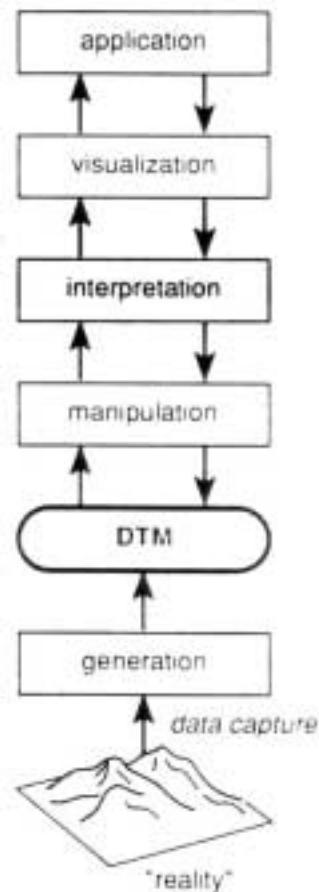


Figura 8 – Interrelações entre os vários estágios do modelamento digital de terreno. FONTE: Weibel e Heller (1991)

Felicisimo (1994) apresenta as principais propriedades de um MDT:

- Os MDT's possuem a forma de uma estrutura de dados, isto é, a estrutura reflete uma forma lógica para armazenar e vincular os dados entre si, representando de alguma forma as relações espaciais entre eles;
- Os MDT's representam a distribuição espacial de uma variável;

- A variável representada pelo MDT deve ser quantitativa e de distribuição contínua.

Cabe então fazer uma distinção entre Modelo de Elevação Digital - MED - e MDT; enquanto o primeiro representa somente o relevo, o segundo implica em possuir atributos de uma variável e não somente a altitude a partir da superfície terrestre (BURROUGH, 1996 citado em WEIBEL ; HELLER, 1991). De maneira análoga à definição de MDT apresentada anteriormente, a definição para MED acrescenta que a variável de distribuição espacial é a altitude.

### ***3.1 Fontes de dados disponíveis para a construção do MDT***

#### **3.1.1 Fonte e captura de dados**

Três fontes respondem pela maior parte da aquisição dos dados derivados para MDT: levantamentos terrestres, captura de dados fotogramétrica (através de processos manuais, semi-automáticos ou automáticos) e fontes de dados cartográficas digitalizadas. Outros métodos ocasionalmente utilizados incluem altimetria por radar ou laser e sonar. Dados para o modelamento também podem ser obtidos a partir de furos de sonda ou levantamentos sísmicos (WEIBEL ; HELLER, 1991).

Especificamente para Modelo de Elevação Digital, MED - Felicisimo (1994) divide os métodos para obtenção de altitudes em diretos e indiretos. A primeira categoria envolve a medida direta da altitude realizada por altimetria (utilização de altímetros radar ou laser aerotransportados), GPS ou levantamento topográfico (estações totais) enquanto o segundo envolve restituição fotogramétrica e digitalização de mapas (modo automático ou manual).

McLaren e Kennie (1989) citado em Weibel e Heller (1991) citam a criação de modelos de terreno artificiais criados através de simulação digital. Outros autores como Fournier, Fussel e Carpenter (1982) citado em Weibel e Heller (1991) propõem um método usado para gerar imagens quase realísticas de terreno baseado em processos aleatórios. Tentativas de incorporar simulação geomorfológica em modelos MDT tem sido realizadas por Clarke (1988), Griffin (1987), Musgrave, Kolb e Mace (1989), Szelinski e Terzopoulos (1989), entre outros, citados em Weibel e Heller (1991).

### **3.1.2 Construção do modelo**

A construção do MDT envolve inicialmente o estabelecimento de relações topológicas entre os dados, assim como um modelo de interpolação para adequar os dados ao comportamento da superfície, uma vez que o processo de captura gera um conjunto desordenado de dados (WEIBEL e HELLER, 1991).

Para a construção de MDT a partir de informação vetorial – ponto, linha ou polígono, Felicisimo (1994) destaca que o processo de interpolação em um conjunto de pontos com coordenadas (x,y,z) gera um novo conjunto de pontos localizados nos nós de uma malha regular de modo que a superfície interpolada é uma representação da original com uma perda mínima de informação.

Em MDT, a interpolação é utilizada para estimar elevações em regiões onde não existe dado, sendo aplicável para as seguintes operações, segundo Weibel e Heller (1991):

- Cálculo de elevações (Z) em pontos;
- Cálculo de elevações (Z) de um grid retangular derivado de pontos de amostragem;
- Cálculo de coordenadas de pontos (x,y) ao longo de contornos;
- Adensamento/espalhamento (difusão) de grids retangulares (reamostragem).

De uma maneira bastante simples, Kam (1983), citado em Weibel e Heller (1991) classifica a interpolação nos métodos simples e aproximado, salientando que o primeiro preserva os valores dos pontos enquanto o segundo suaviza os dados. Uma outra classificação para os métodos de interpolação, considera o intervalo de influência dos pontos envolvidos, Weibel e Heller (1991). Nesta, há dois modelos: o método global, no qual todos os pontos são utilizados para interpolação e o local, no qual somente pontos vizinhos são considerados. Para MDT com pontos de qualidade e densidade suficientes, a interpolação é considerada satisfatória.

Em superfícies topográficas, a utilização de pontos distantes pode deformar a superfície interpolada. Para este caso, Weibel e Heller (1991) apontam as características e peculiaridades da interpolação a partir das superfícies topográficas:

- Não há um algoritmo de interpolação que seja superior aos outros e apropriado para todas as aplicações;
- A qualidade do MDT resultante é determinada pela distribuição e exatidão dos pontos originais e a proporcionalidade do modelo de interpolação;
- Os mais importantes critérios para selecionar um modelo de interpolação são:
  - a) feições estruturais levadas em consideração; b) função de interpolação adaptada á característica do terreno;
- Algoritmos de interpolação adequados podem se adaptar á característica dos dados (tipo, exatidão, importância) assim como o contexto (a distribuição dos dados);
- Soluções satisfatórias podem ser encontradas para a interpolação de dados topográficos relativamente bem selecionados e densos.

Outro critério que pode influenciar a opção por um método particular é o grau de exatidão desejado e o esforço computacional envolvido. Felicisimo (1994) detalha alguns dos métodos de interpolação mais utilizados:

### **Interpolação em função da distância – IDW**

Este método, conhecido como IDW – *Inverse Distance Weighting* - estima um valor para pontos ao redor de um determinado ponto escolhido em função do inverso da distância entre eles, isto é, pontos mais próximos têm um peso maior no cálculo e pontos mais distantes, um peso menor.

O método admite que os pontos sendo mapeados diminuem sua influência com a distância do ponto amostrado. O resultado é que quando é admitido um peso de alto valor, mais ênfase é dada aos pontos próximos resultando em uma superfície com mais detalhe e menos suavidade. Por outro lado, se admitido um peso baixo, pouca influência será dada aos pontos mais distantes resultando uma superfície suavizada (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI , 2001).

### **Krigagem**

Este método analisa a correlação espacial entre os dados em função da distância entre eles. Admite-se supor que o valor de uma determinada variável em um ponto está relacionado de alguma forma com o valor dos pontos vizinhos, distribuídos a distâncias variáveis.

A influência dos pontos mais distantes é menor que a dos mais próximos e a krigagem estima esta dependência através de um dado estatístico: a semivariância entre os pontos separados por distâncias diferentes. A semivariância adquire valores diferentes em função da distância entre os pontos, quanto maior esta separação, menor a correlação entre os pontos.

No entanto, a krigagem apresenta melhores resultados quando a variável possui uma distribuição de forte componente aleatória e que seja resultado de um conjunto de processos submetido a interação de múltiplas variáveis concorrentes.

Um bom exemplo de aplicação deste método é o estudo da distribuição de um contaminante atmosférico, onde fatores meteorológicos ocorrendo a diferentes escalas interferem de uma maneira bastante complexa (FELICISIMO, 1994).

Um terceiro método é o ***Spline***, o qual estima valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura da superfície, resultando em uma superfície que passa exatamente através dos pontos de entrada (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI, 2001).

Os processos acima descritos são para a obtenção de MDT raster. Para o tratamento de MDT visando uma estrutura vetorial, dois outros métodos são aplicados: malha retangular (grid) e TIN (Triangulated Irregular Network) (FELICISIMO, 1994 e WEIBEL ; HELLER, 1991).

“Grids” apresentam uma estrutura matricial que registram relações topológicas entre pontos de dados. Como esta estrutura reflete a estrutura do armazenamento de computadores, o manuseio de matrizes é simples e algoritmos de modelamento de terrenos baseado em grids tende a ser direto.

Como ponto negativo, a densidade de pontos de grids regulares não é adaptada à complexidade do relevo, o que implica em um número excessivo de ponto de dados necessário para representar o terreno ao nível requerido de exatidão. Além disso, grids retangulares não podem descrever feições estruturais como feições topográficas, extensões tem que ser adicionadas para cumprir esta finalidade, Kostli e Single (1986), Ebuer, Reinhardt e Hossler (1988) citados em Weibel e Heller (1991). Estruturas grids, outro tema desenvolvido para este trabalho, são apresentadas no item 5.4.

Já as estruturas TIN estão baseadas em elementos triangulares com vértices nos pontos de amostra, sendo que as feições estruturais podem ser facilmente incorporadas na estrutura de dados. TIN's são capazes de refletir adequadamente a densidade variável dos pontos e a rugosidade do terreno porque o recobrem completamente. Por outro lado, as relações topológicas têm que ser computadas ou gravadas explicitamente o que torna as TIN's mais complexas e difíceis de manusear (WEIBEL ; HELLER, 1991; FELICISIMO, 1994).

Felicisimo (1994) destaca que a criação de uma TIN envolve duas partes distintas: a) a triangulação e b) a seleção dos pontos que serão utilizados como vértices e apresenta algumas características que a fazem uma estrutura importante para o MDT:

- Não pressupõe nem exige continuidade estatística da superfície a representar;
- Adapta-se à complexidade geral do terreno, criando redes localmente mais densas em função das saliências/sinuosidade do terreno;

- Preserva os valores dos dados que são usados como vértices e mantêm sua altitude exata;
- Pode ser gerado incorporando várias estruturas auxiliares especialmente linhas estruturais e de inflexão que são incorporadas ao modelo como lados de triângulos.

A Fig. 9 exibe as duas estruturas de dados vetoriais mais usadas para MDT:

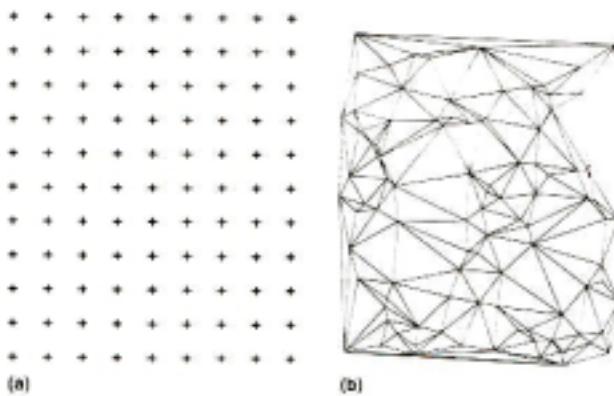


Figura 9 – Estruturas de dados mais comuns utilizadas em MDT: a) grid (malha retangular), b) TIN  
FONTE: Weibel e Heller (1991)

Ainda considerando as TIN, o processo de triangulação possui duas funções no MDT: como base para estruturas TIN ou como base para interpolação. No segundo caso, a interpolação baseada em TIN é um procedimento realizado em duas etapas: na primeira uma TIN é construída, e na segunda esta é então utilizada para interpolação.

Dentre as várias possibilidades de se realizar a triangulação, um caso especial tem recebido maior atenção, o qual recebe o nome de triangulação de Delaunay se e somente se o circuncírculo de qualquer de seus triângulos não contiver qualquer outro ponto em seu interior.

A triangulação de Delaunay apresenta uma característica: os polígonos de Voronoi; estes podem ser construídos a partir da união dos circuncentros dos triângulos de Delaunay. Esta dualidade apresenta um fato particular: a triangulação de Delaunay pode ser construída a partir do diagrama de Voronoi e vice-versa. Nós de um polígono de Voronoi são coincidentes com os circuncentros dos triângulos de Delaunay (Fig.10) (WEIBEL ; HELLER, 1991).

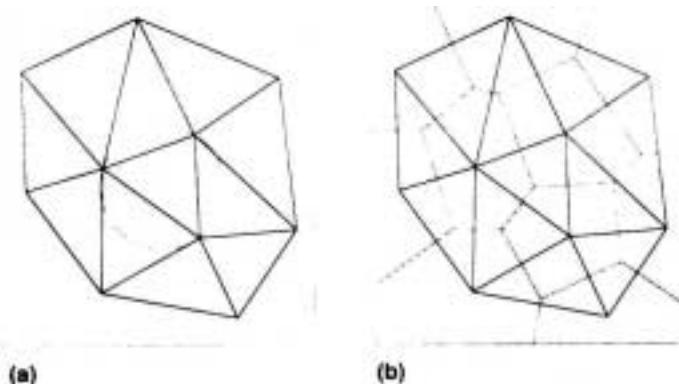


Figura 10 – Triangulação de Delaunay :  
a) triangulação de Delaunay nos circuncírculos dos triângulos e b) triangulação de Delaunay com diagramas de Voronoi. FONTE: Weibel e Heller (1991).

Um estudo mais matemático da triangulação de Delaunay pode ser encontrado em Preparata & Shamos (1985) e Edelbrunner (1987) citados em Weibel e Heller (1991). Este último autor ainda cita que a triangulação de Delaunay e o diagrama de Voronoi encontram muitos usos em áreas de atuação tão diferentes quanto geografia computacional, física, metereologia, geografia econômica, etc.

Vantagens e desvantagens de grids regulares, TIN e outras estruturas de dados MDT são discutidas por Peucker (1978) e Mark (1979) citados em Weibel e Heller (1991).

### **3.1.3 Interpolação baseada em TIN**

Uma característica importante do processo de interpolação baseado em TIN é que os valores Z interpolados de um ponto dependem das altitudes dos nós dos triângulos que o contêm. O valor Z é interpolado através da substituição dos valores X,Y do ponto por uma função polinomial que preenche o triângulo relevante.

Se uma interpolação de 1º grau é utilizada, o valor Z pode ser computado diretamente a partir das alturas dos nós do triângulo, se uma função de grau mais alto, é por sua vez utilizada, os coeficientes desta função são estimados baseados nas alturas dos nós do triângulo, assim como nas derivadas de 1ª e 2ª ordem (BIRKHOFF; MANSFIELD, 1974; AKIMA, 1978; citados em WEIBEL ; HELLER, 1991).

A principal vantagem deste tipo de interpolação é a sua grande eficiência. Uma vez que os TIN's tenham sido construídos, MDT's com grids ou linhas de contorno podem ser facilmente computados, uma vez que o TIN fornece maneiras convenientes de localizar nós para interpolação.

A interpolação baseada em TIN é dos poucos métodos que é praticável para grandes conjuntos de dados. Algoritmos de interpolação baseados em TIN realizam esta tarefa dividindo o conjunto de dados em pequenas regiões para posteriormente realizar a triangulação e reuni-las.

Formas convencionais de representação do relevo (contornos e “hillshading”) representam vastas abstrações da realidade, ainda que elas sejam altamente efetivas em resolver muitas das tarefas relacionadas á apresentação e interpretação do terreno.

O capítulo 5 versa sobre as etapas realizadas para a construção dos MDT's, apresentando subseqüentemente algumas características sobre eles.

### ***3.2 Características do 3D Analyst***

Uma das atividades propostas neste trabalho é a construção de Modelos Digitais de Terreno, que serão melhor caracterizados no capítulo 5. Este capítulo apresenta uma visão geral e as principais características do 3D Analyst, como forma de destacar algumas de suas potencialidades e recursos que vão além da construção de MDT's, proposta utilizada neste trabalho.

#### ***3.2.1 Visão geral***

Environmental Systems Research Institute - ESRI (1998) apresenta o 3D Analyst como uma extensão do Arcview que transforma mapas convencionais bidimensionais em outros tridimensionais com características dinâmicas e interativas. Usuários podem criar e exibir dados superficiais em três dimensões para análise e visualização.

O 3D Analyst suporta três tipos de dados primários para modelamento de características tri-dimensionais: TIN's (*Triangulated Irregular Networks*), grids e arquivos shape (2D e 3D). Grids e TIN's são usados para modelar dados contínuos ou superfícies.

Feições vetoriais tri-dimensionais, onde valores de X, Y e Z são armazenados para cada vértice fornecem ao usuário a possibilidade de capturar e representar precisamente feições geográficas.

Dados bi e tri-dimensionais podem ser vistos em perspectiva usando o visualizador de cenas 3D Scene. Através dele é possível rotacionar, dar zoom e deslocar os dados a partir de qualquer ângulo em uma cena. Com o 3D Analyst é possível realizar várias atividades:

- Criar modelos superficiais realísticos a partir de múltiplas fontes de dados;
- Determinar altura de qualquer localidade em uma superfície;
- Encontrar o que é visível a partir de um ponto de observação;
- Calcular a área superficial e o volume entre superfícies;
- Trabalhar com feições vetoriais tri-dimensionais para confeccionar modelos realísticos do mundo tri-dimensional;
- Visualizar dados em três dimensões;
- Visualizar, deslocar, dar zoom e rotacionar dados interativamente, apresentando simulação “in the fly”;
- Exportar mapas em formato VRML (*Virtual Reality Modelling Language*);
- Permitir a criação de TIN's a partir de qualquer combinação de ponto, linha e polígono ou a partir de grids;

- Importar Modelos de Elevação Digital do USGS (*United States Geological Survey*).

## 4 FONTES DE DADOS

Arquivos digitais provenientes de empresas ou publicações constituindo trabalhos de compilação e/ou divulgação são as fontes de dados que fazem parte deste trabalho. A seguir, são detalhadas estas fontes:

### ***4.1 Folhas topográficas na escala 1:100.000***

As folhas topográficas na escala 1:100.000: Arrenegado (SE-23-V-C-VI), Cachoeira do Queimado (SE-23-V-A-II), Cavaleiros (SE-23-V-C-I), Coromandel (SE-23-Y-A-II), Guarda-Mor (SE-23-V-C-V), Lagamar (SE-23-Y-A-III), Paracatu (SE-23-V-C-III), Ribeirão Arrojado (SE-23-V-A-V), Serra da Aldeia (SE-23-V-A-VI), Serra da Tiririca (SE-23-V-C-II) e Unaí (SE-23-V-A-III) em formato digital, foram gentilmente cedidas pela **PRODEMGE** – Processamento de Dados do Estado de Minas Gerais para os propósitos deste trabalho. Dentre os temas disponíveis, os que são utilizados neste trabalho compreendem: curvas de nível, drenagem, limite da folha, mancha urbana, municípios, ponto cotado e rodovias. O tipo de representação e os principais campos, presentes na tabela de atributos, associados a cada tema são apresentados abaixo:

Tema	Atributos	Representação
Curvas de nível	Altitude	Polilinha
Drenagem	Objeto_geo	Polilinha
Limite da folha	ID	Polilinha
Mancha urbana	Cód_muni, código, localidade, município	Polilinha
Municípios	Localidade, município, Lat/Long, carta	Ponto
Ponto cotado	Lat/Long, altitude	Ponto
Rodovias	ID	Polilinha

Cabe aqui ressaltar que nos temas acima, não foi realizada qualquer tarefa de edição, apenas a conversão do formato Mapinfo (\*.tab) para o formato ArcView (\*.shp), sendo então os dados utilizados na forma em que foram obtidos.

#### **4.2 Folhas topográficas na escala 1:250.000**

A Agência Goiana de Desenvolvimento Industrial e Mineral (AGIM) em convênio com a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento (SEPLAN) lançou o Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás (SIG/Goiás) disponibilizados em uma coleção de CD-ROM's. Este projeto engloba dados e informações agrupados em: Base Cartográfica – Geográfica na escala 1:1.000.000, Base Cartográfica na escala 1:250.000, Mapa Geológico e de Recursos Minerais e Zoneamento Ecológico – Econômico.

Este trabalho foi responsável pelo fornecimento dos seguintes temas: curva de nível, contato geológico, dobras, drenagem, estruturas geológicas, falhas, geologia, lineamentos, municípios, potencial geológico, ponto cotado, recursos minerais, rodovias e limite da folha correspondentes à três folhas topográficas, na escala 1:250.000, – Luisiânia (SE-23-V-A), Paracatu (SE-23-V-C) e Patos de Minas (SE-23-Y-A) que recobrem a área de estudo. O tipo de representação e os principais campos, presentes na tabela de atributos, associados a cada tema são apresentados a seguir:

<b>Tema</b>	<b>Atributos</b>	<b>Representação</b>
Curvas de nível	Altitude	Polilinha
Contato geológico	Tipo	Polilinha
Dobras	Tipo, grupo	Polilinha
Drenagem	Cursos, extensão, domínio, estado	Polilinha
Estruturas geológicas	Altitude, mergulho	Polilinha
Falhas	Tipo, grupo, extensão	Polilinha
Geologia	Letrasin, nomeunid, grupo, litologia, idade, potencial, un_geotec, área_km2, perim_km, ordem, legenda, tipo	Polígono
Lineamentos	Feição, extens_m	Polilinha
Municípios	Nome, município, nomemeso, nomemicro, estado, cód_ibge, alt_m, urbana, vila, outras cidade, sede, classe, região	Ponto
Potencial geológico	Recurso, potencial, substancia, controle, id área, un_geotec,	Polígono
Ponto cotado	Pto_cotado	Ponto
Recursos minerais	Long/lat, docmeta, substancia, localizacao, municipio, morf_class, status , dados_econ, folha	Ponto
Rodovias	Descrição, nome	Polilinha
Limite da folha	Corte_cart, nom_fol	Polígono

Originalmente todos os dados apresentam-se em formato shape (\*.shp). As tabelas 1 e 2 sumarizam todos os temas relativos às folhas topográficas 1:100.000 e 1:250.000 disponíveis para a execução deste trabalho.

**TABELA 1**  
**TEMAS DISPONÍVEIS DAS FOLHAS TOPOGRÁFICAS DIGITAIS**  
**NA ESCALA 1:250.000**

	Folhas Topográficas									
	Luisiânia	Paracatu	Patos de Minas							
<b>Código IBGE</b>	SE-23-V-A	SE-23-V-C	SE-23-Y-A							
<b>Município</b>	•	•	•							
<b>Limite</b>	•	•	•							
<b>Recursos minerais</b>	•	•	•							
<b>Ponto cotado</b>	•	•	•							
<b>Potencial</b>	•	•	•							
<b>Rodovias</b>	•	•	•							
<b>Lineamento</b>	•	•	•							
<b>Geologia</b>	•	•	•							
<b>Falhas</b>	•	•	•							
<b>Estruturas</b>	•	•	•							
<b>Drenagem</b>	•	•	•							
<b>Dobras</b>	•	•	•							
<b>Contato</b>	•	•	•							
<b>Altimetria (m)</b>	Min 600	Max 1200	Int. 100	Min 600	Max 1000	Int. 100	Min 550	Max 1250	Int. 50	
<b>Todos pontos</b>	•		•		•		•		•	

**TABELA 2**

#### **4.3 IBGE – Malha municipal do Brasil – Situação em 1997**

Produzido pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, este CD forneceu os seguintes temas: contorno, divisões e sedes municipais do estado de Minas Gerais. O tipo de representação e os principais campos, presentes na tabela de atributos, associados a cada tema são apresentados a seguir:

<b>Tema</b>	<b>Atributos</b>	<b>Representação</b>
Divisões municipais	Área, perimeter, nomemunic, população, nomeuf, região, nomemeso, nomemicro, area97, longitude, latitude	Polígono
Contorno	Área, perimeter, nomecapita, nomeuf	Polígono
Sedes municipais	Área, perimeter, nomemunic, população, nomeuf, região, nomemeso, nomemicro, area97, longitude, latitude	Ponto

Disponíveis em vários formatos (\*.dxf, \*.e00, \*.dgn e arc/Info) foi necessária a conversão do formato \*.e00 para o formato shape (.shp) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 1999).

#### **4.4 Projeto São Francisco – Província Mineral Bambuí**

O denominado Projeto São Francisco é um amplo trabalho de mapeamento geológico na região oeste do estado de Minas Gerais.

Compreende uma área de cerca de 220.000 km<sup>2</sup> que está sendo mapeado nas escalas 1:100.000 e 1:250.000 através de um convênio entre a COMIG e a CPRM, visando também, o cadastramento dos recursos minerais e hídricos subterrâneos da região.

Até o momento, estão catalogadas 649 ocorrências minerais distribuídas por toda a região do projeto. Estas ocorrências incluem substâncias tão diversas como: ardósia, areia, argila, calcário, caulim, chumbo, cobre, cromita, diamante, ferro, fosfato, grafita, gás, mármore, ouro, quartzito, zinco, entre outras.

Adicionalmente outras informações como morfologia do depósito, guia prospectivo, características e tipo do depósito, litologia da rocha hospedeira, controle mineralógico, etc, também fazem parte deste cadastro.

As minas de zinco em Vazante, exploradas pela CMM – Companhia Mineira de Metais, ouro em Paracatu, explorada pela Rio Paracatu Mineração, zinco em Paracatu, explorada pela Mineração Morro Agudo e a inativa mina de zinco em Vazante, de titularidade da MASA constituem os mais importantes jazimentos da região. Este cadastro mineral foi lançado em CD-ROM , sendo portanto uma fonte de dados para este trabalho (COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS - COMIG, 2001).

#### **4.5 Geologia e geoprocessamento para integração e interpretação de dados exploratórios na região de Paracatu – Vazante, para montagem de dossier sobre o Projeto Ouro / Metais base Paracatu**

Este relatório interno da COMIG, elaborado pela empresa TARGET Geologia, Mineração e Meio Ambiente, Ltda contempla a organização e compilação de uma base de dados na região de Unaí-Paracatu-Vazante, em uma área de aproximadamente 8.000 km<sup>2</sup> – inserida na porção central da área de estudo - compreendendo dados de pesquisa mineral efetuados pela COMIG e METAMIG nas décadas de 70 a 90, efetuados principalmente em áreas de pesquisa mineral de sua titularidade. Muitas destas áreas atualmente encontram-se descartadas, renunciadas ou substituídas por novos processos.

Faz parte deste trabalho, os dados geoquímicos do denominado Projeto Geoquímica do Bambuí, levado a êxito pela CPRM na década de 80, realizados em 2328 amostras.

Originalmente este projeto contempla a coleta de amostras distribuídas em sete classes diferentes: sedimento de corrente, água, vegetação, concentrado de bateia, solo, rocha e outros. Os elementos químicos que foram selecionados para este trabalho incluem: Au, Cu, Pb e Zn, analisados pelos processos de absorção atômica (aa) e espectrometria (espec). Originalmente todos os dados apresentam-se em formato shape (\*.shp), sendo que, por convenção, os valores geoquímicos abaixo do limite de detecção estão inseridos como valores negativos.

#### **4.6 A preparação dos dados**

Todos os arquivo digitais, com exceção daqueles fornecidos pela PRODEMGE – os quais foi necessária a conversão do formato de Mapinfo para Arcview - já estavam em formato shape (shp), padrão nativo deste último e não sofreram qualquer processo de conversão e/ou edição.

Para a construção de Modelos Digitais de Terreno tornou-se necessária a construção de um arquivo de pontos referenciados a um sistema de coordenadas, possuindo o atributo de altitude. A geração deste arquivo foi possível graças à utilização de um pequeno “script” denominado “***anyshape2point.ave***” – disponível em [www.esri.com](http://www.esri.com) - que transforma qualquer outro tipo de representação (polilinha ou polígono) em um arquivo de pontos referenciados.

O processo envolve inicialmente a seleção de todas as curvas de nível de uma determinada cota, para uma determinada folha topográfica, a sua conversão em pontos e a edição da tabela de atributos resultante, atribuindo ao campo denominado *Altitude*, a cota daquela curva de nível. Este processo é então repetido para todas as curvas de nível, as quais são, posteriormente, agrupadas em um único tema, fazendo uso da ferramenta “*Merge*” disponível no menu “*Geoprocessing Wizard*” do Arcview 3.2a. Deste modo, as curvas de níveis com seus respectivos atributos de cotas formaram a base para a geração dos pontos.

Os dados geoquímicos, por sua vez, foram pré-selecionados, sendo excluídos aqueles que apresentavam todos os valores nulos para um determinado elemento químico, dentre aqueles que são considerados essenciais (Au, Cu, Pb e Zn) no desenvolvimento deste trabalho. Tal medida é justificada pela impossibilidade de se efetuar nestes dados qualquer tipo de análise estatística. Deste modo permaneceram os dados geoquímicos pertencentes as seguintes classes: Concentrado de bateia, Sedimento de corrente, Solo e Rocha. Para cada classe, os elementos Au, Cu, Pb e Zn foram analisados para dois métodos diferentes – absorção atômica e espectrometria – e nem todos apresentaram resultados satisfatórios, motivo pelo qual foi realizada uma nova seleção dos dados. A tabela 3 relaciona os dados geoquímicos disponíveis:

**TABELA 3**  
**TIPOS DE DADOS GEOQUÍMICOS DISPONÍVEIS**

Classe	Elementos	Métodos	
		Absorção Atômica (aa)	Espectrometria (espec)
Concentrado de bateia	Au	•	
	Cu	•	•
	Pb	•	•
	Zn	•	•
Rocha	Au	•	
	Cu	•	•
	Pb	•	•
	Zn	•	•
Sedimento de corrente	Cu	•	•
	Pb	•	•
	Zn	•	•
Solo	Au		•
	Cu	•	•
	Pb	•	•
	Zn	•	•

Todos os dados disponíveis para este trabalho foram projetados em um sistema de coordenadas geográficas (Lat/Long) utilizando o datum WGS84, exceto os dados do levantamento geoquímico que originalmente estavam georeferenciados em coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator).

## 5 - A CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

A construção de Modelos Digitais de Terreno – MDT a partir da variável altitude observou as duas características apresentadas por Felicisimo (1994) : a variável deve ter uma distribuição espacial, além de ser quantitativa e de distribuição contínua. Necessariamente quaisquer variáveis (concentração, pH, densidade populacional, etc) que atendam as condições anteriormente apresentadas podem servir para a construção do MDT. Por outro lado, um MDT pode ser considerado como uma representação da realidade, dentro de um modelo considerando as variáveis envolvidas e a escala de trabalho. A seleção dos componentes envolvidos deve ser bastante cuidadosa a fim de que o modelo não forneça resultados irreais.

### ***5.1 – As etapas da construção do modelo***

A construção do Modelo Digital de Terreno aqui apresentado compreendeu as seguintes etapas:

#### **a) fonte de dados**

As bases digitais referentes às 11 folhas topográficas, cedidas pela PRODEMGE – Processamento de Dados do Estado de Minas Gerais, constituíram a única fonte de dados;

### **b) seleção da variável**

A altitude foi a variável escolhida para a construção dos MDT's. Pontos cotados possuíam uma representatividade espacial suficiente para serem utilizados, sendo portanto adicionados aos pontos existentes. As curvas de nível foram as feições responsáveis pela geração dos pontos referenciados.

### **c) transformação das curvas de nível em pontos**

As curvas de nível apresentam boa equidistância, sendo então utilizadas para a geração de pontos referenciados em um sistema de coordenadas, os quais armazenam somente um atributo – altitude. Esta transformação foi possível graças a utilização de um pequeno script denominado anyshape2point, desenvolvido em linguagem Avenue, obtido em [www.esri.com](http://www.esri.com) .

Inicialmente, utilizando o “software” Arcview 3.2 a, para cada folha topográfica digital na escala 1:100.000, em formato shape, foram selecionadas todas as curvas de nível de uma determinada cota e então aplicado o script. Este gera um arquivo de pontos, com os seguintes campos em sua tabela de atributos: **ID** – um identificador próprio do “software”, **Xcoord** e **Ycoord** - Coordenadas X e Y do ponto, **Fromto** – estabelece o ponto inicial e o ponto final e **Distance** – indica a distância entre dois pontos. Adicionalmente foi necessário inserir um campo denominado **Altitude** para armazenar o atributo de cota proveniente da curva de nível. Esta operação foi repetida para todas as curvas de nível de determinada cota presentes na folha e finalmente todos os pontos foram reunidos um único arquivo. Um exemplo da tabela de atributos destes pontos é apresentado na Fig. 11:

Attributes of TodosPontos_blc.shp							
Shape	Id	XCoord	YCoord	From	Distance	Bearing	Altitude
Point	0	0.00000	0.00000	1 → 2	8112023.29801	87.97143	920
Point	1	287176.00188	8107738.99718	2 → 3	229.21598	357.50000	920
Point	2	287404.99970	8107728.99690	3 → 4	210.78873	303.38847	920
Point	3	287520.99943	8107552.99904	4 → 5	51.01102	88.87920	920
Point	4	287520.00163	8107501.99778	5 → 6	80.60266	52.56152	920
Point	5	287471.00253	8107437.99874	6 → 7	297.17385	20.69145	920
Point	6	287192.99736	8107332.99673	7 → 8	11129.52773	270.55601	920
Point	7	287084.99648	8118462.00043	8 → 9	80.61070	322.56365	920
Point	8	287149.00372	8118412.99882	9 → 10	67.77622	291.64022	920
Point	9	287173.99904	8118349.99961	10 → 11	140.01036	270.82005	920
Point	10	287176.00188	8118210.00359	11 → 12	29.07269	26.57942	920
Point	11	287150.00151	8118196.99582	12 → 13	58.18101	28.76212	920
Point	12	287098.99958	8118169.00062	13 → 14	8828.22265	270.40889	920
Point	13	287161.99978	8108341.00277	14 → 15	52.63308	14.29715	920
Point	14	287213.00271	8108354.00055	15 → 16	74.43210	329.29757	920
Point	15	287277.00171	8108315.99706	16 → 17	73.57171	301.09672	920
Point	16	287315.00034	8108252.99765	17 → 18	154.37314	280.07220	920
Point	17	287341.99850	8108101.00368	18 → 19	62.80158	307.23305	920
Point	18	287379.99713	8108051.00245	19 → 20	57.27082	65.22847	920
Point	19	287356.00060	8108999.00136	20 → 21	160.65166	18.88614	920
Point	20	287203.99783	8108947.00026	21 → 22	8626.72953	270.74389	920
Point	21	287091.99753	8117573.00271	22 → 23	46.03981	34.37673	920
Point	22	287129.99616	8117598.99825	23 → 24	25.00257	0.00000	920
Point	23	287154.99873	8117598.99825	24 → 25	26.01958	2.20213	920
Point	24	287180.99909	8117599.99808	25 → 26	46.03829	304.38530	920
Point	25	287206.99946	8117562.00459	26 → 27	141.41690	280.59445	920
Point	26	287232.99962	8117422.99840	27 → 28	82.00331	52.43265	920
Point	27	287183.00293	8117357.99953	28 → 29	6567.99983	89.93022	920
Point	28	287175.00408	8110790.00457	29 → 30	140.59835	5.30435	920
Point	29	287315.00034	8110803.00235	30 → 31	17.68752	317.20683	920
Point	30	287327.99640	8110791.00440	31 → 32	91.76291	16.45668	920
Point	31	287416.00017	8110816.99995	32 → 33	353.89883	38.23060	920
Point	32	287693.99710	8111036.00244	33 → 34	117.15671	13.32186	920
Point	33	287808.00124	8111062.99781	34 → 35	229.64570	289.85607	920

Figura 11 – Exemplo da tabela de atributos após transformação das curvas de nível em pontos utilizando o script “anyshape2point”.

#### d) Reunião dos pontos em blocos

Finalizada a etapa de transformação das curvas de nível em pontos e a edição do atributo Altitude, tornou-se necessária a reunião de todos os pontos em um único arquivo. Com a finalidade de facilitar o tratamento dos dados, estes foram agrupados em blocos, informalmente designados como Bloco Norte, Bloco Centro e Bloco Sul, englobando os pontos das seguintes folhas topográficas:

<b>Bloco Norte</b>	Cachoeira do Queimado Unaí Ribeirão Arrojado Serra da Aldeia
<b>Bloco Centro</b>	Cavaleiros Serra da Tiririca Paracatu
<b>Bloco Sul</b>	Guarda-mor Arrenegado Coromandel Lagamar

#### e) Geração dos MDT's

Com o auxílio do 3D Analyst, uma extensão que trabalha em conjunção com o Arcview 3.2a e que dispõe de ferramentas para modelamento de dados contínuos, foi possível efetuar a construção dos MDT's. O 3D Analyst possui dois modelos para representação de superfícies: grids e TIN's: o primeiro utiliza-se de uma malha de pontos regularmente espaçados, sendo portanto um modelo simples e eficiente. No entanto, a sua estrutura rígida não permite que sejam realizadas adaptações na variabilidade do terreno, ocorrendo perda de informação entre os pontos da malha, acarretando a geração de superfícies que não representam adequadamente os dados originais.

Já os TIN's (*Triangulated Irregular Networks*) são representações da superfície utilizando faces de triângulos construídos a partir de pontos estrategicamente posicionados.

Uma característica deste modelo é a variação da resolução, isto é, onde a superfície é mais complexa, ela é mais detalhadamente desenhada, uma maior quantidade de triângulos menores são necessários para a representação. Inversamente, superfícies menos detalhadas são desenhadas utilizando triângulos maiores, porém em menor quantidade.

O 3D Analyst possibilita a renderização automática do diagrama de triângulos, (TIN) exibindo novamente a figura segundo um esquema de cores definido pelo usuário, resultando nos MDT's. As Figs. 12, 13 e 14, exibem estes resultados:

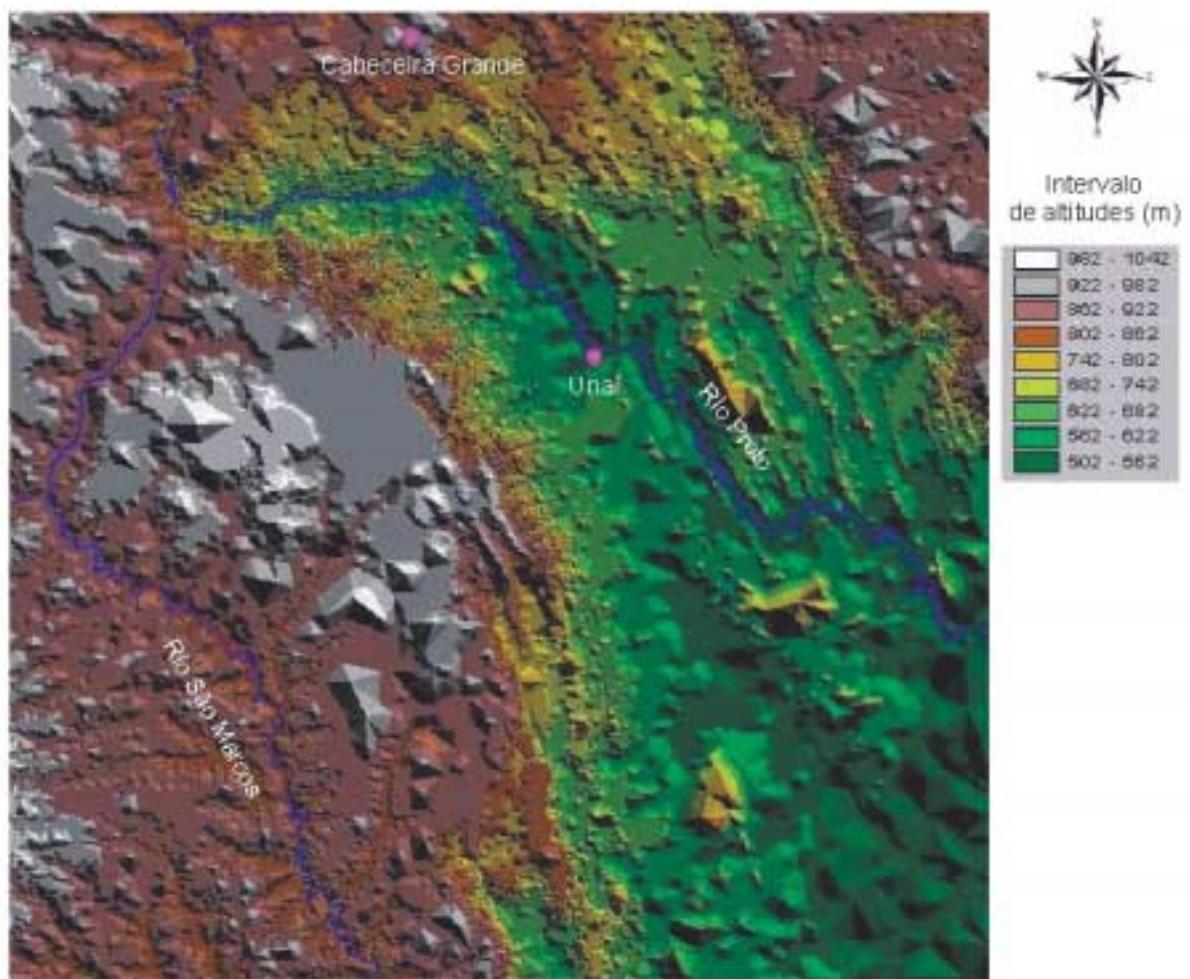


Figura 12 – Modelo Digital de Terreno do Bloco Norte – escala : 1:800.000, dimensões aproximadas 111 x 111 km.

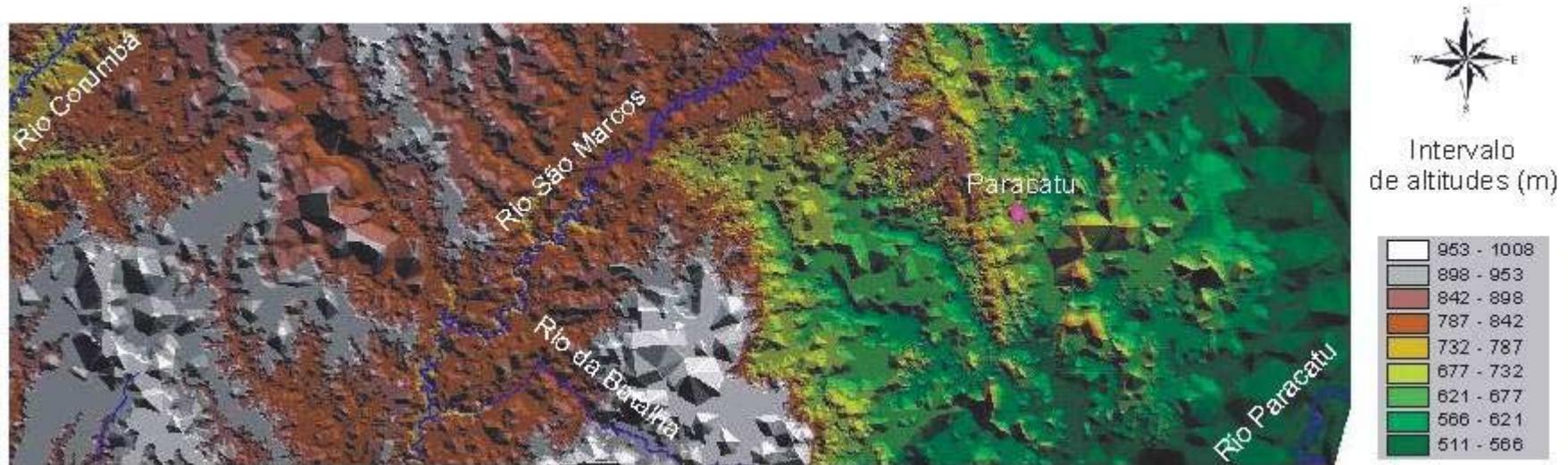


Figura 13 – Modelo Digital de Terreno do Bloco Centro – escala 1:800.000, dimensões aproximadas 165,5 x 55,5 km

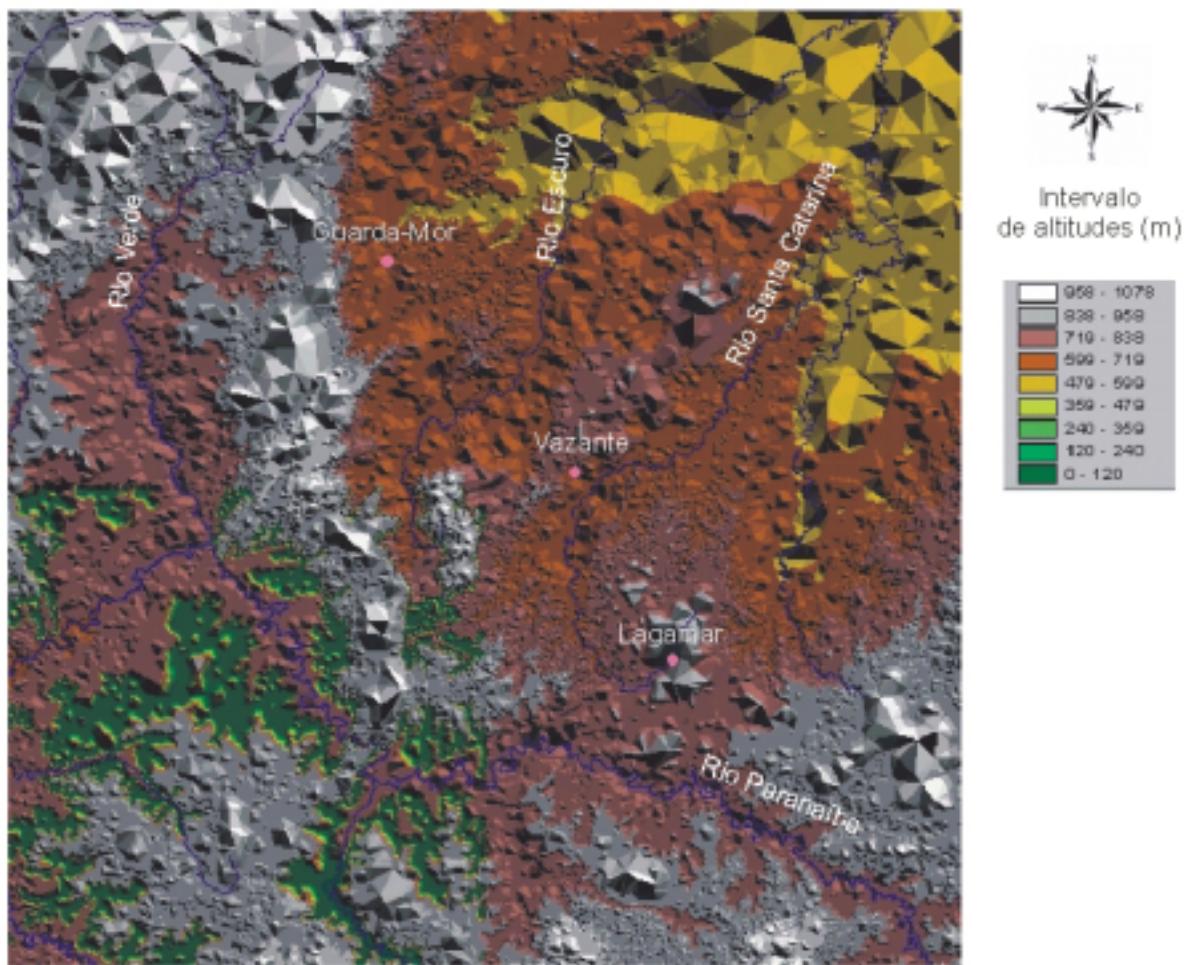


Figura 14 – Modelo Digital de Terreno do Bloco Sul – escala : 1:800.000, dimensões aproximadas 111 x 111 km

Adicionalmente também é possível visualizar os MDT através de um bloco diagrama em uma perspectiva tridimensional. Outras feições, como drenagem, malha viária, sedes municipais podem também ser adicionadas ao modelo.

As figuras 15 a 17 exibem estas representações tridimensionais:

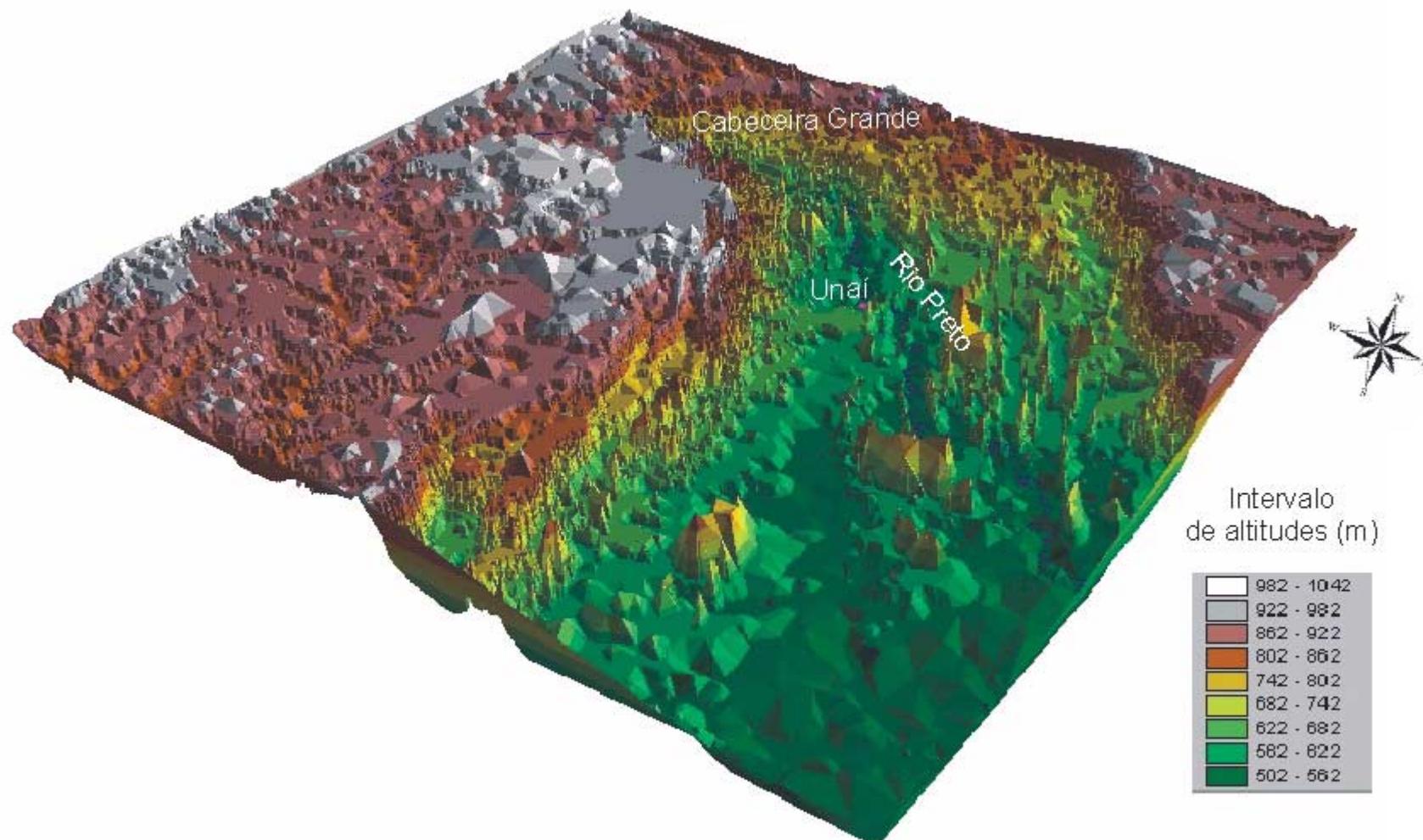


Figura 15 –Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Norte construído a partir da variável altitude. Intervalo de altitude varia de 520 (cor verde escura) a 1000 m (cor branca).- escala 1:800.000 – dimensões aproximadas 111 x 111 Km

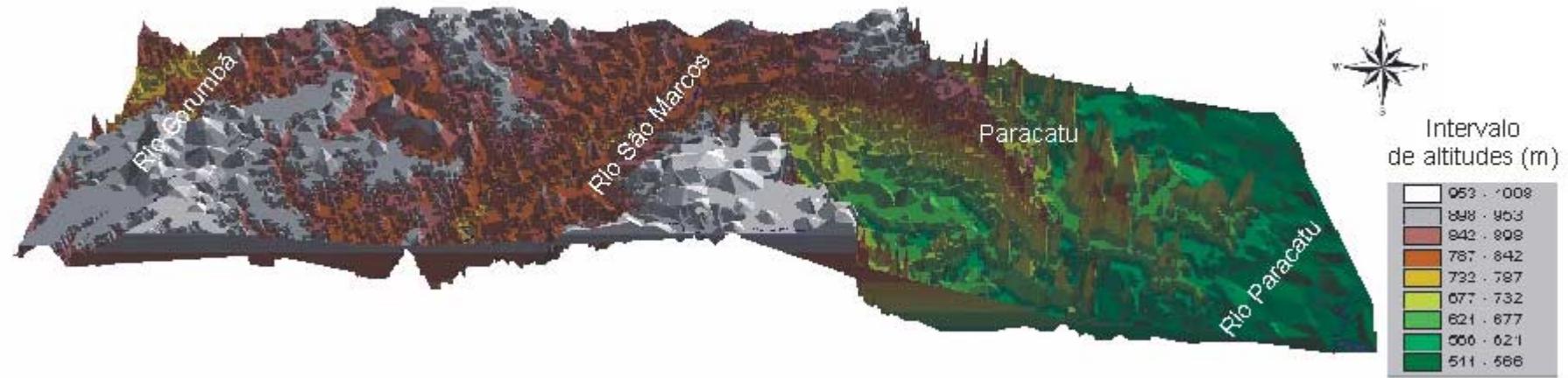


Figura 16 -Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Centro construído a partir da variável altitude. Intervalo de altitude varia de 520 (cor verde escura) a 1000 m (cor branca). - escala 1:800.000 – dimensões aproximadas 165,5 x 55,5 Km -

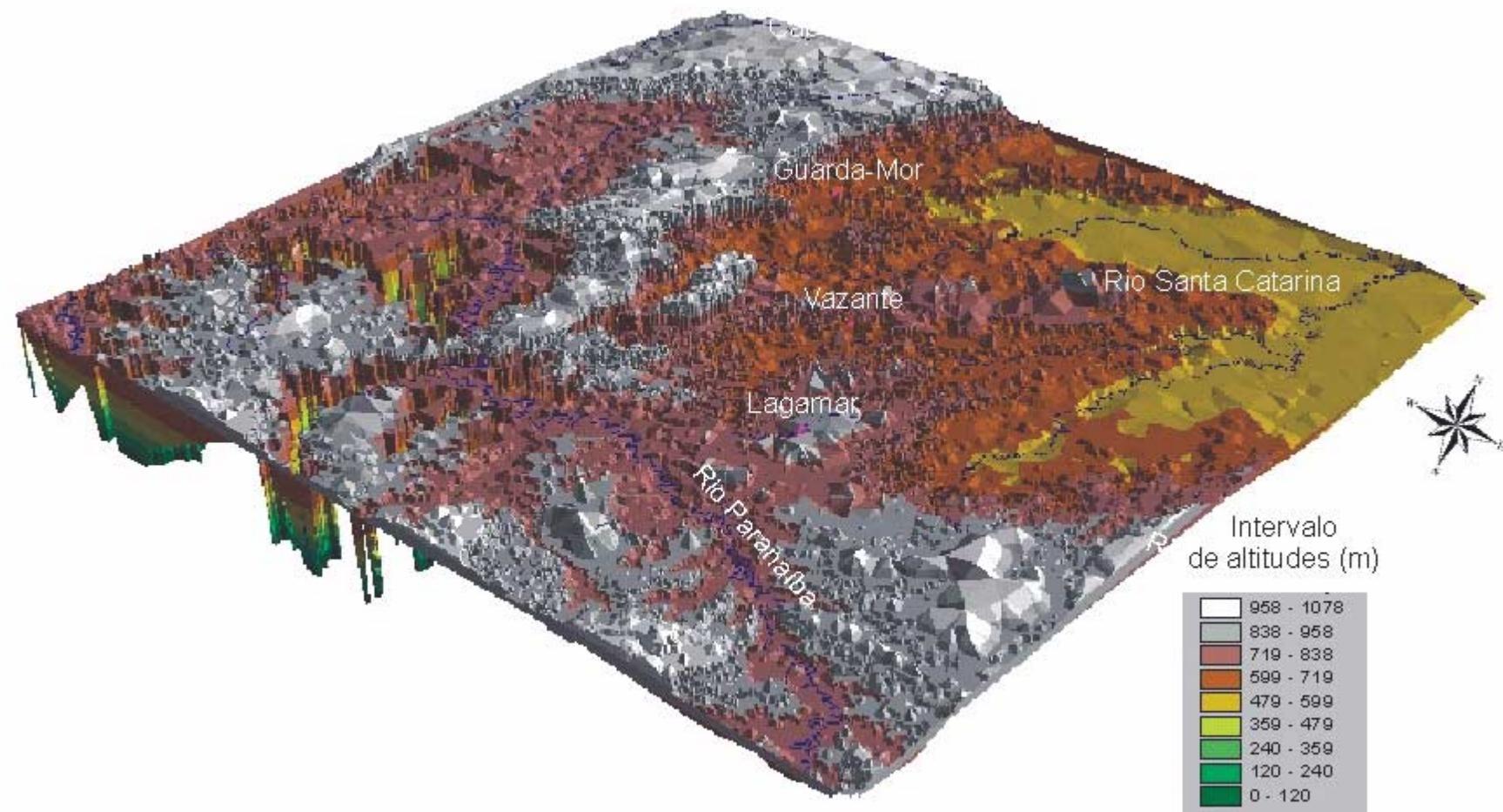


Figura 17 – Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Sul construído a partir da variável altitude. Intervalo de altitude varia de 480 (cor laranja escura) a 1080 m (cor branca).- escala 1:800.000 – dimensões aproximadas 111 x 111 Km

### **5.2 – Características para os MDT's dos Blocos Norte, Centro e Sul**

Os Modelos Digitais de Terreno para os Blocos Norte, Centro e Sul construídos a partir das curvas de nível apresentam algumas características que são destacadas na tabela 4:

**TABELA 4**  
**PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MDT'S CONSTRUÍDOS**

		<b>Blocos</b>		
		<b>Norte</b>	<b>Centro</b>	<b>Sul</b>
Área (km <sup>2</sup> )		11.882,92	8.770,62	11.781,19
Número de pontos obtidos a partir da conversão das curvas de nível + pontos cotados		171.816	121.436	231.677
Densidade (pontos/Km <sup>2</sup> )		14,45	13,84	19,66
Curvas de nível	Cota min. (m)	520	520	520
	Cota max. (m)	1000	1000	1040
	Equidistância (m)	40	40	40

### **5.3 - O processo de interpolação**

A geração de pontos georeferenciados, a partir das curvas de nível, contendo um atributo (Altitude) apresenta um inconveniente: está restrito à existência da curva de nível.

Em locais onde elas estão ausentes ou em número insuficiente torna-se necessário realizar uma interpolação. Cabe salientar que isto deve-se à natureza do processo de aquisição dos dados. A interpolação consiste basicamente na seleção de pontos estrategicamente posicionados, os quais servirão de base para estimar a altitude de pontos considerados próximos.

O interpolador escolhido foi o IDW (*Inverse Distance Weighted*), sendo que sua utilização pressupõe que a variável mapeada (altitude) diminui sua influência considerando a distância em relação a um ponto amostrado. O processo de interpolação utiliza-se de uma célula, na qual um certo número específico de pontos ou todos os pontos dentro de um determinado raio específico são utilizados para estimar o valor da altitude.

Deste modo, pontos mais próximos à esta célula recebem um peso maior do que pontos mais distantes. Computados todos os pesos atribuídos aos pontos, relativamente à sua posição à célula, é estimado então o valor final da altitude.

Através da extensão 3D Analyst foi então realizado o processo de interpolação nos blocos Norte, Centro e Sul. Alguns parâmetros do processo necessitam de intervenção para sua seleção enquanto outros são calculados automaticamente pelo programa e aceitos os valores “default”. A partir dos pontos georeferenciados, possuidores do atributo altitude, foram configurados os seguintes parâmetros:

### **Blocos Norte, Centro e Sul**

“Output grid cell size” (tamanho da célula): 0, 004404 graus decimais

Método: IDW

“Z value field” (nome do campo da variável Z): Altitude

“Tipo: “Nearest neighbors”

“Número de vizinhos: 12”

“Power”: 2

“Barriers”: “no barriers”

As figuras 18, 19 e 20 exibem os Modelos Digitais de Terreno para os blocos Norte, Centro e Sul, agora comparando os modelos não interpolados aos interpolados.

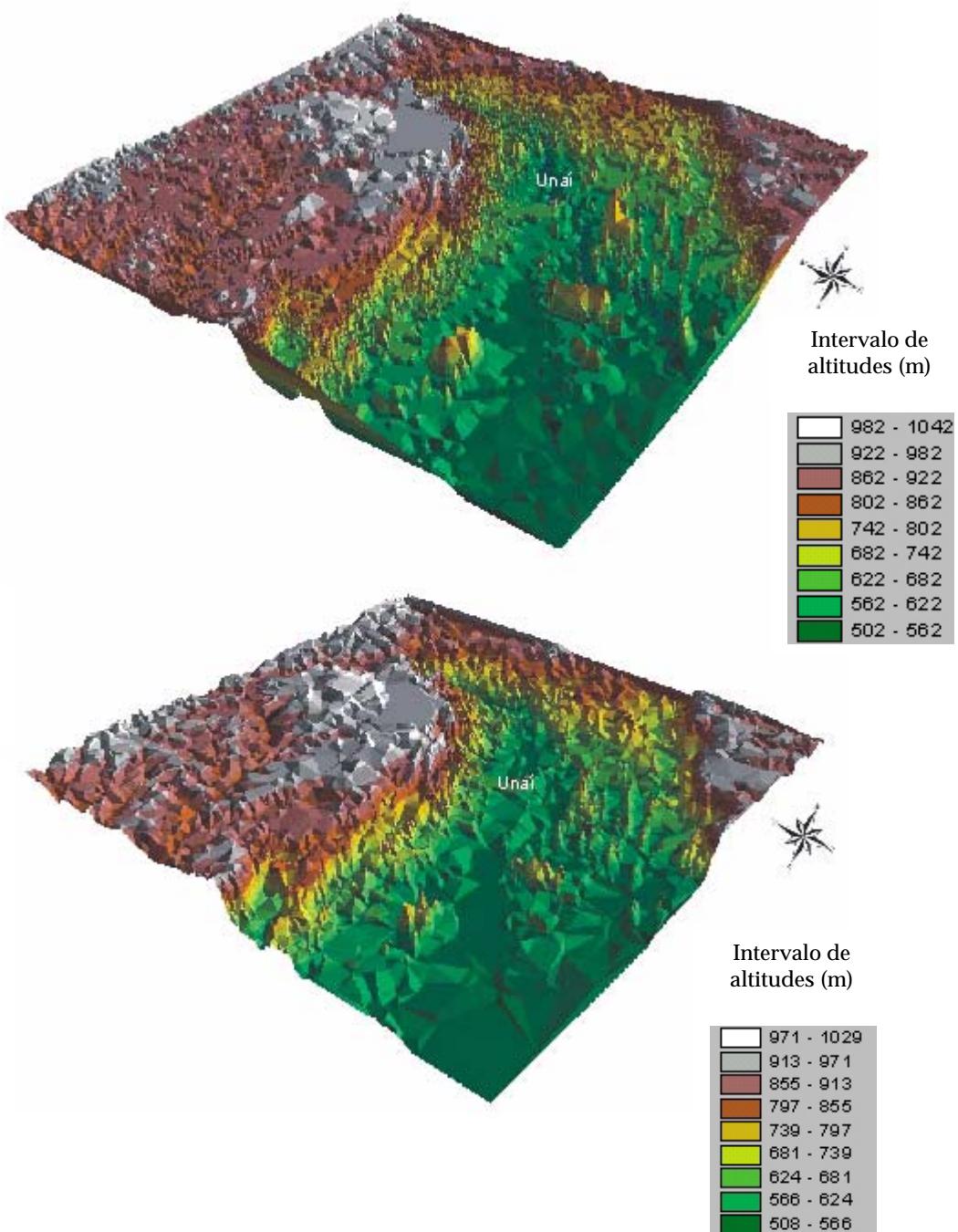


Figura 18 – Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Norte. Sem interpolação (superior) e com interpolação IDW (inferior) – escala 1:800.000 – dimensões aproximadas 111 x 111 Km.

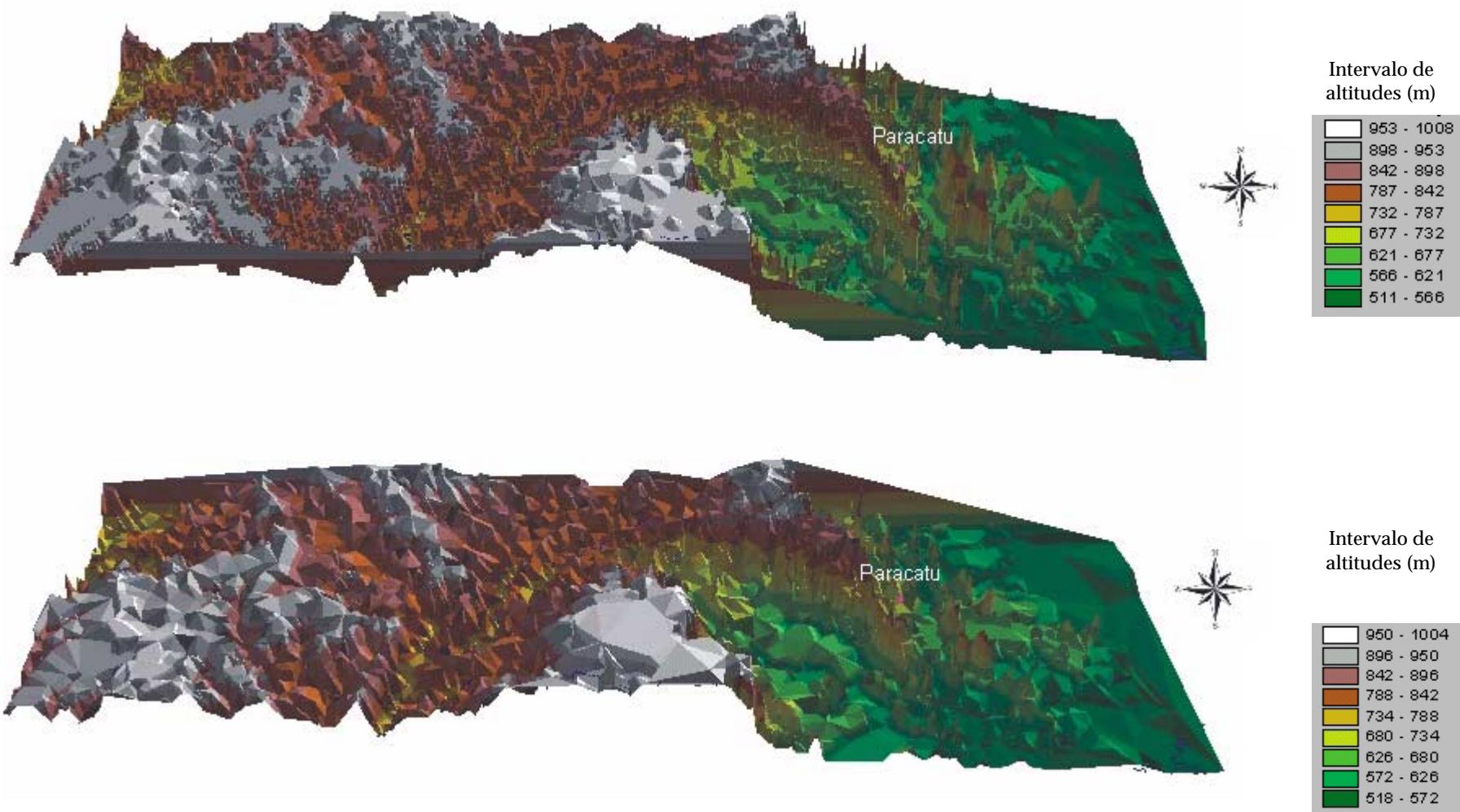


Figura 19 – Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Centro. Sem interpolação (superior) e com interpolação IDW (inferior) – escala 1:800.000 – dimensões aproximadas 165,5 x 55,5 Km.

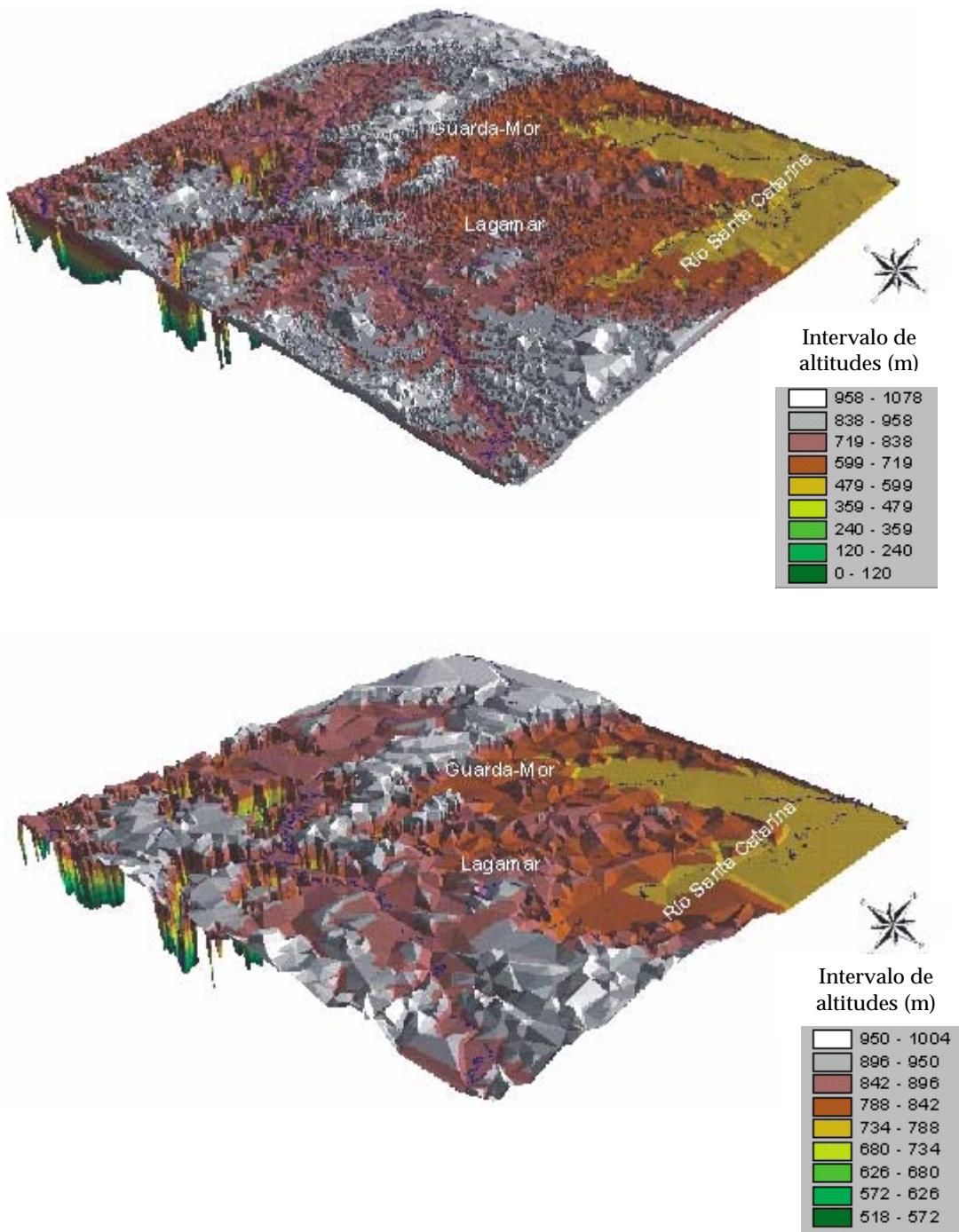


Figura 20 – Visão tridimensional do Modelo Digital de Terreno do Bloco Sul. Sem interpolação (superior) e com interpolação IDW (inferior) – escala 1:800.000 – dimensões aproximadas 111 x 111 Km.

Como pode ser observado nas figuras anteriores, o processo de interpolação causa algumas mudanças drásticas, se considerado principalmente o relevo, que altera de uma forma plana, quase que nivelada, com suave graduação de uma altitude para outra para uma forma abrupta, angulosa, exibindo saliências proeminentes no topo. As melhores evidências estão exibidas nos MDT's dos Blocos Centro e Sul.

#### **5.4 - A construção de grids**

Grid, segundo ESRI (1998) é um objeto que armazena dados espaciais em formato raster no qual o espaço é dividido em células quadradas onde cada uma desta célula armazena um valor numérico. Por outro lado, grid também pode ser considerado como qualquer arranjo de dados na forma X,Y,Z.

Considerando a primeira definição, grid então passa a ser um dos três tipos de dados utilizados pelo 3D Analyst para modelamento de superfícies. Os outros dois considerados são TIN's e arquivos “shape”.

Deste modo, nas figuras 21, 22 e 23 são apresentados os grids para os Blocos Norte, Centro e Sul, uma forma de representação raster que quando comparada com a representação vetorial apresenta as suas vantagens e desvantagens. Os grids foram construídos de forma automática através do 3D Analyst, valendo-se do recurso de conversão de TIN para grid.

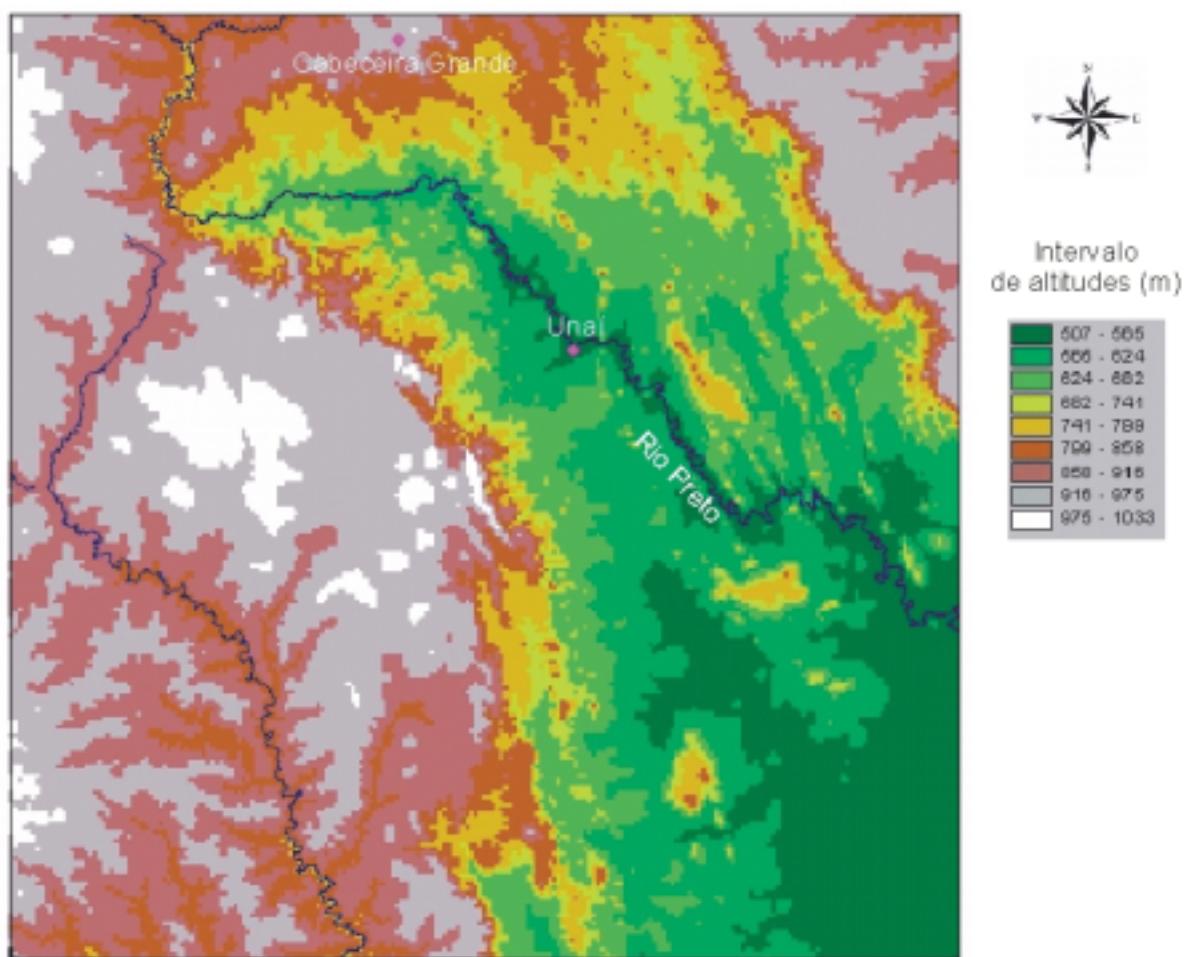


Figura 21 – Modelo grid do Bloco Norte gerado a partir da conversão do respectivo TIN – escala 1:800.000 – dimensões aproximadas 111 x 111 km.

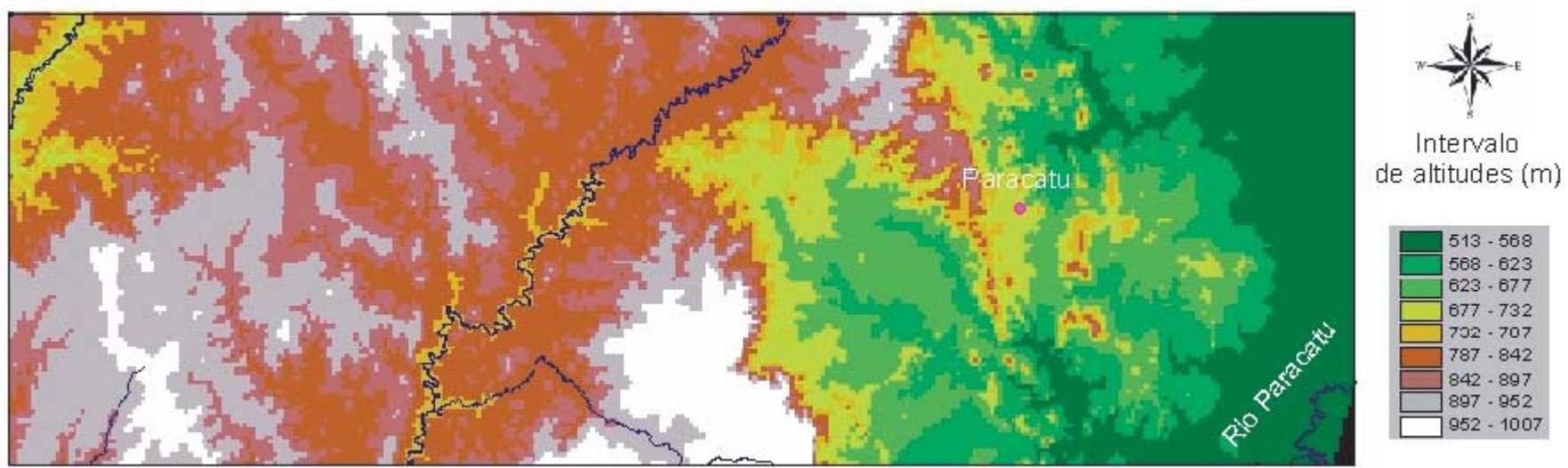


Figura 22 – Modelo grid do Bloco Centro gerado a partir da conversão do respectivo TIN – escala 1:800.000 – dimensões aproximadas 165,5 x 55,5 Km

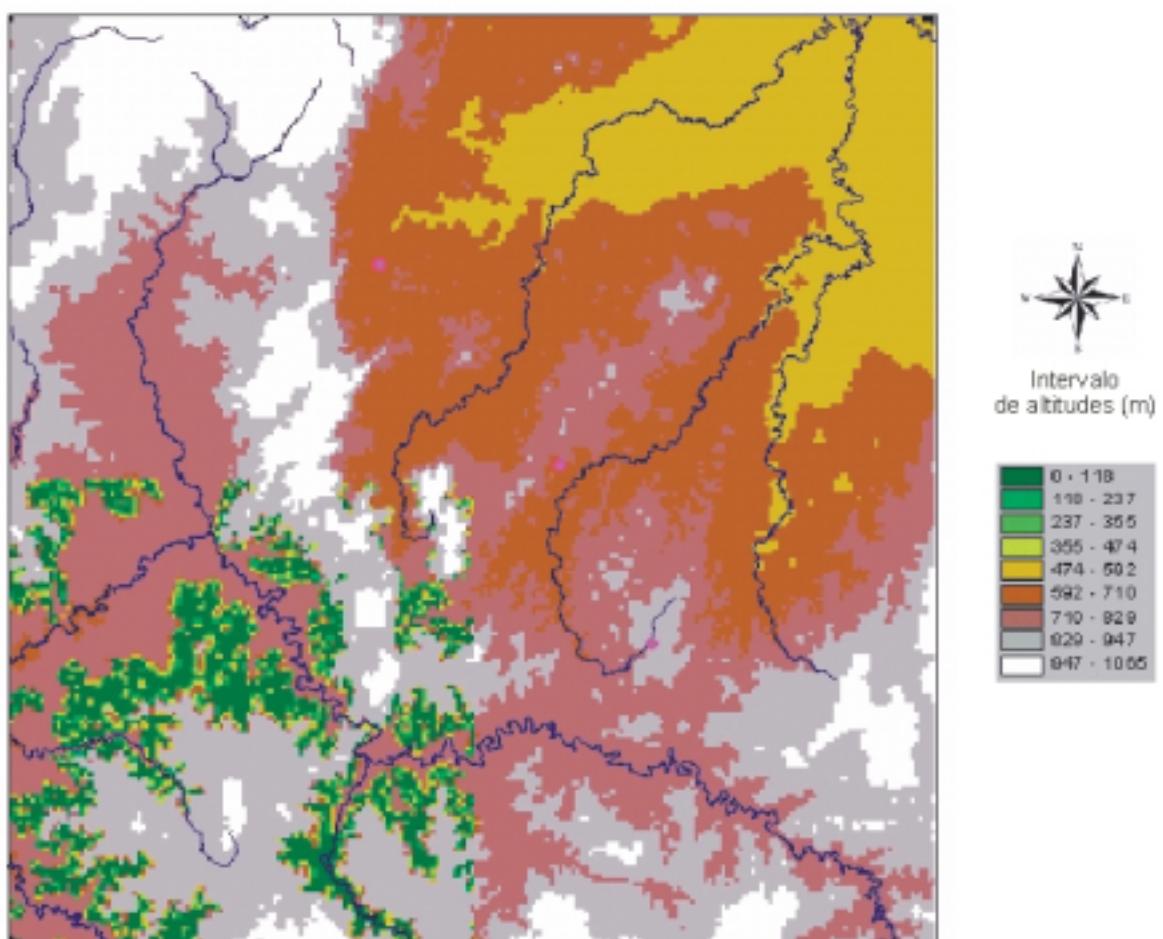


Figura 23 – Modelo grid do Bloco Sul gerado a partir da conversão do respectivo TIN – escala 1:800.000 – dimensões aproximadas 111 x 111 Km

## 6 O TRATAMENTO DOS DADOS GEOQUÍMICOS NO SURFER

A região de Unaí-Paracatu-Vazante, no oeste de Minas Gerais, vem sendo alvo de estudos de prospecção geológica por muitas décadas, principalmente por encerrar importantes depósitos minerais além de diversas outras ocorrências minerais. Estas descobertas devem-se em grande parte a exaustivos programas de prospecção geológica de âmbito regional e/ou levantamento geoquímico realizados pela extinta METAMIG – Metais de Minas Gerais (hoje COMIG – após processo de fusão com a CAMIG – Companhia Agrícola de Minas Gerais) e CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, ambas empresas responsáveis pelo fomento do setor geológico no estado de Minas Gerais. Neste sentido, cabe destacar os Programas de Levantamento Geológico Básico (PLGB) e o denominado Projeto Geoquímica do Bambuí, este último envolvendo dados geoquímicos de grande parte de Minas Gerais, Bahia e Goiás.

Recentemente a COMIG – Companhia Mineradora de Minas Gerais, encomendou à empresa TARGET, Geologia, Mineração e Meio Ambiente Ltda., um amplo estudo envolvendo a organização e compilação de uma base de dados na região oeste de Minas Gerais, em uma área de aproximadamente 8.000 Km<sup>2</sup>, situada principalmente em áreas de pesquisa de sua titularidade. A Fig. 1 exibe a localização e abrangência da área coberta por este levantamento geoquímico.

Originalmente, esta compilação contemplou a coleta de 2328 amostras distribuídas em sete classes diferentes: Sedimento de corrente, Água, Vegetação, Concentrado de bateia, Solo, Rocha e Outros, analisadas para elementos maiores, menores e traços, com os valores sendo expressos em porcentagem, ppm e ppb.

Parte desta compilação, totalizando trinta e duas variáveis, foi aqui adotada como proposta de trabalho, sendo selecionados quatro elementos químicos – Ouro (Au), Cobre (Cu), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) – analisados pelos processos de absorção atômica (aa) e espectrometria (espec) em quatro classes – Sedimento de corrente, Concentrado de bateia, Solo e Rocha, para tratamento e modelagem estatística com o objetivo de salientar as particularidades da distribuição destes elementos através do seu posicionamento espacial, com a finalidade de destacar áreas anômalas para aqueles elementos.

O “software” SURFER v. 7.0 foi utilizado neste tratamento por oferecer uma ampla gama de ferramentas adequadas ao objetivo deste trabalho, além de sua facilidade de operação, entrada de dados, compatibilização com outros programas, capacidade de exportação de dados e confecção de “plots” em vários formatos.

Inicialmente, o primeiro passo é analisar a distribuição espacial e a freqüência com que os dados ocorrem. O primeiro item pode ser visualizado através da ordenação dos dados em um sistema cartesiano, no qual as coordenadas dos pontos servem como referências, enquanto que o segundo é melhor representado por histogramas de freqüência.

As figuras 24 a 52 apresentam estas distribuições para os elementos Au, Cu, Pb e Zn nas quatro classes selecionadas. Notar que a linha vermelha em todos os gráficos de distribuição espacial (esq.) delimita a área coberta pelo levantamento geoquímico.

## Classe: Concentrado de bateia

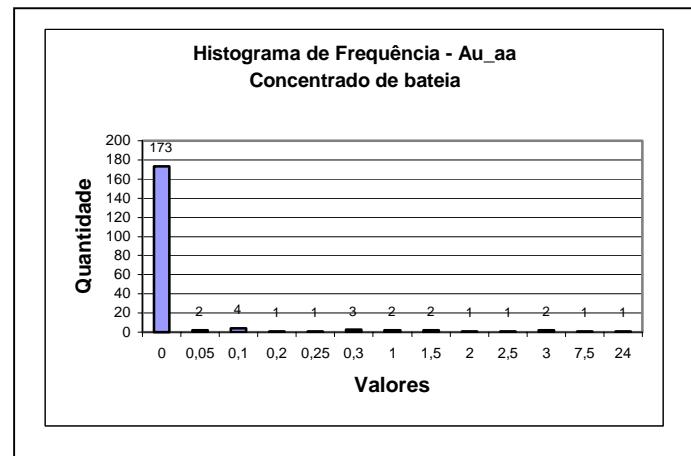
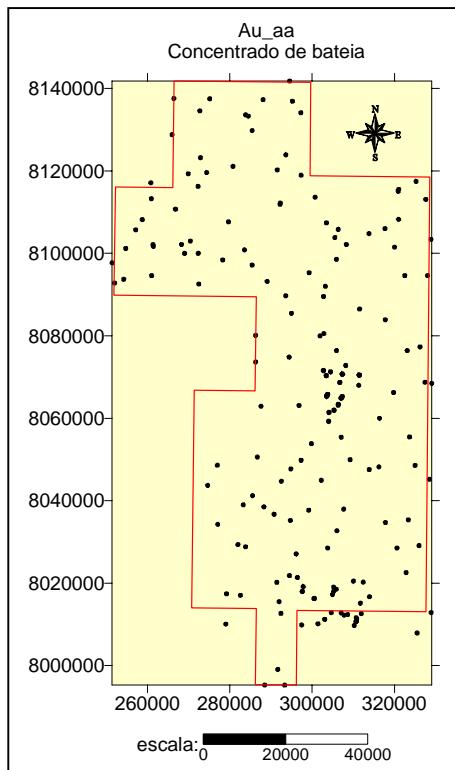


Figura 24 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Au\_aa - Classe: Concentrado de bateia. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

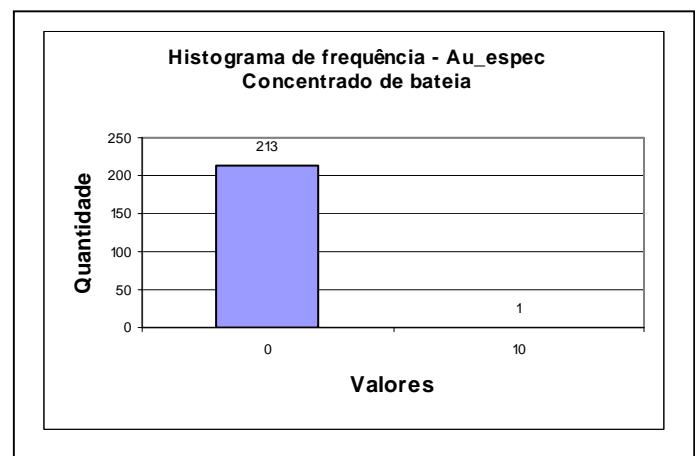
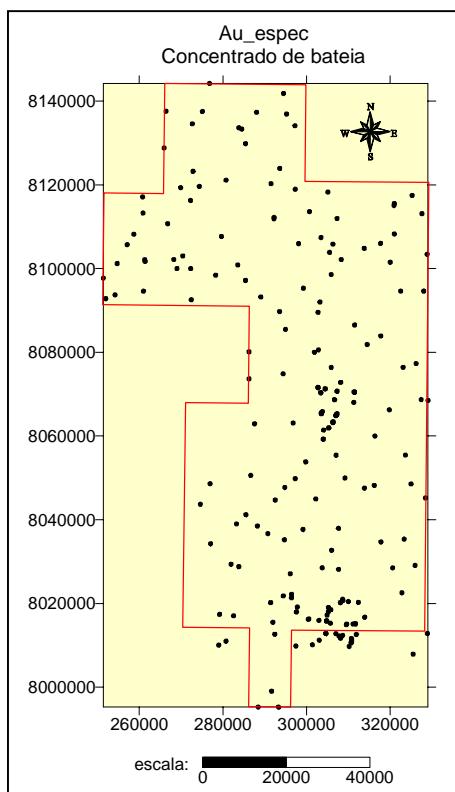


Figura 25 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Au\_espec - Classe: Concentrado de bateia. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

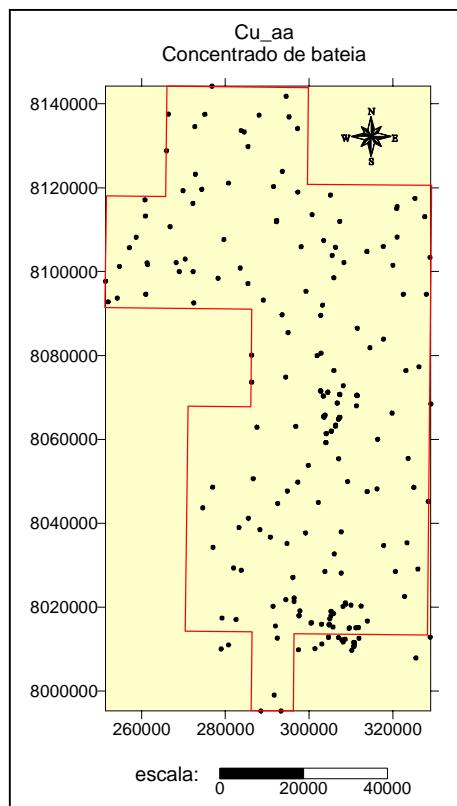


Figura 26 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Cu\_aa - Classe: Concentrado de bateia. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

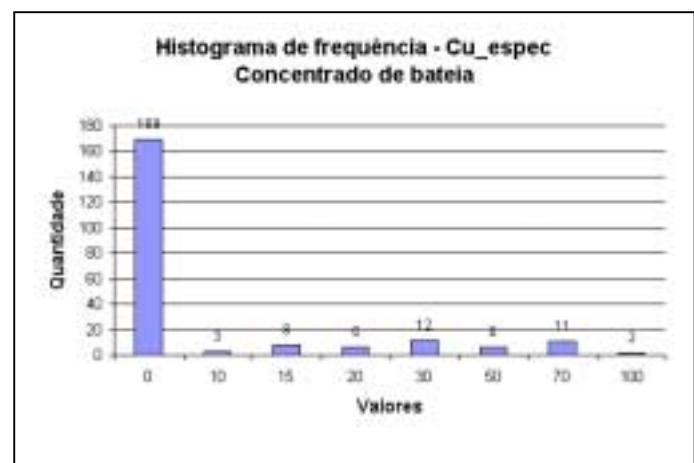
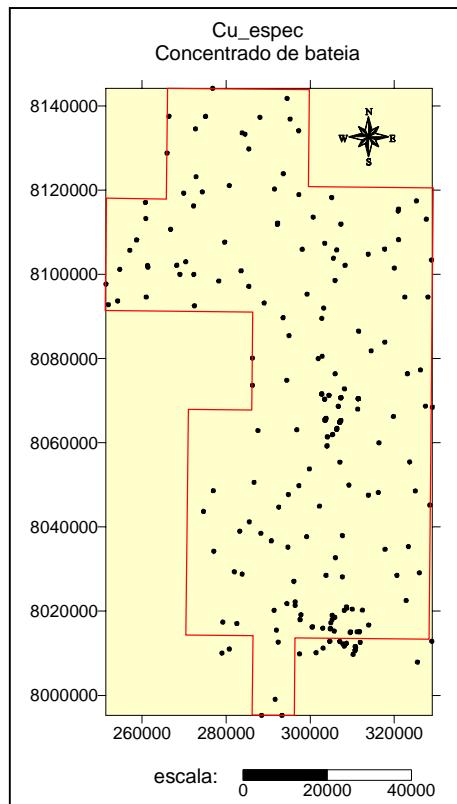


Figura 27 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Cu\_espec - Classe: Concentrado de bateia. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros..

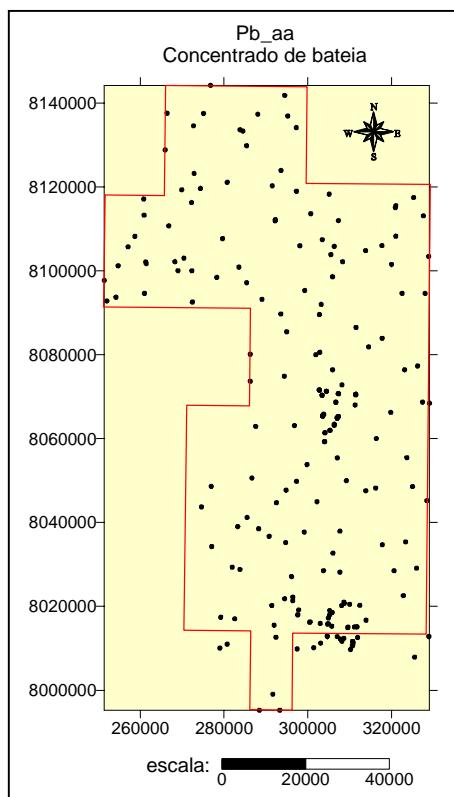


Figura 28 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Pb\_aa – Classe: Concentrado de bateia. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

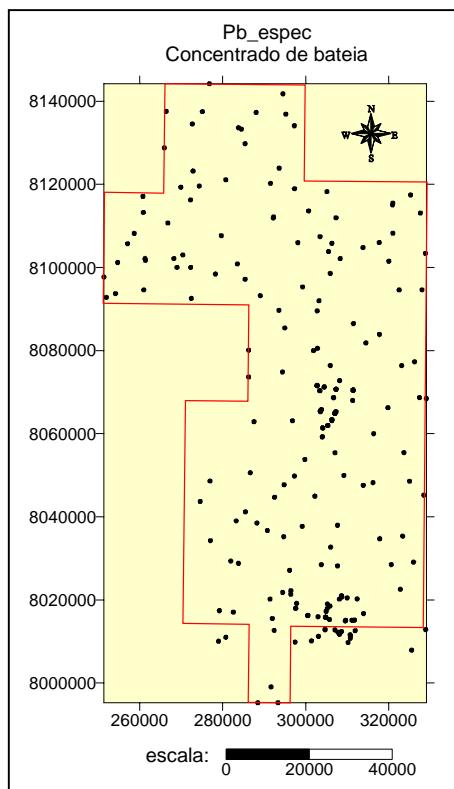


Figura 29 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Pb\_espec – Classe: Concentrado de bateia. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

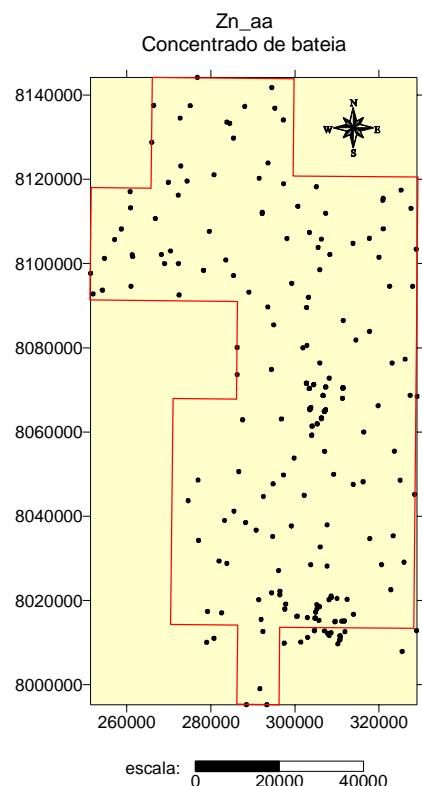


Figura 30 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Zn\_aa – Classe: Concentrado de bateia. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

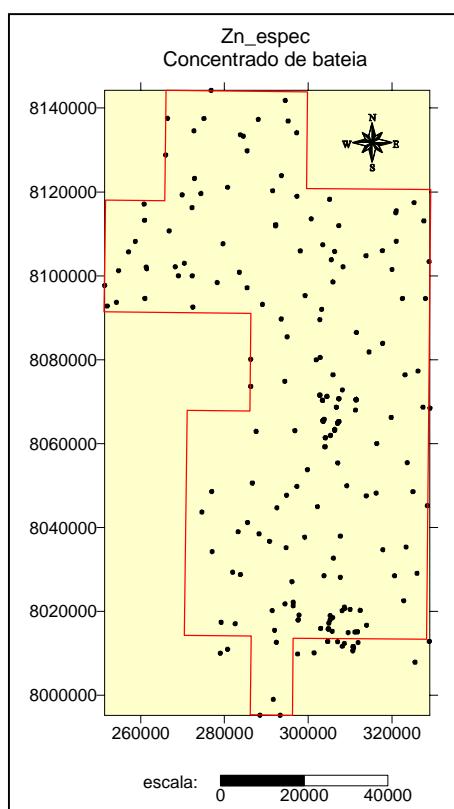


Figura 31 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Zn\_espec – Classe: Concentrado de bateia. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

## Classe: Sedimento de corrente

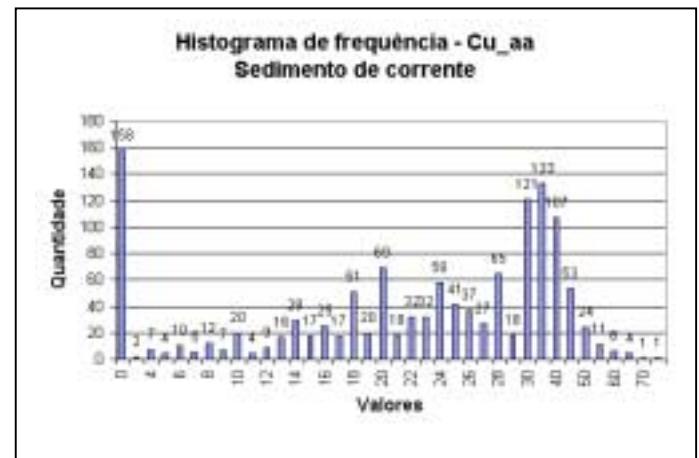
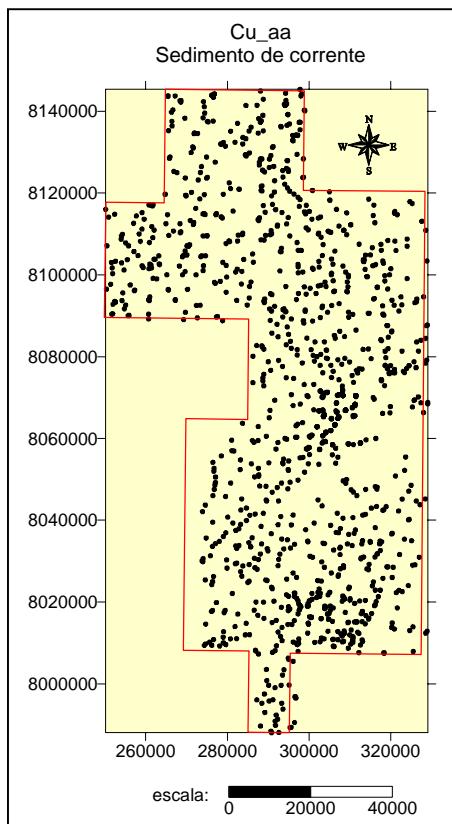


Figura 32 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Cu\_aa – Classe: Sedimento de corrente. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

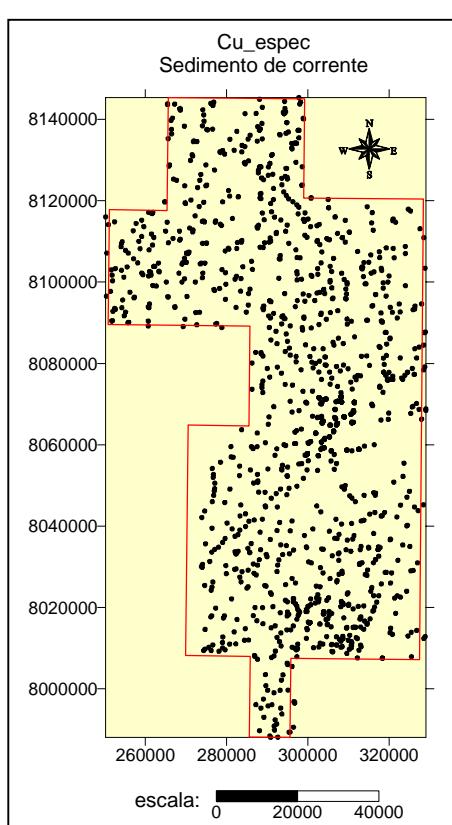


Figura 33 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Cu\_espec – Classe: Sedimento de corrente. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

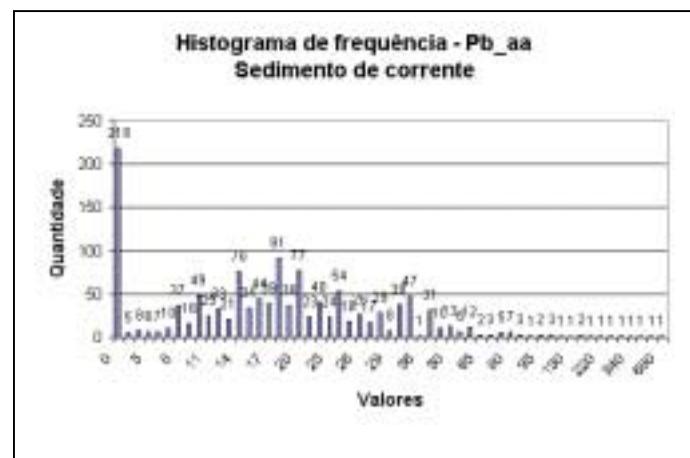
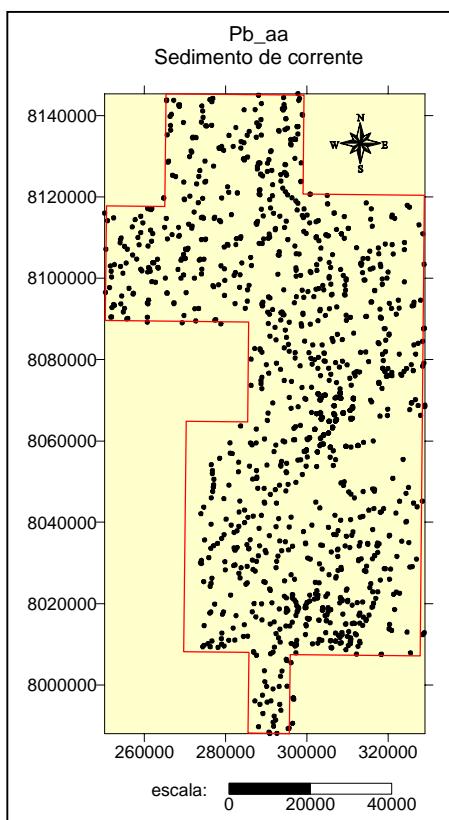


Figura 34 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Pb\_aa - Classe: Sedimento de corrente. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

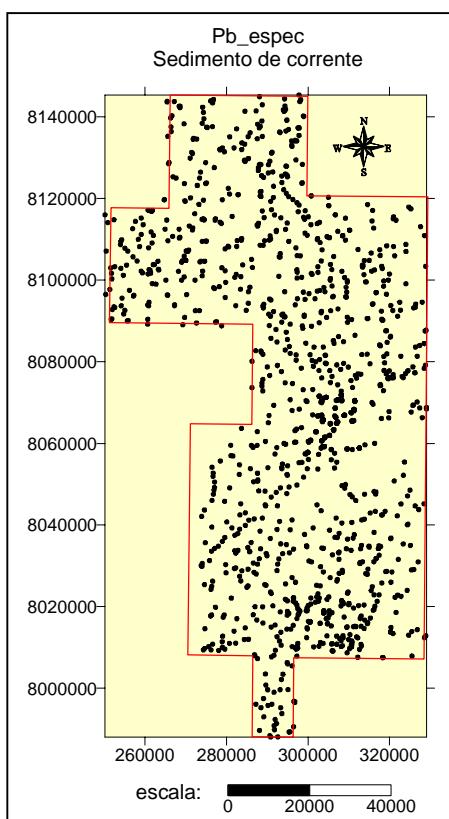


Figura 35 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Pb\_espec - Classe: Sedimento de corrente. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

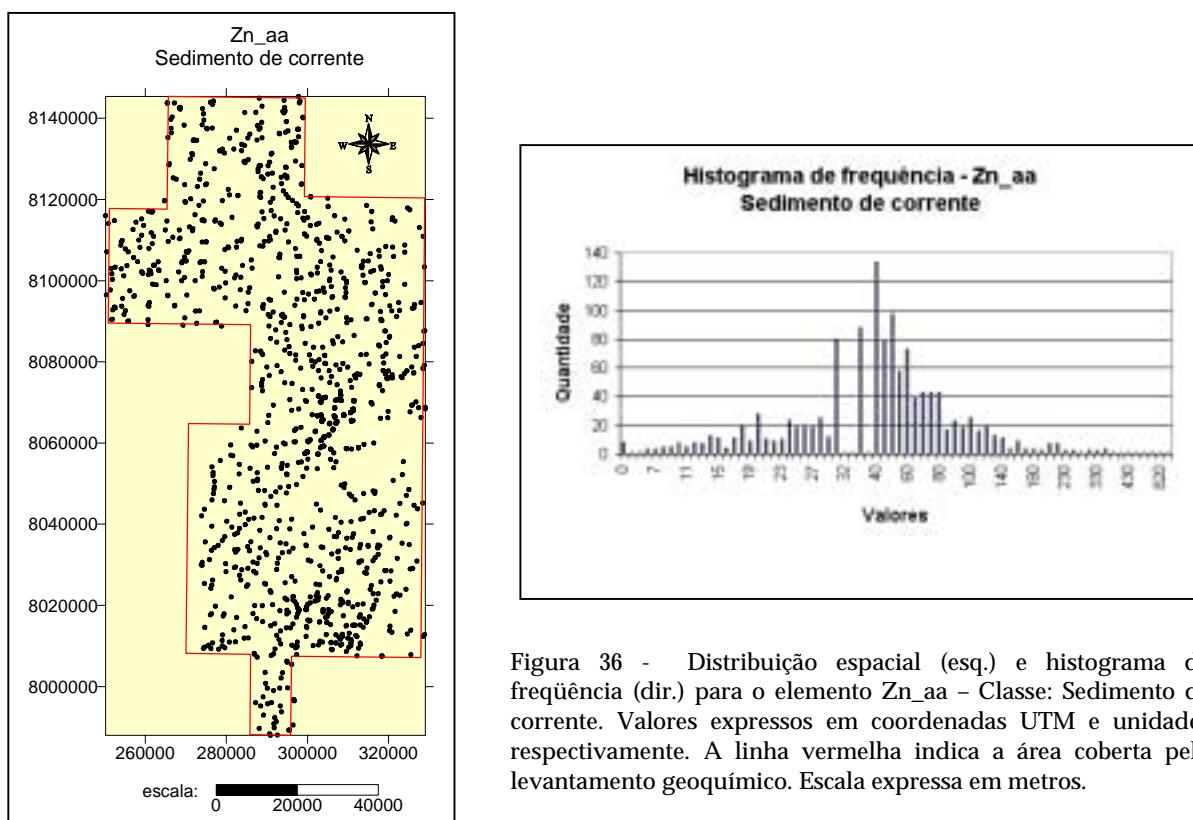


Figura 36 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Zn\_aa – Classe: Sedimento de corrente. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

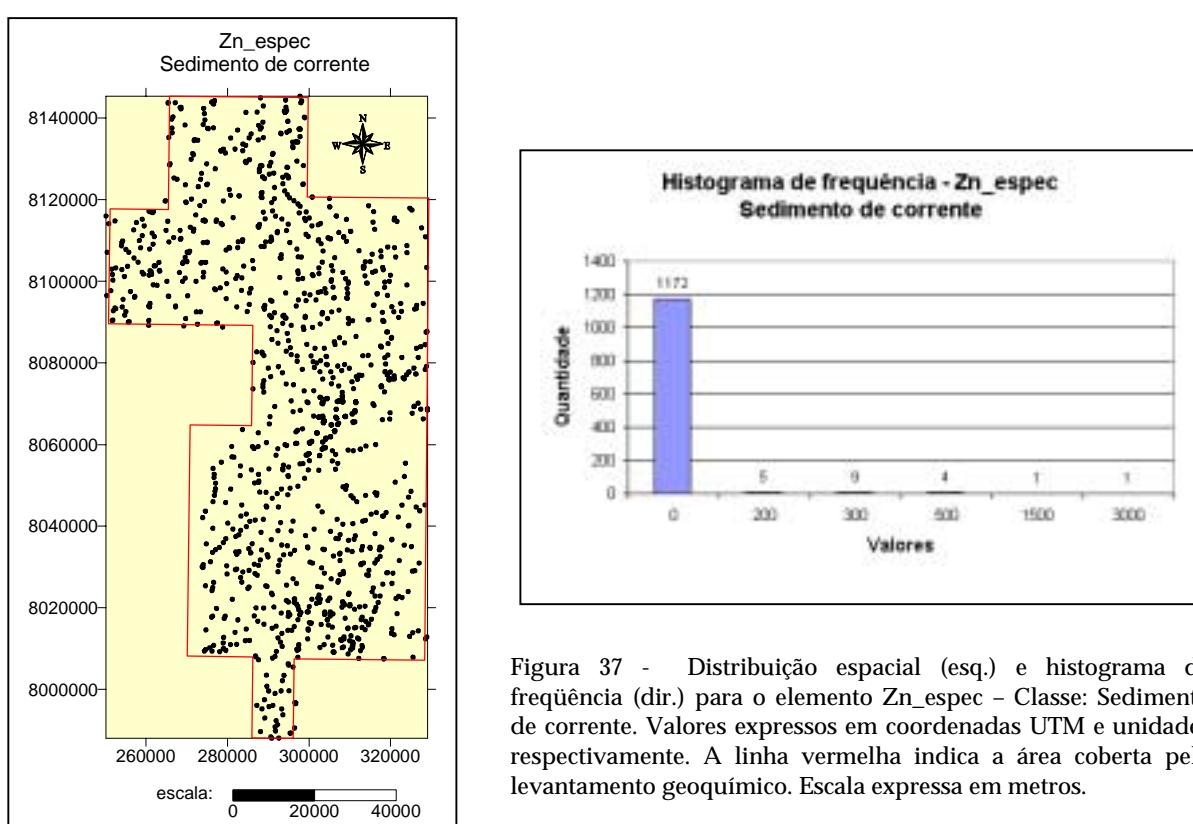


Figura 37 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Zn\_espec – Classe: Sedimento de corrente. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

Os resultados das análises para Au\_aa e Au\_espec em Sedimentos de corrente foram nulos para todas as amostras, o que implica na falta de diagramas de distribuição espacial e histogramas de freqüência para o elemento considerado.

## Classe: Rocha

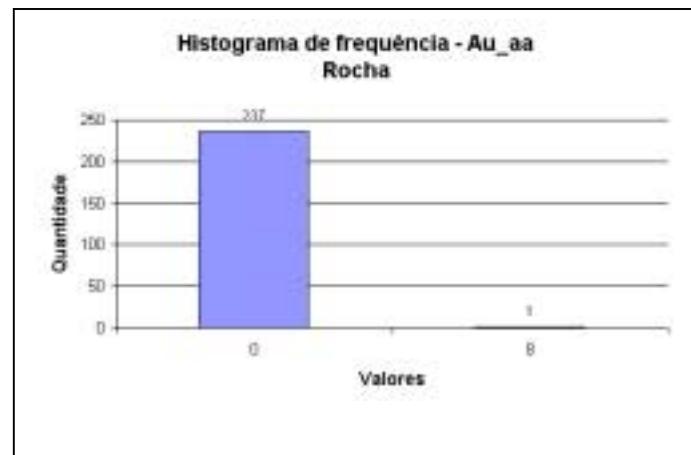
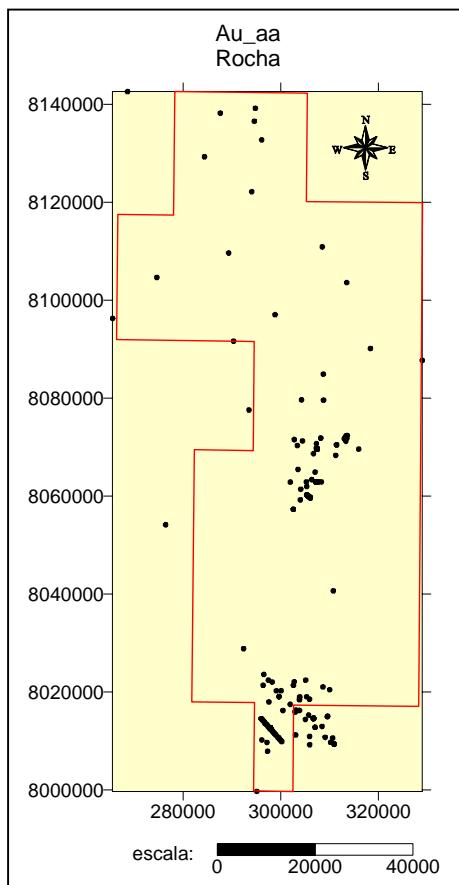


Figura 38 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Au\_aa - Classe: Rocha. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

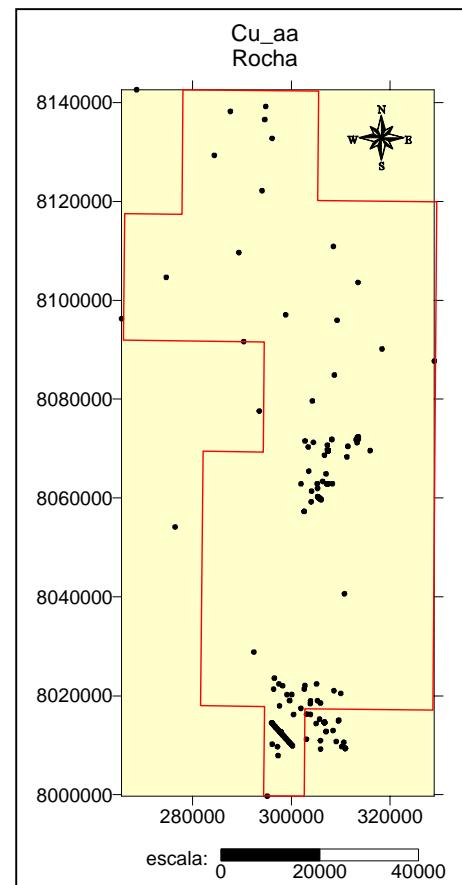
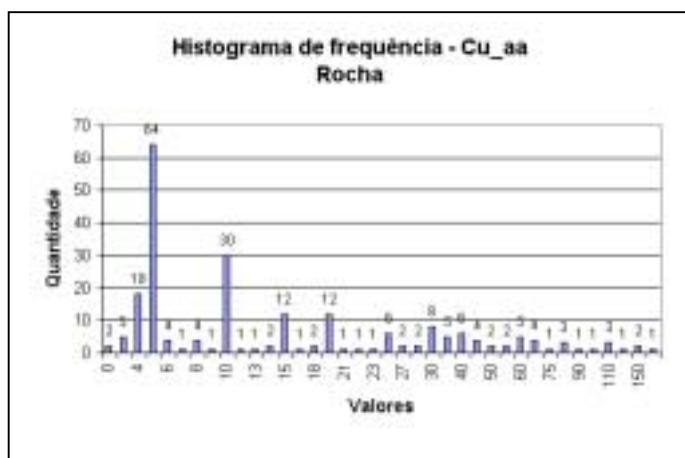


Figura 39 - Distribuição espacial (dir.) e histograma de freqüência (esq.) para o elemento Cu\_aa – Classe: Rocha. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

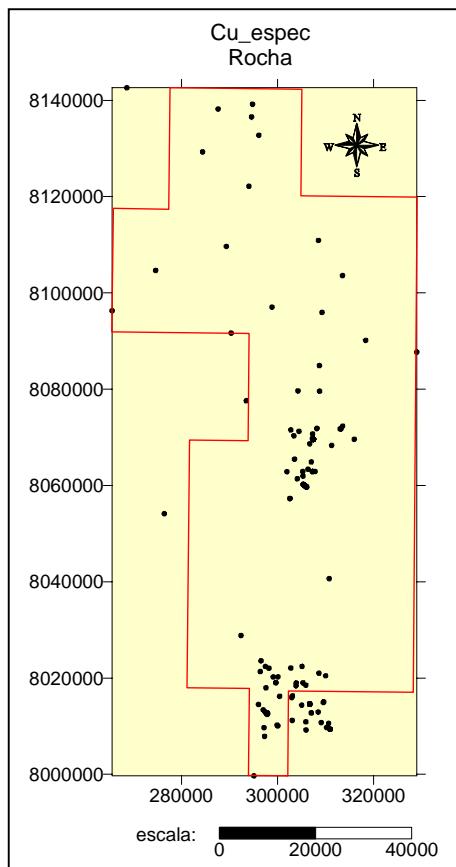
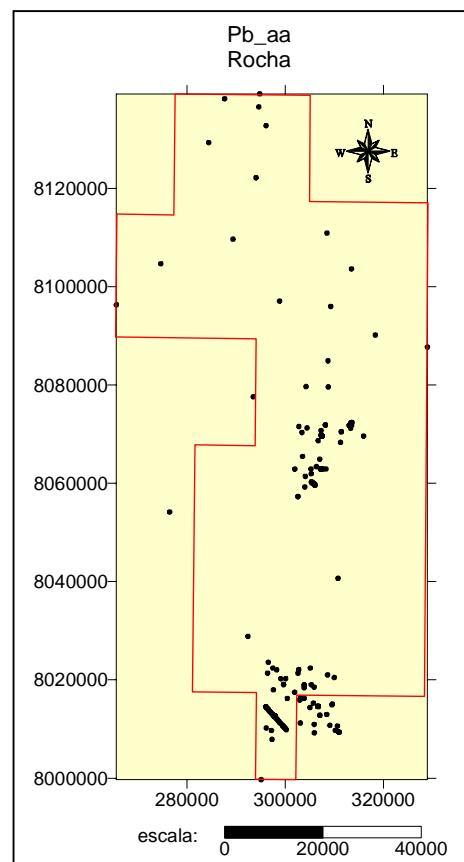
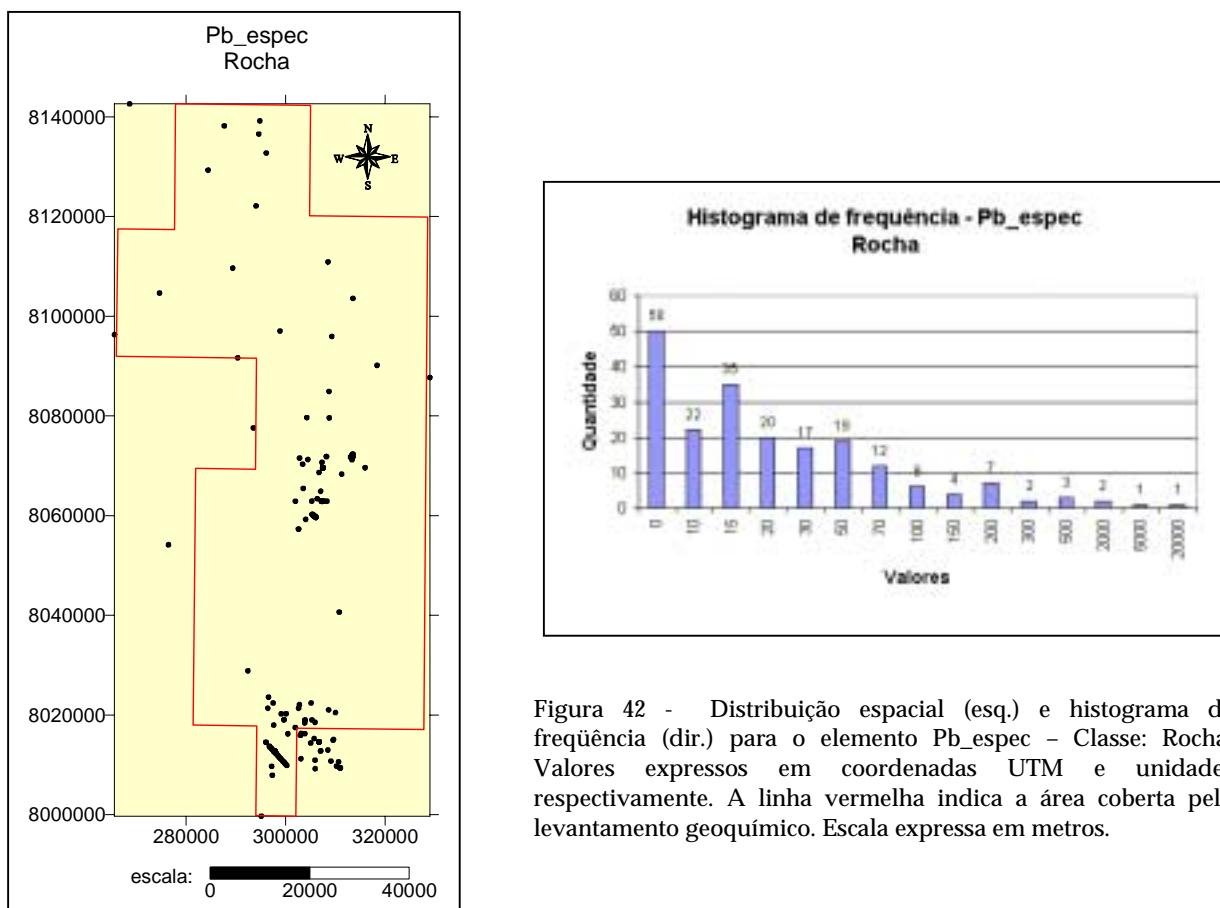


Figura 40 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Cu\_espec – Classe: Rocha. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.





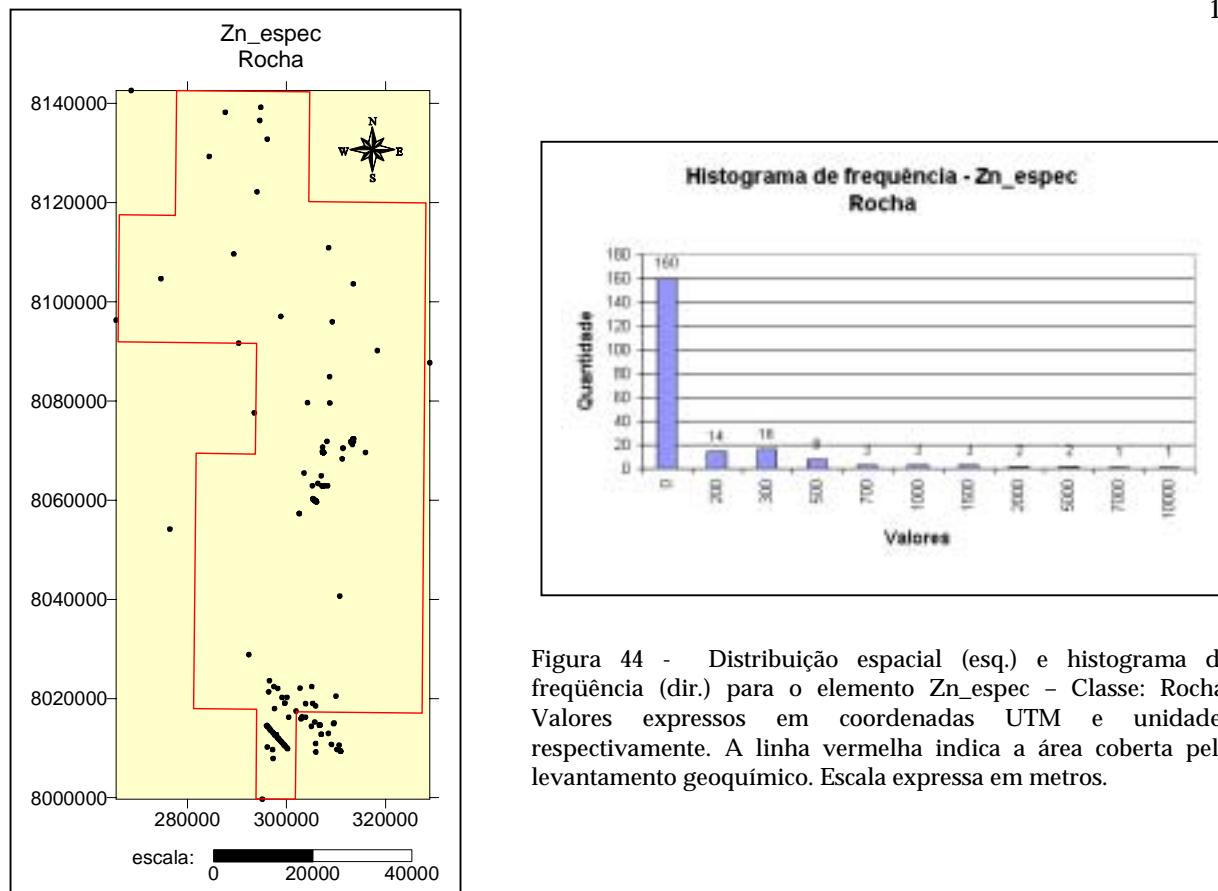


Figura 44 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Zn\_espec - Classe: Rocha. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

Os resultados para Au\_espec em Rocha foram nulos para todas as amostras, o que implica na falta de diagramas de distribuição espacial e histogramas de freqüência para o elemento considerado.

### Classe: Solo

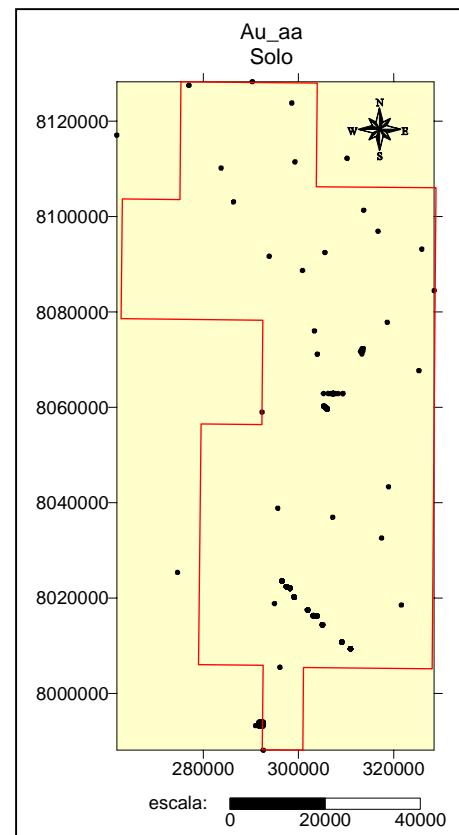
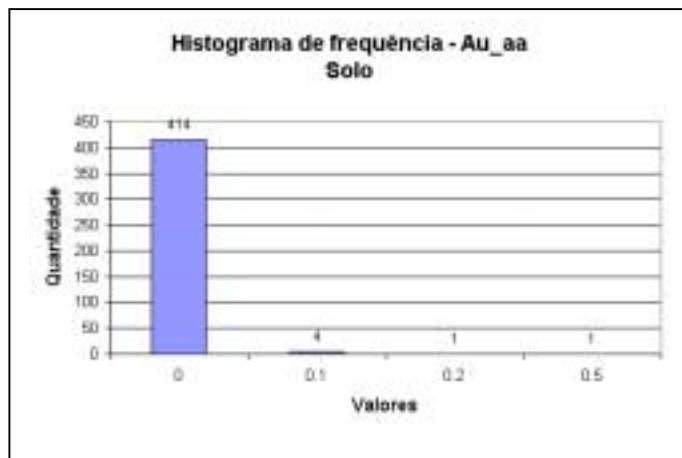


Figura 45 - Distribuição espacial (dir.) e histograma de freqüência (esq.) para o elemento Au\_aa - Classe: Solo. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

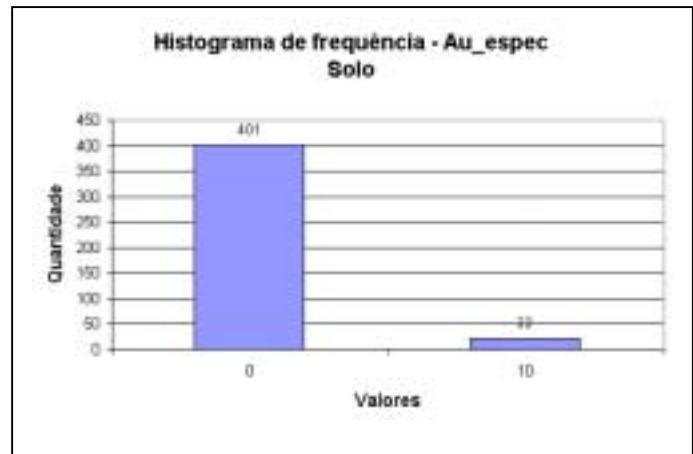
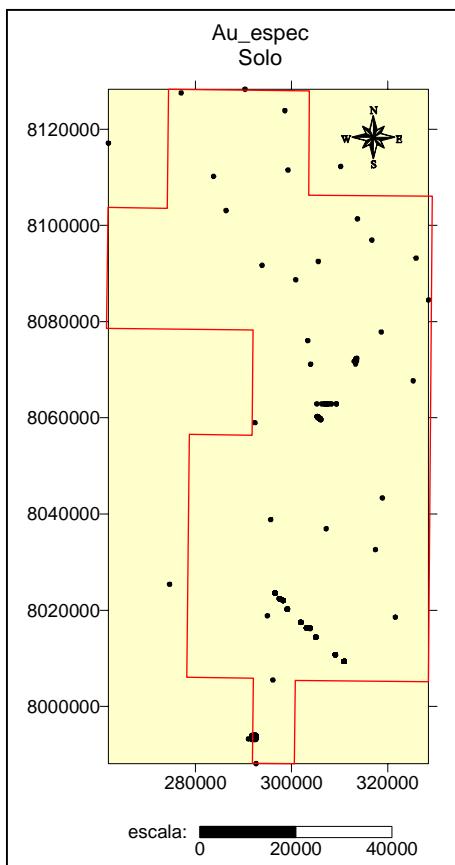


Figura 46 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Au\_espec – Classe: Solo. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

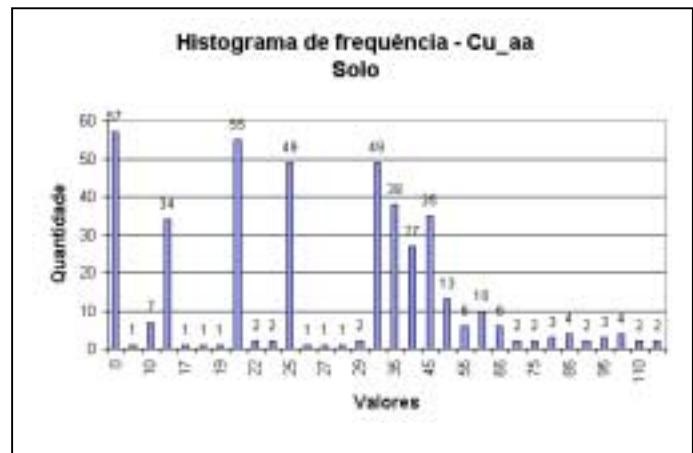
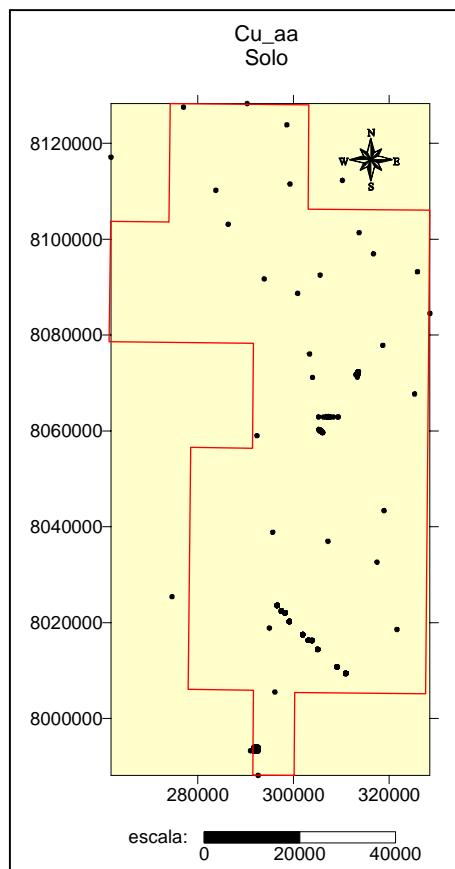


Figura 47 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Cu\_aa – Classe: Solo. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

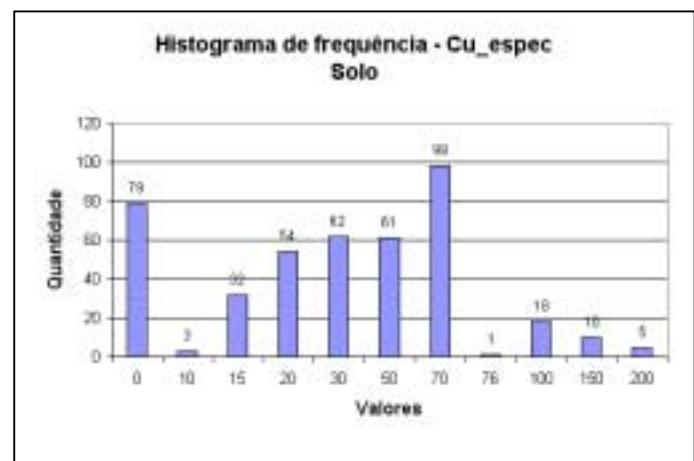
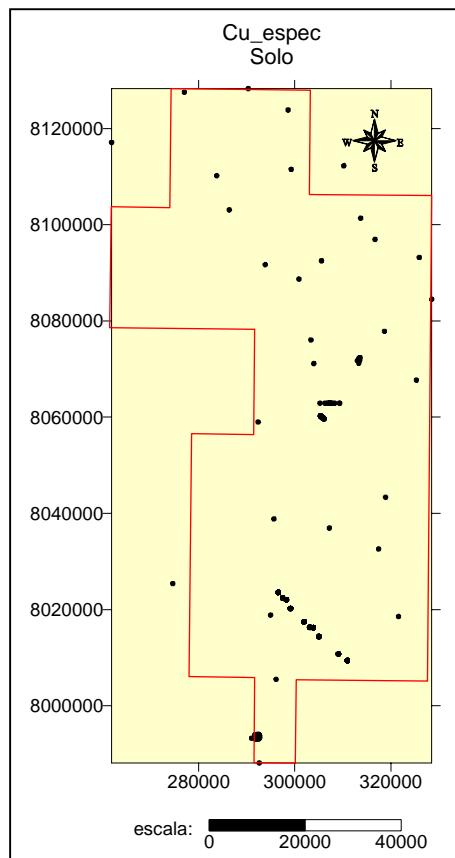


Figura 48 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Cu\_espec – Classe: Solo. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

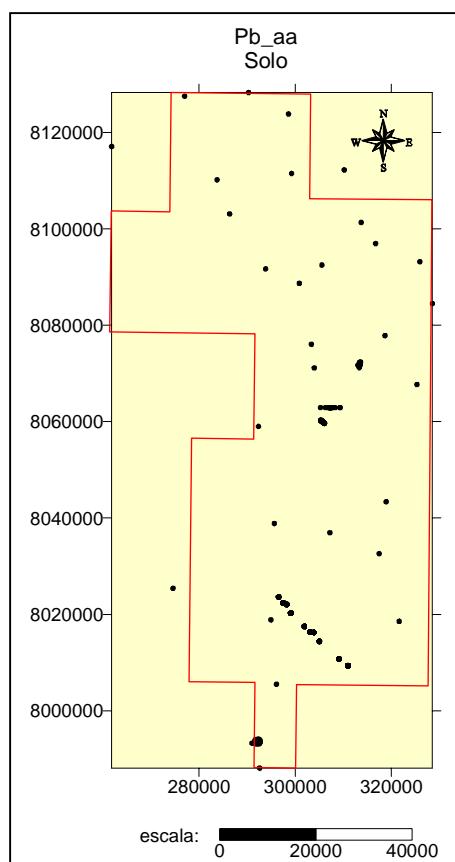


Figura 49 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Pb\_aa – Classe: Solo. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

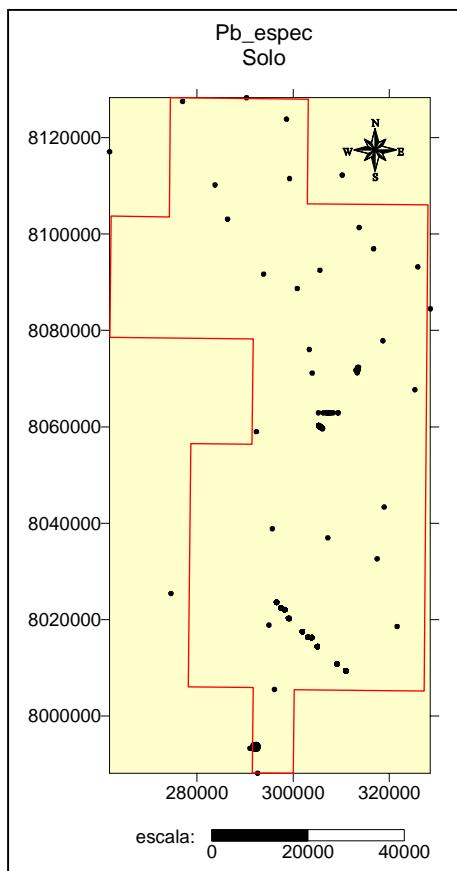


Figura 50 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Pb\_espec – Classe: Solo. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

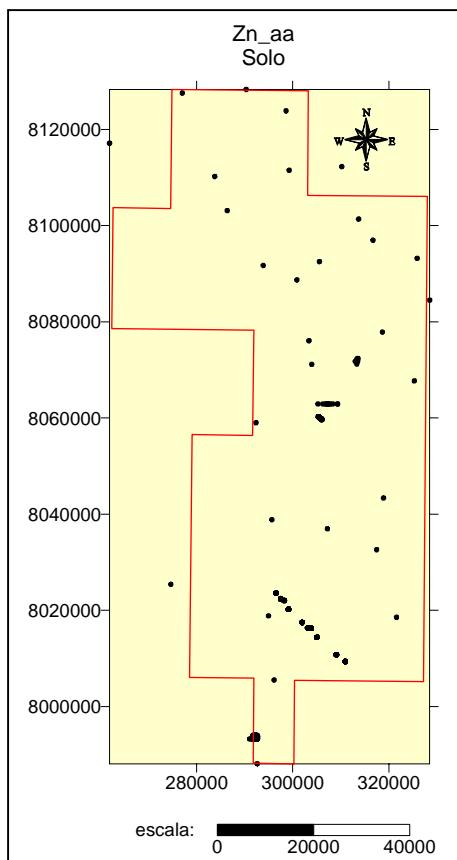


Figura 51 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüência (dir.) para o elemento Zn\_aa – Classe: Solo. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

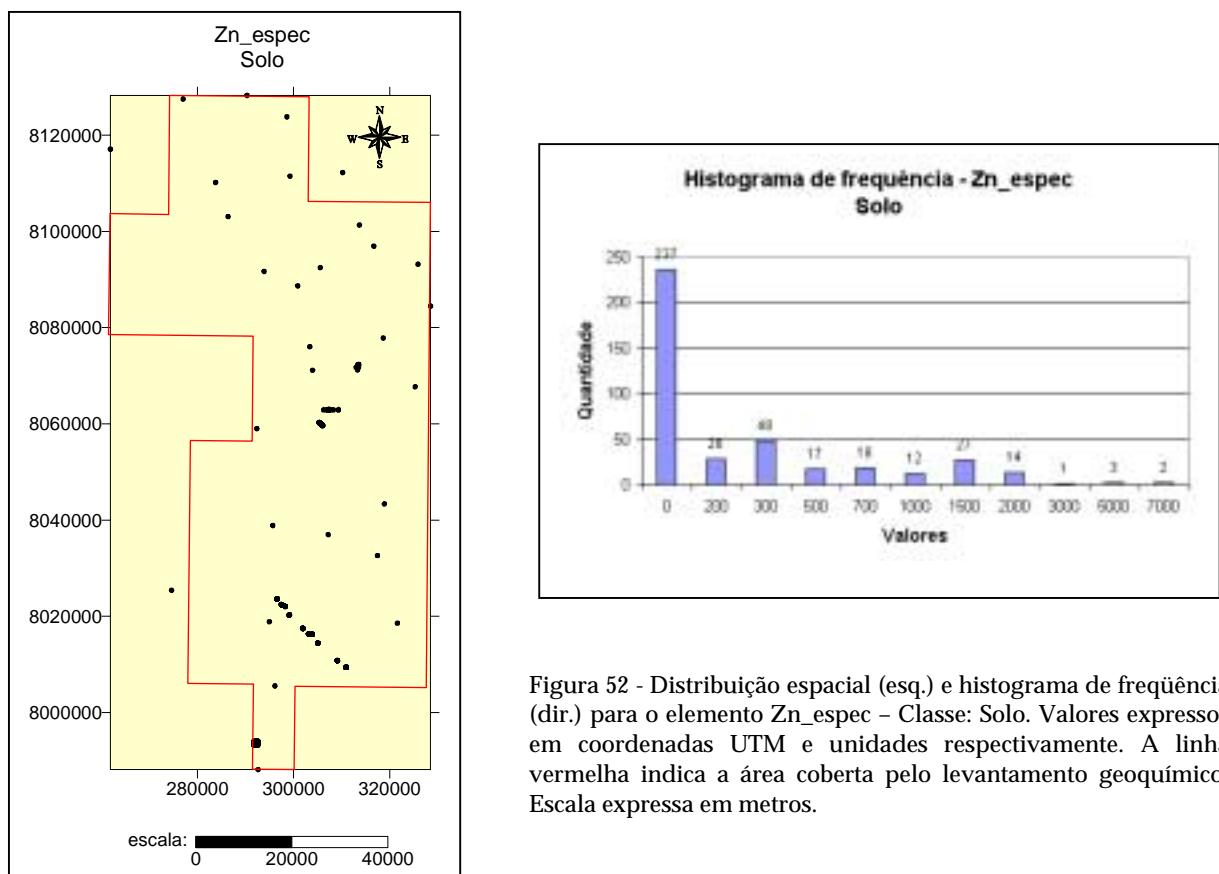


Figura 52 - Distribuição espacial (esq.) e histograma de freqüêcia (dir.) para o elemento Zn\_espec – Classe: Solo. Valores expressos em coordenadas UTM e unidades respectivamente. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Escala expressa em metros.

## 6.1 - O PROCESSO DE “KRIGAGEM”

De posse dos dados selecionados, Au, Cu, Pb e Zn, analisados nos métodos de absorção atômica (aa) e espectrometria (espec), para as classes sedimento de corrente, concentrado de bateia, solo e rocha, o qual totalizaram 29 diferentes variáveis procedeu-se ao processo de krigagem, realizado pelo Surfer, versão 7.0.

Os dados selecionados são, characteristicamente, arquivos do tipo (X,Y,Z) onde X e Y representam as coordenadas UTM dos pontos de amostragem e Z a variável – Au (aa), Au (espec), Cu (aa), Cu (espec), Pb (aa), Pb (espec) , Zn (aa) e Zn (espec), disponíveis em um arranjo irregularmente espaçado. O programa Surfer necessita inicialmente que os dados sejam “gridados”, isto é, dispostos regularmente em uma malha constituída de linhas e colunas, onde na interseção destas - o nó - é armazenado o valor da variável Z. Neste trabalho foi utilizada uma malha regular, de dimensões 250 x 250 m, com o objetivo de controlar melhor o processo de interpolação. Nos locais onde há ausência de dados, o programa preenche estes vazios extrapolando ou interpolando os valores da variável Z naqueles locais.

O programa Surfer permite a construção de malhas diversas através de diferentes métodos, sendo que os seus parâmetros controlam os procedimentos de interpolação. Cada método tem suas vantagens, desvantagens e características próprias. A seguir, é apresentado uma breve descrição destes métodos, obtidos a partir de Golden Software (2002) e ajuda disponível no Surfer versão 7.0 .

**Distância inversa a uma potência (Inverse Distance to a power)** – é um interpolador de média ponderada, podendo ser exato ou suavizador. A sua utilização admite que os dados são ponderados durante a interpolação de tal modo que a influência de um ponto relativamente a outro diminui com a distância a partir do nó do grid. Caracteristicamente é um interpolador bastante rápido, mas apresenta a tendência de gerar alvos de padrão concêntrico ao redor dos pontos;

**Krigagem (Kriging)** – é um método geoestatístico que tem provado ser muito útil e popular em muitos campos de atividade, produzindo mapas visualmente atraentes a partir de pontos irregularmente espaçados. É um dos métodos mais flexíveis e o mais útil para “gridar”, isto é, colocar em uma malha regularmente espaçada, quase todo qualquer tipo de dado. Para a maioria dos dados, Kriging aliado ao variograma linear é muito eficaz, gerando a melhor interpretação;

**Curvatura mínima (Minimum Curvature)** – gera superfícies suavizadas e é muito rápido para a maioria dos conjuntos de dados;

**Regressão polinomial (Polynomial Regression)** – processa os dados de tal modo que grandes direções ou padrões são mostrados, sendo mais utilizado para análise superficial. É um processo muito rápido para qualquer quantidade de dados, ocasionando a perda de detalhes locais nos dados;

**Funções bases radiais (Radial Basis Functions)** – é muito flexível e semelhante a Krigagem, apresentando as melhores interpretações para a maioria dos dados;

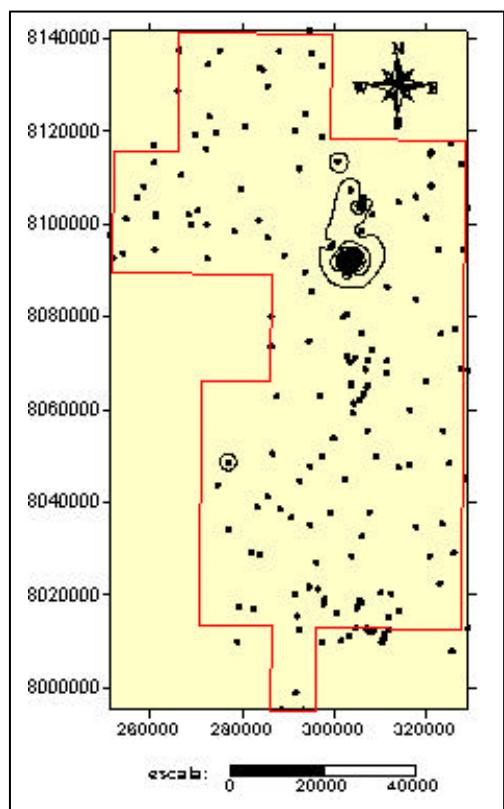
**Método Shepard (Shepard's Method)** – é similar ao *Inverse Distance to a power* mas não tende a gerar alvos, especialmente quando é utilizado um fator de suavização.

**Triangulação com interpolação linear (Triangulation with Linear Interpolation)** – é rápido com conjuntos de dados relativamente grandes. Este método quando utilizado gera faces triangulares distintas entre pontos de dados – utilizando a triangulação de Delaunay. A principal vantagem deste método reside no fato que ele preserva as linhas ao longo de uma descontinuidade, por ex. uma falha, sendo que os pontos de ambos os lados da descontinuidade serão utilizados para a triangulação, o que permitirá realçá-la;

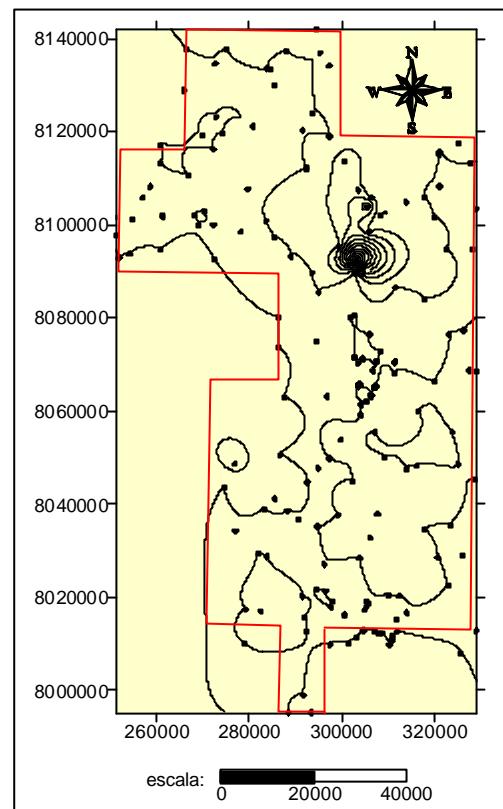
**Vizinho natural (Natural Neighbor)** – este algoritmo de interpolação usa uma média ponderada das observações de vizinhança, onde os pesos são proporcionais à área “emprestada”. Considerando um conjunto de polígonos de Thiessen, se algum ponto for adicionado ao conjunto de dados, este polígonos serão modificados podendo alguns destes polígonos encolherem ou aumentarem de tamanho. A área associada com o polígono de Thiessen que foi obtida de um polígono existente é chamada área “emprestada”;

**Vizinho mais próximo (Nearest Neighbor)** – este método admite o valor do ponto mais próximo para cada nó do “grid”. É útil quando os dados estão espaçados, alternativamente quando há ausência de dados, este interpolador preenche os vazios ou buracos existentes nos dados.

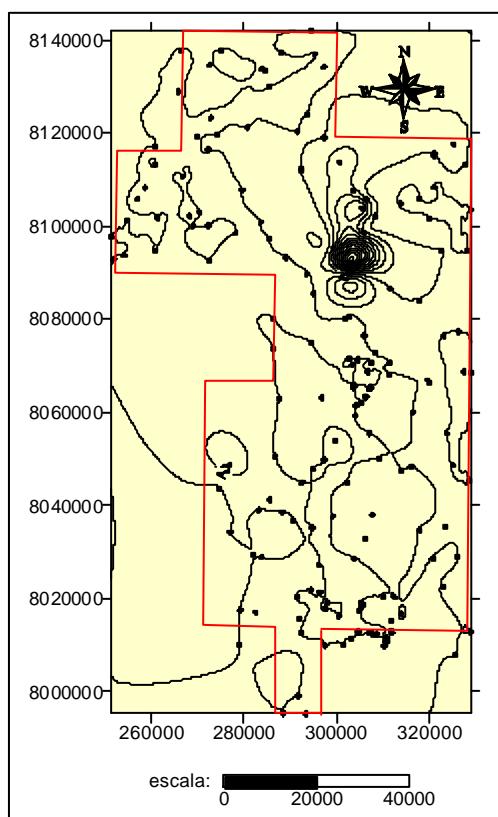
A Fig. 53 apresenta alguns dos resultados obtidos utilizando os diferentes interpoladores acima descritos em um conjunto de dados denominado Au\_aa, Concentrado de bateia.



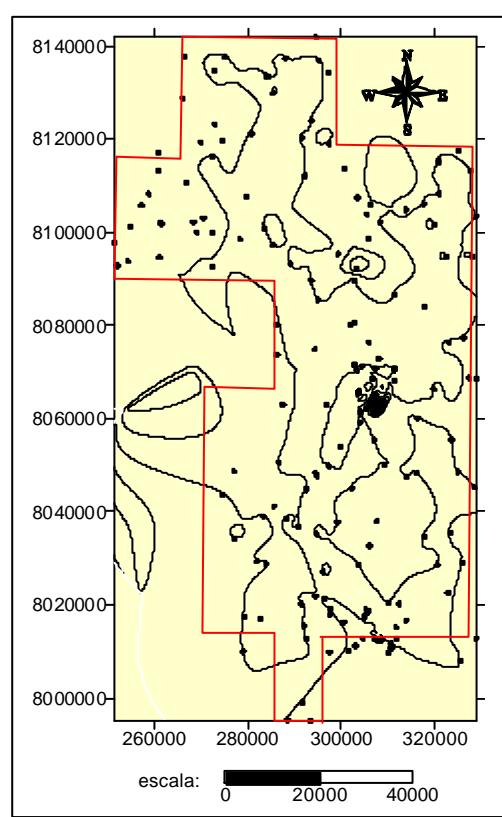
A



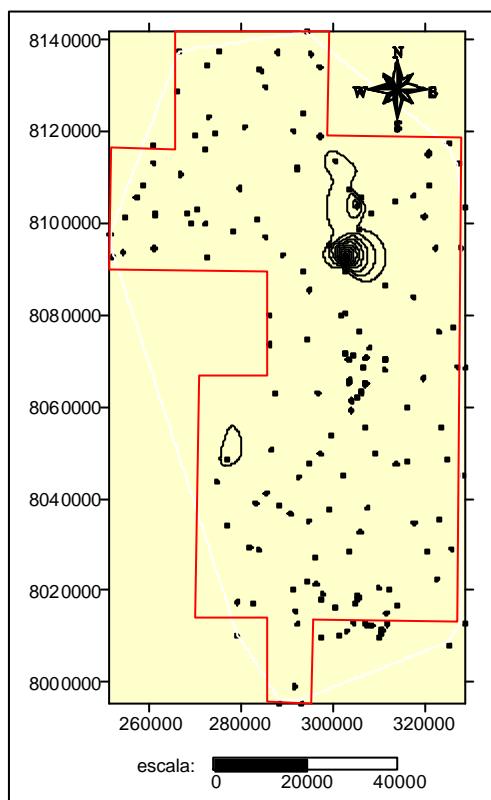
B



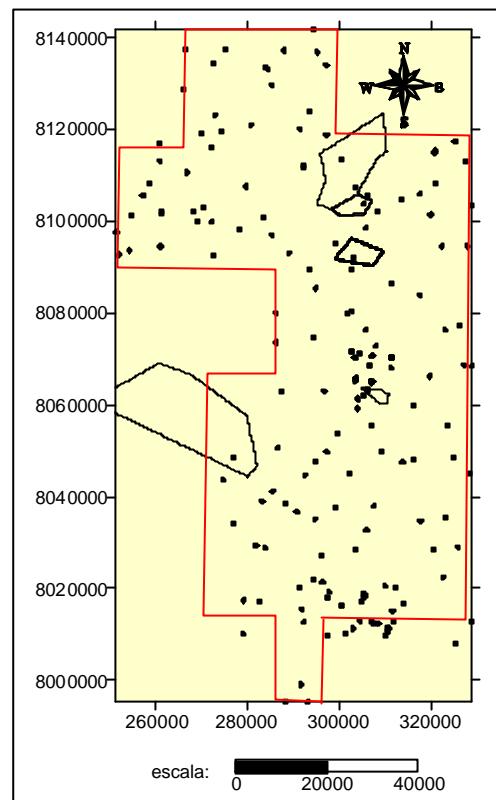
C



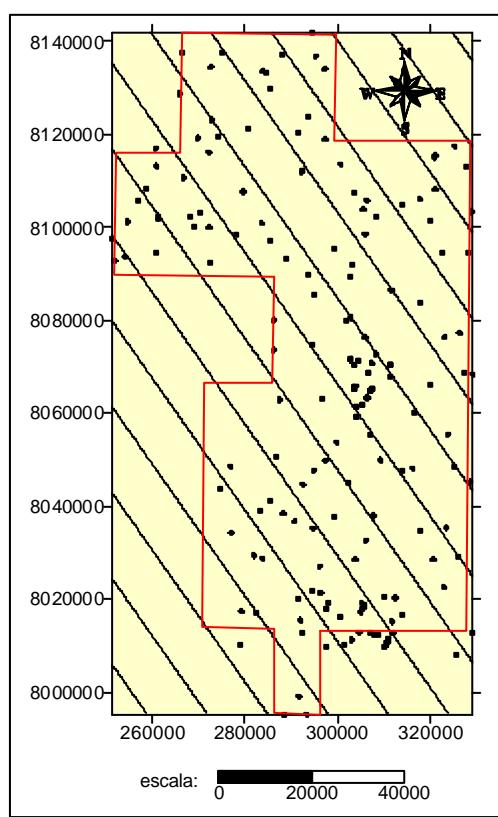
D



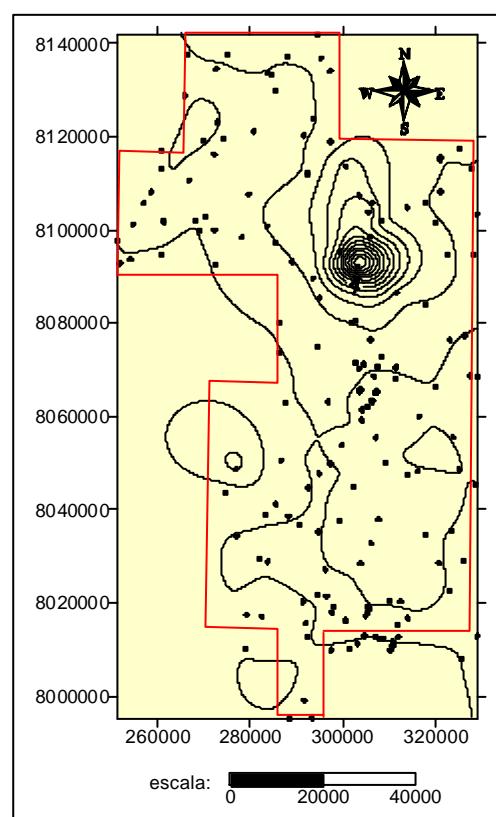
E



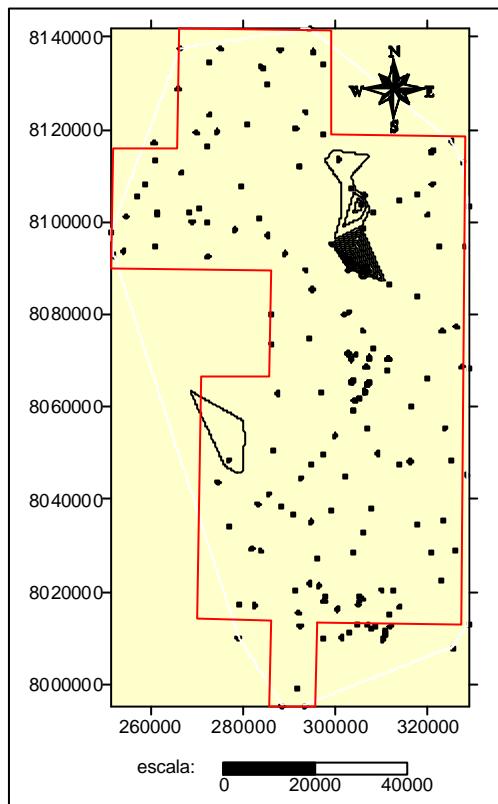
F



G



H



## I

Figura 53 – Diferentes resultados utilizando os interpoladores disponíveis no Surfer 7.0 para o conjunto de dados Au\_aa Concentrado de bateia: A) Distância inversa a uma potência, B) Krigagem, C) Curvatura mínima , D) Método de Shepard, E) Vizinho natural, F) Vizinho mais próximo, G) Regressão polinomial, H) Funções bases radiais e I) Triangulação com interpolação linear. A linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Unidades da escala expressa em metros.

A partir das informações anteriores e de outras obtidas de outras fontes, como por exemplo, Landim (1998), ficou estabelecido que o método **Kriging** é o interpolador mais adequado para o tipo de dado aqui considerado e consequentemente foi aplicado para todas as 32 variáveis. Além disso, a utilização dos outros métodos não forneceu resultados satisfatórios, impondo a àquele método uma certa exclusividade.

A simples observação dos diagramas de freqüência para as 32 variáveis, (Figs. 24 a 52) já elimina 5 destas, uma vez que apresentam a esmagadora maioria ou a totalidade dos valores iguais a zero. Outras 15 também foram eliminadas porque o sistema de equações utilizadas pelo método *Kriging* não permite solução.

Três diferentes causas estão relacionadas a este tipo de resposta: o primeiro refere-se a diferenças extremas entre valores de dados vizinhos, a segunda são particularidades geométricas nos dados, isto é, os dados situam-se ao longo de uma linha reta e o processo de *Kriging* não é capaz de gerar um grid regular e a terceira e última razão são valores extremos nos parâmetros de configuração do processo *Kriging*.

Cabe aqui ressaltar que os valores padrões (“default”) estipulados pelo programa foram alterados para que se adequassem as propostas esperadas para os resultados estabelecidos.

A tabela 5 apresenta um resumo das condições das 32 variáveis submetidas ao processo de *Kriging*:

**TABELA 5**  
**SITUAÇÃO DAS 32 VARIÁVEIS SUBMETIDAS AO PROCESSO DE “KRIGAGEM”**

Classes	Variáveis	Submetido ao processo <i>Kriging</i>		
		SIM	NÃO	
			Maioria ou totalidade dos valores iguais a zero	Sistemas de equações não permite solução
Concentrado de bateia	Au_aa	•		
	Au_espec		•	
	Cu_aa	•		
	Cu_espec	•		
	Pb_aa	•		
	Pb_espec	•		
	Zn_aa	•		
	Zn_espec	•		
Sedimento de corrente	Au_aa		•	
	Au_espec		•	
	Cu_aa	•		
	Cu_espec			•
	Pb_aa			•
	Pb_espec			•
	Zn_aa			•
	Zn_espec			•
Rocha	Au_aa			•
	Au_espec		•	
	Cu_aa			•
	Cu_espec			•
	Pb_aa	•		
	Pb_espec			•
	Zn_aa			•
	Zn_espec			•
Solo	Au_aa		•	
	Au_espec	•		
	Cu_aa			•
	Cu_espec			•
	Pb_aa	•		
	Pb_espec			•
	Zn_aa	•		
	Zn_espec			•

Os dados estatísticos da tabela 6 referem-se as 12 variáveis que apresentaram respostas positivas ao “Kriging”. As tabelas presentes no Anexo A (inseridas no CD-ROM incluso neste volume) guardam as características originais destes dados, incluindo as coordenadas dos pontos amostrados e os resultados das análises químicas.

**TABELA 6**  
**ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DAS 12 AMOSTRAS QUE DERAM RESPOSTAS**  
**POSITIVAS À “KRIGAGEM”**

<b>Classe: Concentrado de bateia</b>									
	Nº de dados	Duplicados excluídos	Utilizados	Min	Max	Média	Desvio-padrão	Min (após krigagem)	Max (após krigagem)
<b>Au_aa</b>	194	23	171	0	24	0,28	1,95	-0,62	23,26
<b>Cu_aa</b>	216	27	189	0	150	28,79	28,52	-3,87	144,36
<b>Cu_espec</b>	217	27	190	0	100	8,71	20,50	-13,06	99,26
<b>Pb_aa</b>	217	27	190	0	1200	64,35	110,26	-42,33	1082,28
<b>Pb_espec</b>	215	26	189	0	3000	46,40	240,41	-244,94	2854,86
<b>Zn_aa</b>	217	27	190	0	1900	178,65	228,91	-1,83	1733,27
<b>Zn_espec</b>	210	27	183	0	700	14,20	75,49	-56,34	677,28

<b>Classe: Sedimento de corrente</b>									
	Nº de dados	Duplicados excluídos	Utilizados	Min	Max	Média	Desvio-padrão	Min (após krigagem)	Max (após krigagem)
<b>Cu_aa</b>	1271	167	1104	0	80	26,67	11,95	-3,06	73,28

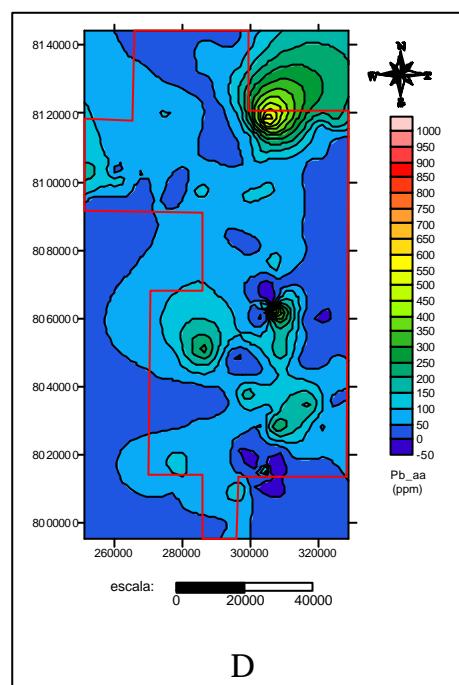
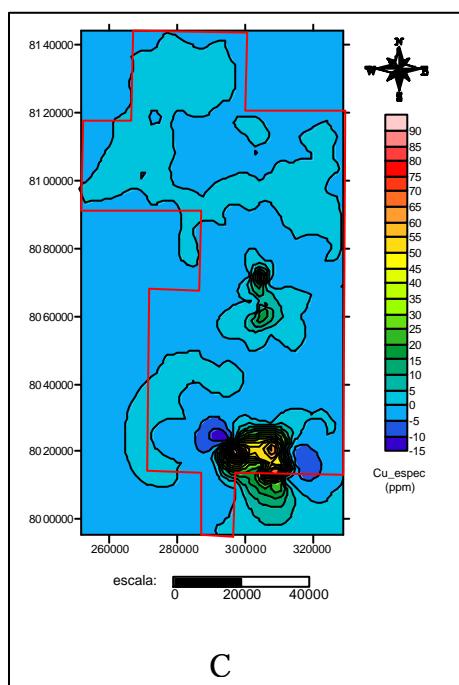
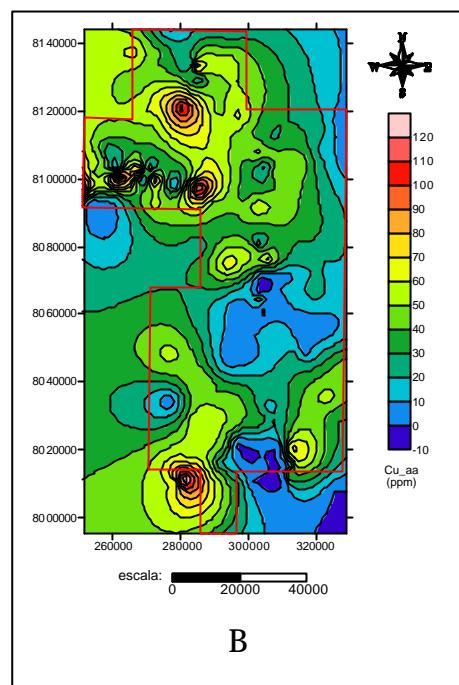
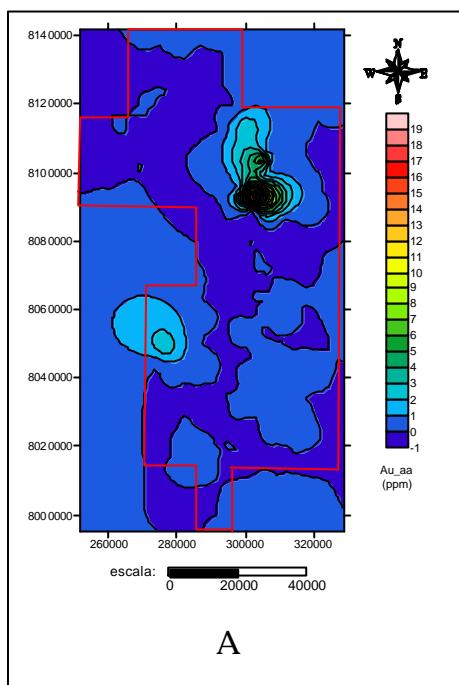
  

<b>Classe: Rocha</b>									
	Nº de dados	Duplicados excluídos	Utilizados	Min	Max	Média	Desvio-padrão	Min (após krigagem)	Max (após krigagem)
<b>Pb_aa</b>	234	78	156	0	40	2,43	6,11	-3,26	39,91

<b>Classe: Solo</b>									
	Nº de dados	Duplicados excluídos	Utilizados	Min	Max	Média	Desvio-padrão	Min (após krigagem)	Max (após krigagem)
<b>Au_espec</b>	423	236	187	0	10	0,90	2,87	-0,67	10,38
<b>Pb_aa</b>	423	236	187	0	800	40,76	73,16	-1,30	392,53
<b>Zn_aa</b>	423	236	187	0	1000	213,62	296,87	-50,62	979,39

Mapas de contorno, isto é, representações bidimensionais de dados, onde as duas primeiras dimensões são coordenadas X,Y e a terceira, representando linhas de igual valor (isolinhas) consideradas para Au, Cu, Pb e Zn nas classes aa (absorção atômica) e espec (espectrometria) foram construídos para ajudar na interpretação visual dos resultados. Para estes mapas foi admitido uma escala de cores, variando do azul, passando pelo verde e amarelo, até chegar ao vermelho. Linhas de contorno foram construídas utilizando os valores máximos e mínimos da variável Z (Au, Cu, Pb e Zn) obtidos na krigagem, sendo estes apresentados nas Figs. 54 a 57.



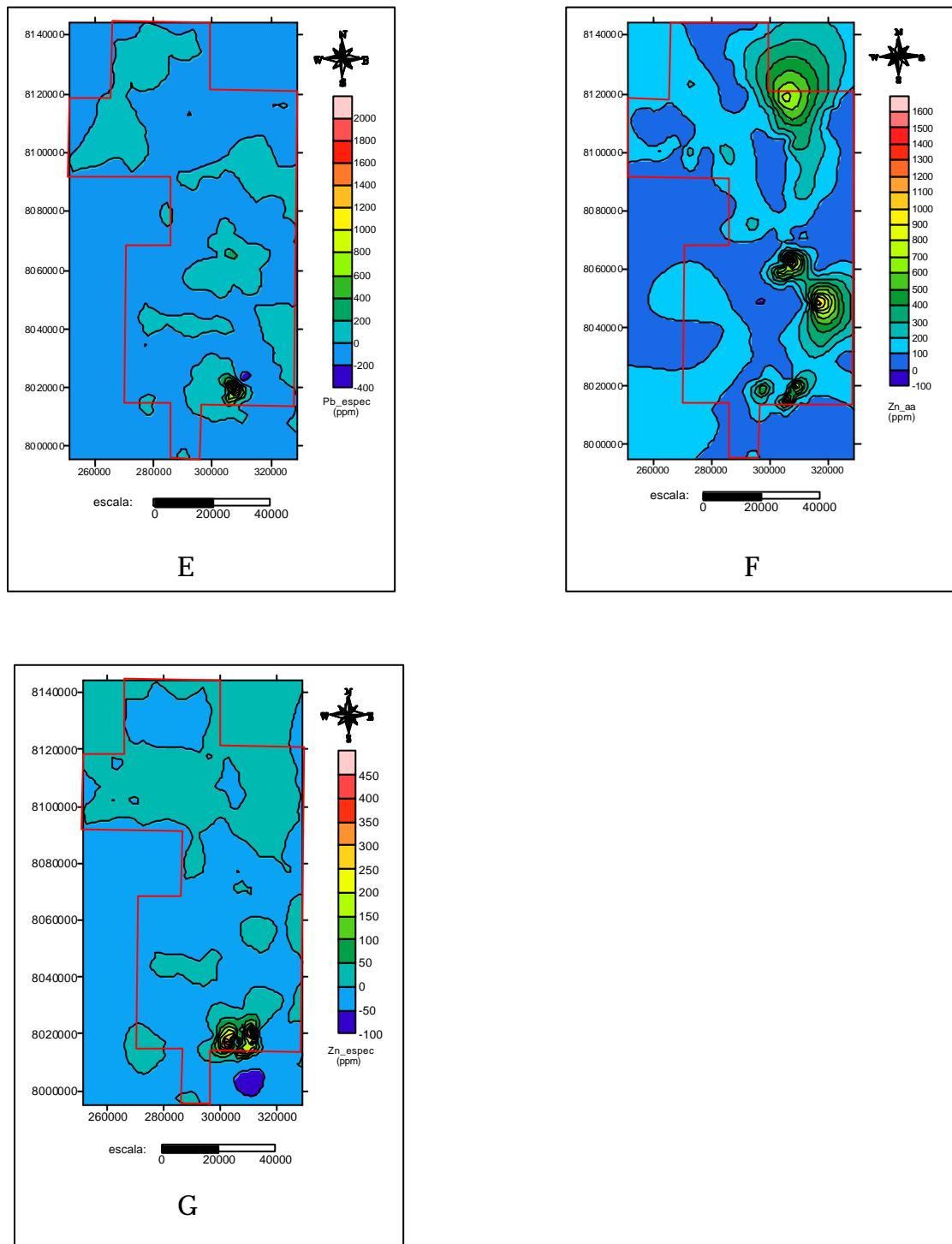


Figura 54 – Mapas de contorno das variáveis: (A) Au\_aa, (B) Cu\_aa, (C) Cu\_espec, (D) Pb\_aa, (E) Pb\_espec, (F) Zn\_aa e (G) Zn\_espec para a classe Concentrado de bateia. Os eixos X e Y dos mapas expressam coordenadas UTM, valores expressos em ppm, a linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Unidades da escala expressa em metros.

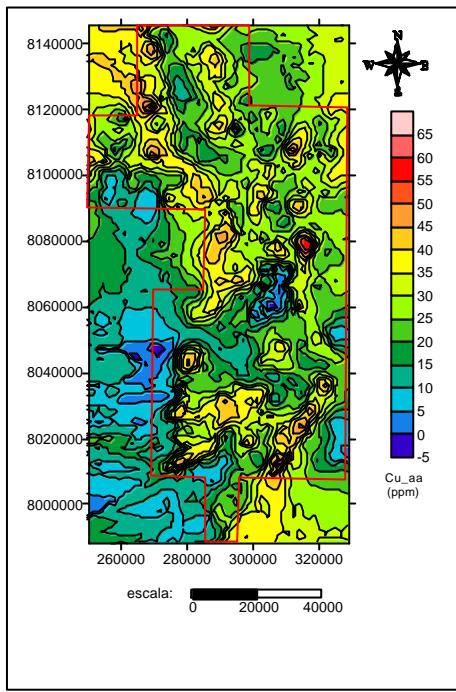


Figura 55 – Mapa de contorno da variável Cu\_aa, para a classe Sedimento de corrente. Os eixos X e Y dos mapas expressam coordenadas UTM, valores expressos em ppm, a linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Unidades da escala expressa em metros.

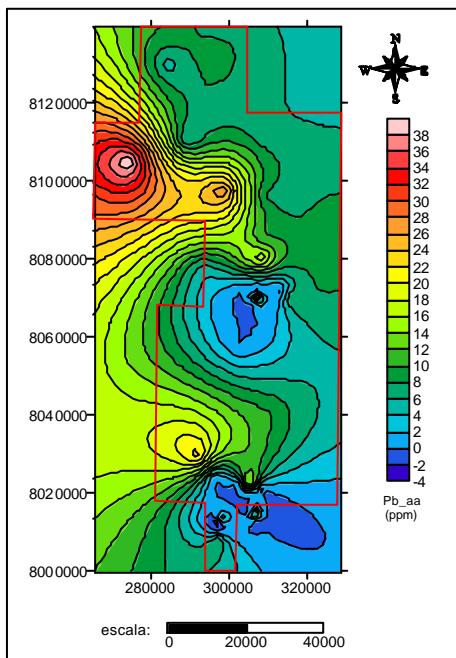


Figura 56 – Mapa de contorno da variável Pb\_aa, para a classe Rocha. Os eixos X e Y dos mapas expressam coordenadas UTM, valores expressos em ppm, a linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Unidades da escala expressa em metros.

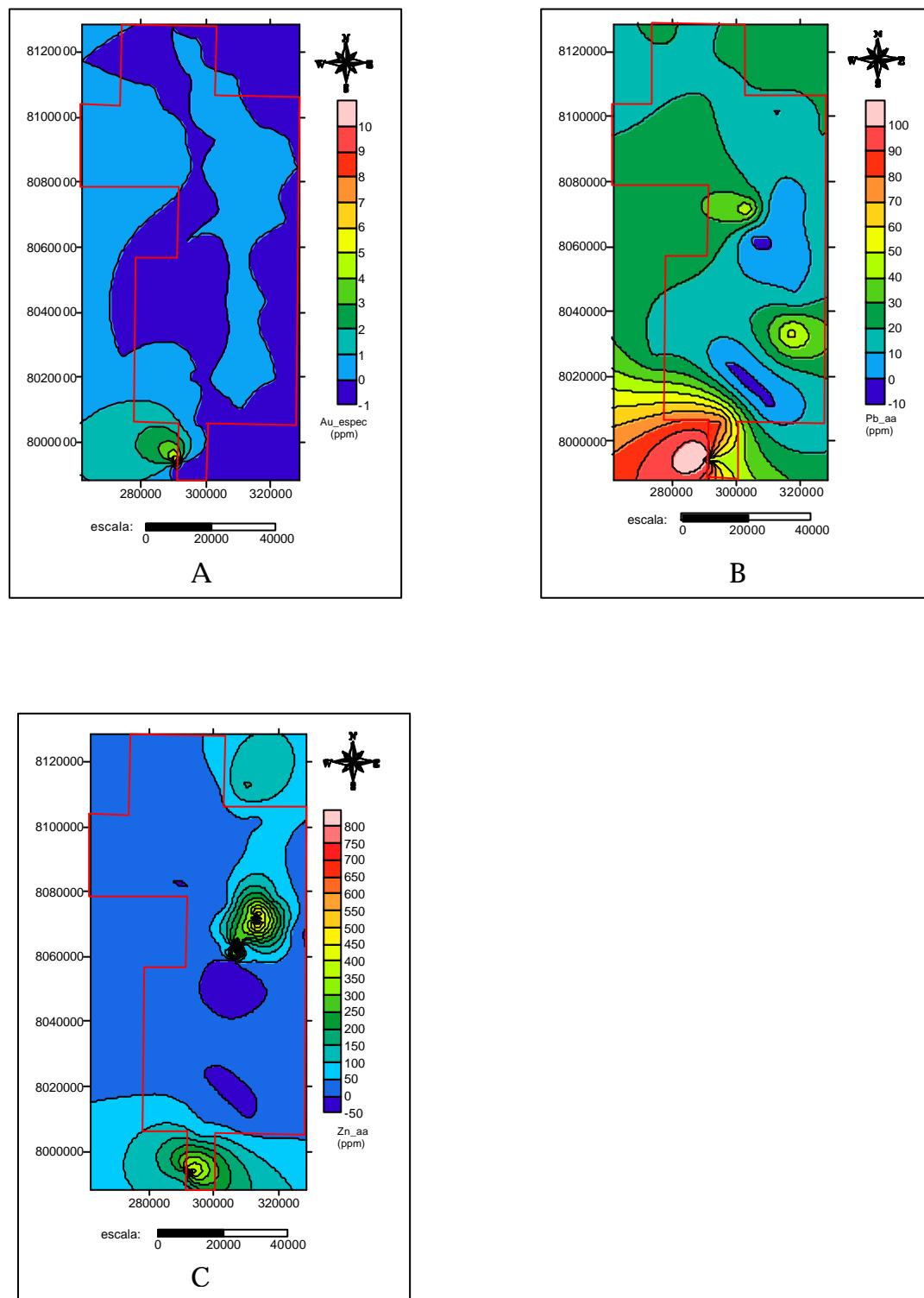
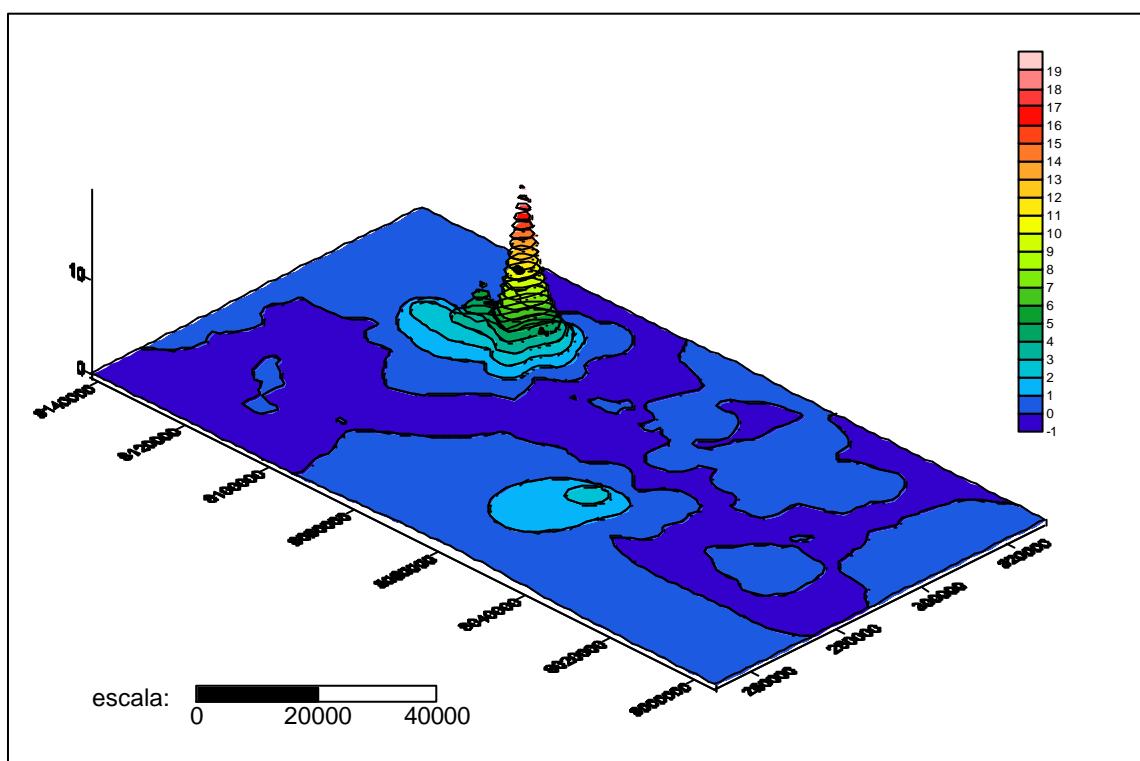
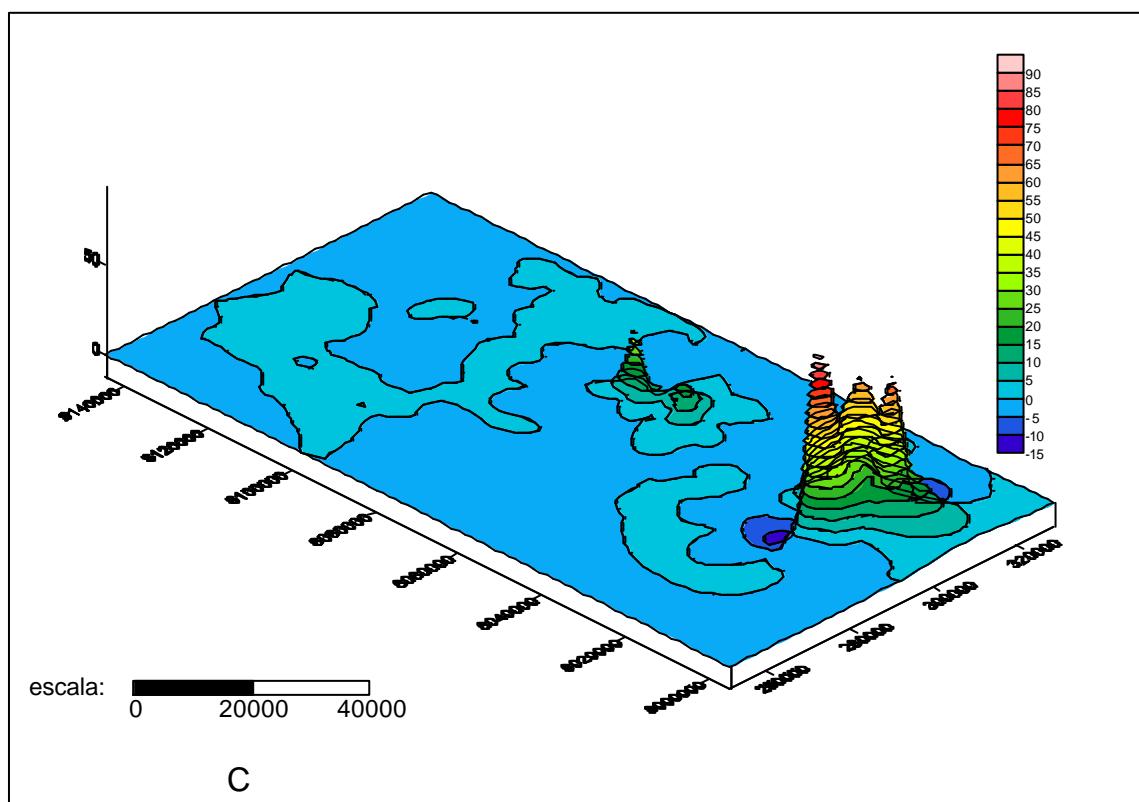
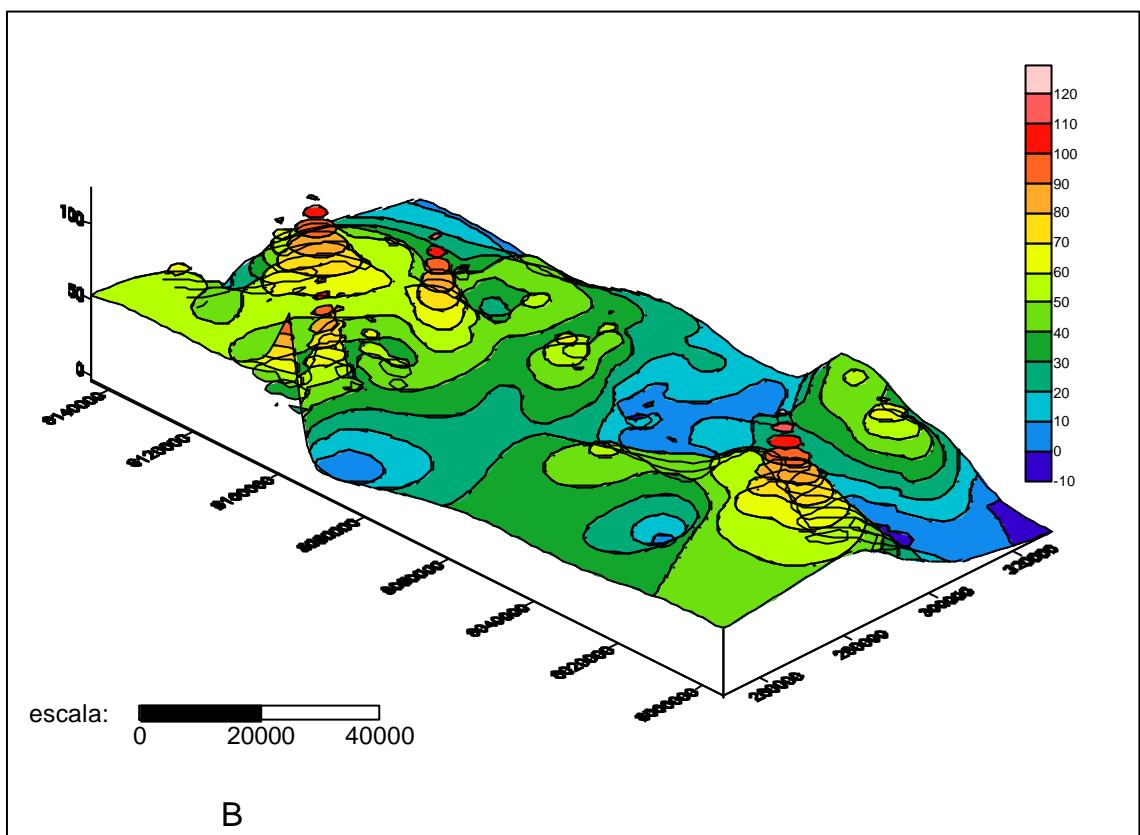
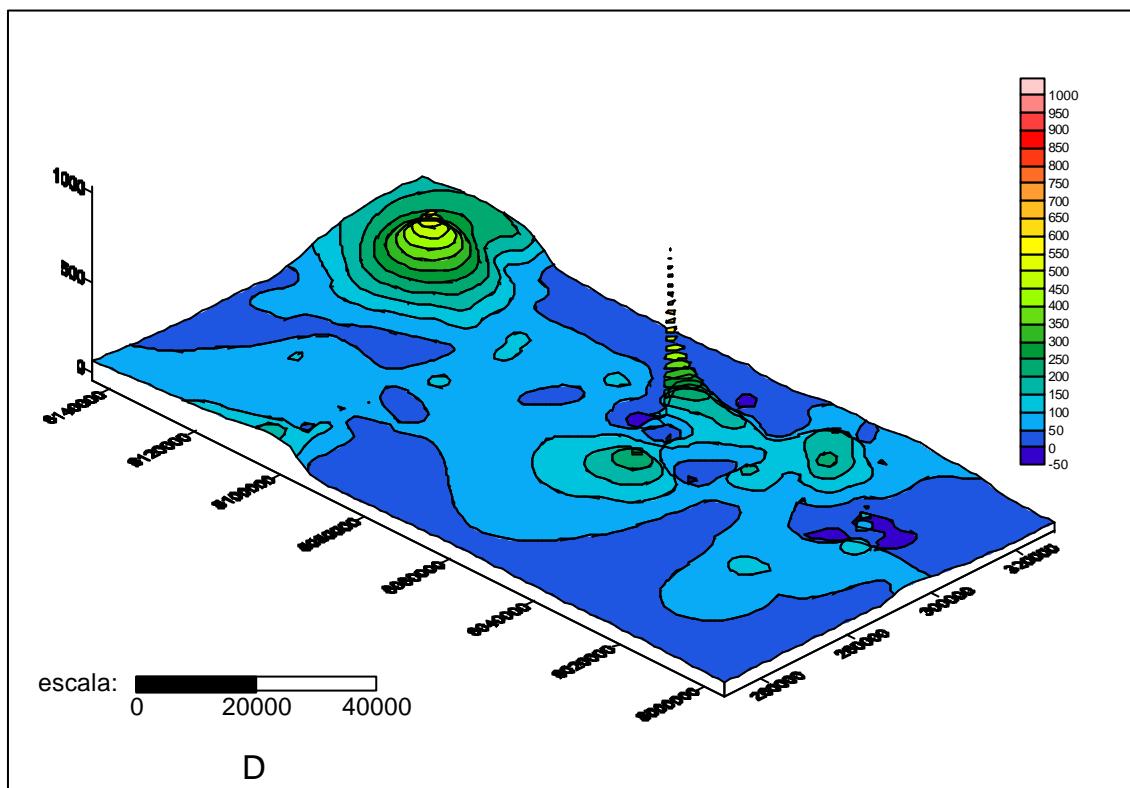


Figura 57 – Mapas de contorno das variáveis: (A) Au\_espec, (B) Pb\_aa, (C) Zn\_aa, para a classe Solo. Os eixos X e Y dos mapas expressam coordenadas UTM, valores expressos em ppm, a linha vermelha indica a área coberta pelo levantamento geoquímico. Unidades da escala expressa em metros.

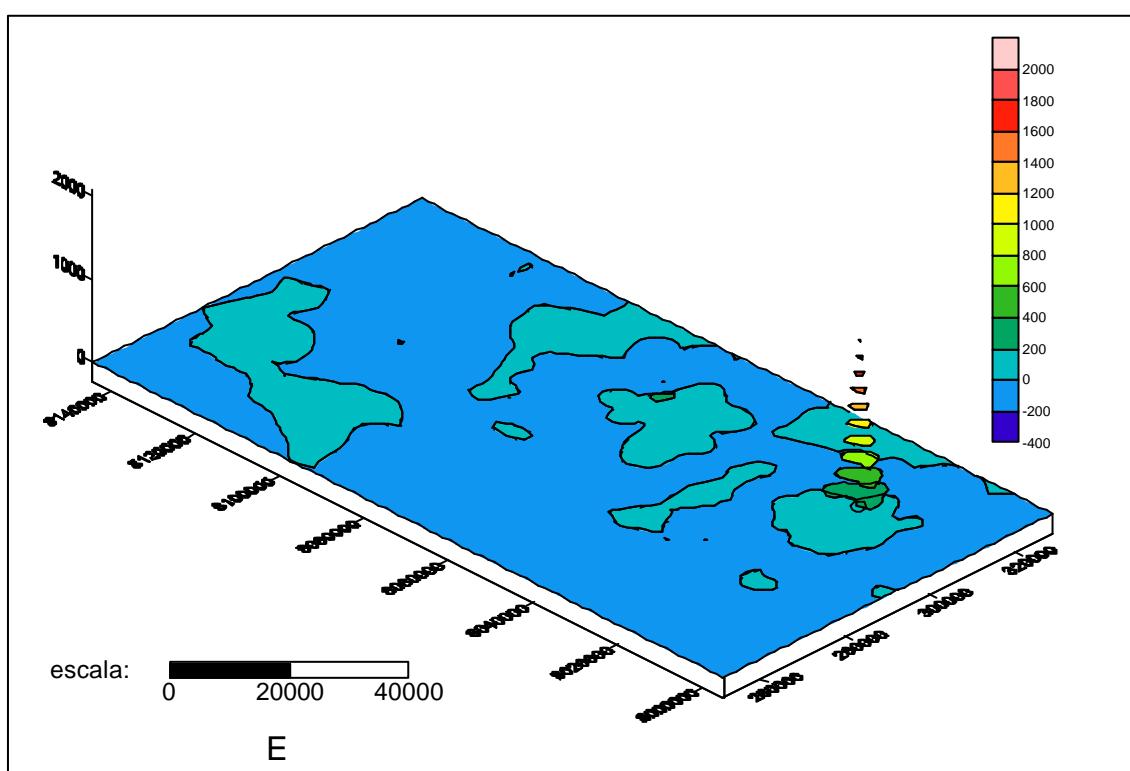
Alternativamente, também foram construídos mapas de contorno combinados com mapas “wireframe”. Neste último tipo de mapa, a altura está proporcionalmente relacionada ao valor da variável Z (Au, Cu, Pb ou Zn). Isto permite que áreas interpretadas como anomalias, sejam realçadas e exibidas como picos. As Figs. 58 a 61 exibem estes gráficos.







D



E

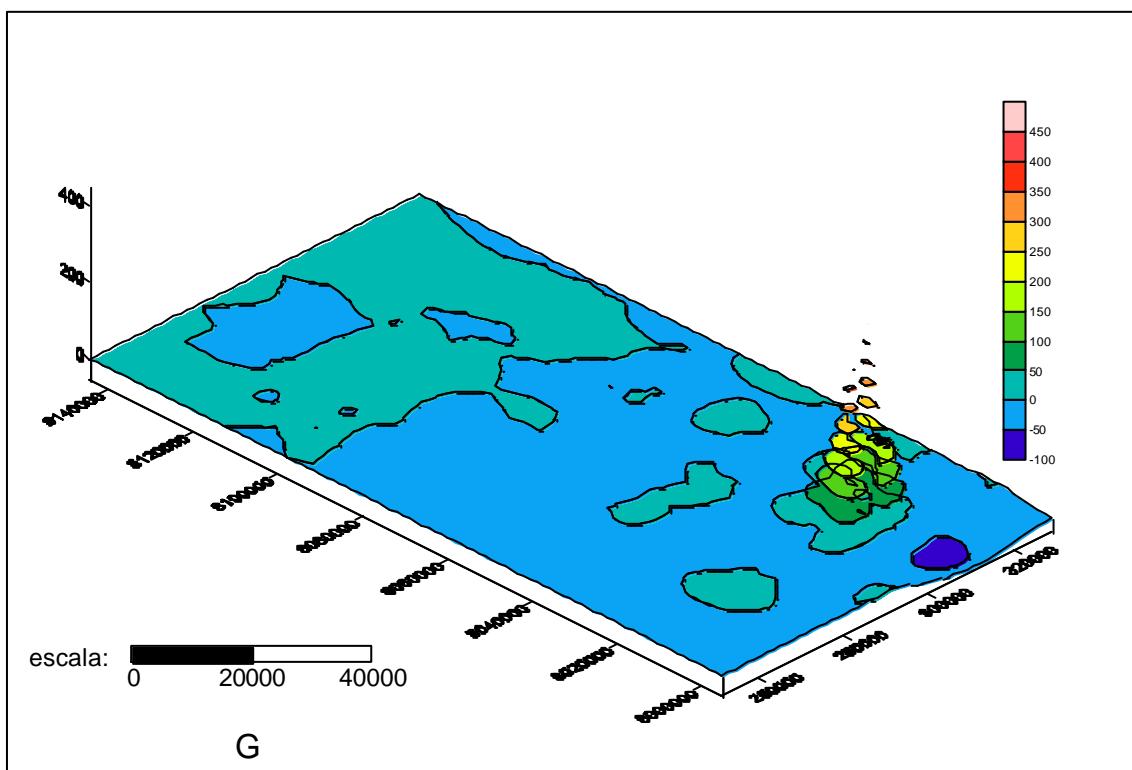
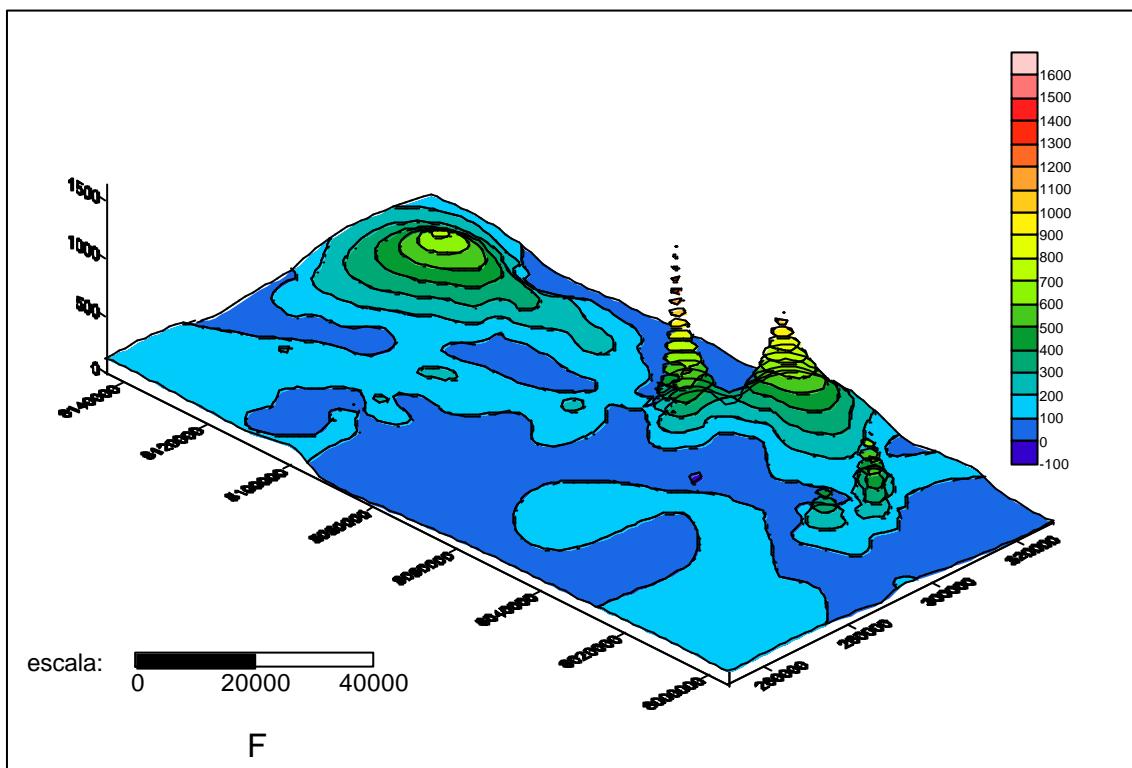


Figura 58 – Mapas de contorno combinados com mapas “wireframe” das variáveis: (A) Au\_aa, (B) Cu\_aa, (C) Cu\_espec, (D) Pb\_aa, (E) Pb\_espec, (F) Zn\_aa e (G) Zn\_espec para a classe Concentrado de bateia. Os eixos X e Y dos mapas expressam coordenadas UTM, valores expressos em ppm, escala em metros.

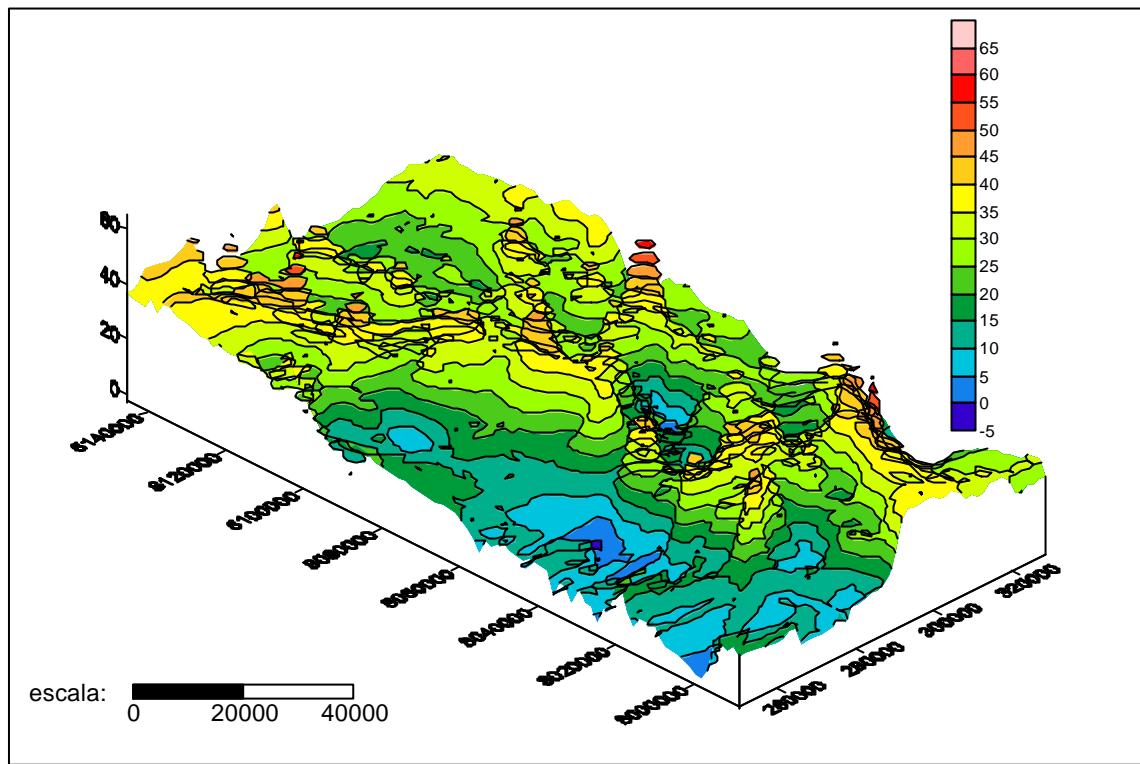


Figura 59 – Mapa de contorno combinado com mapa “wireframe” da variável Cu\_aa, para a classe Sedimento de corrente. Os eixos X e Y dos mapas expressam coordenadas UTM, valores expressos em ppm, escala em metros

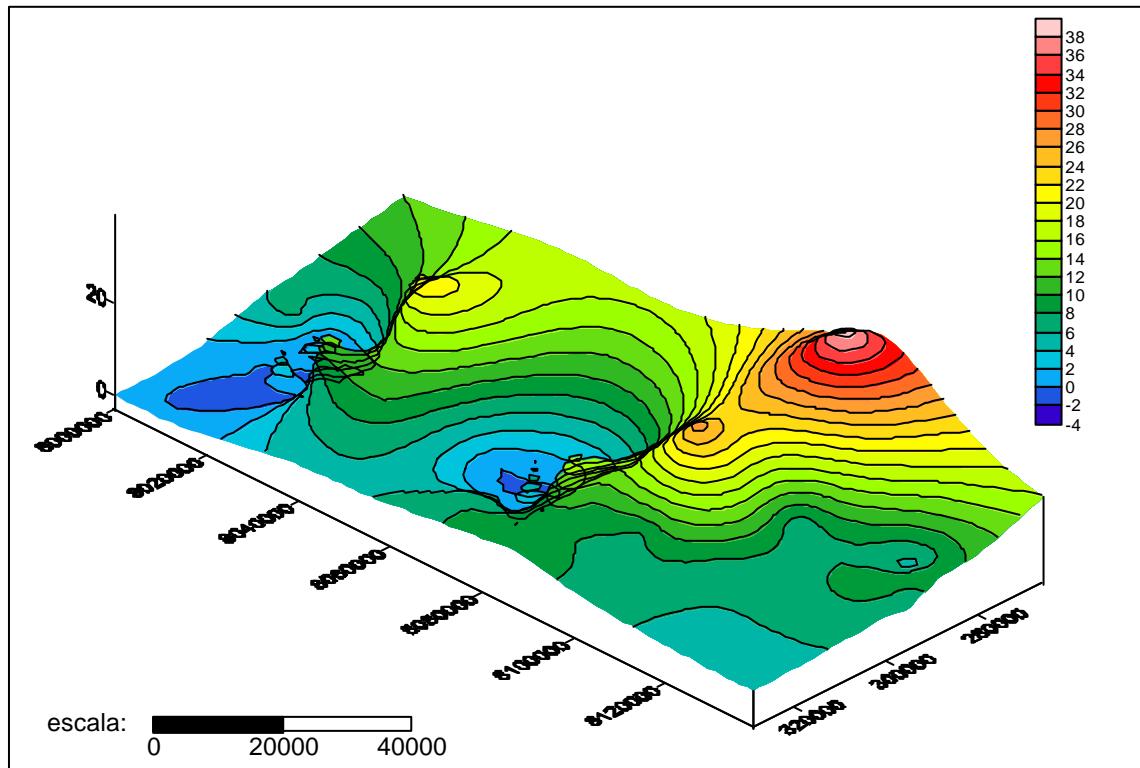
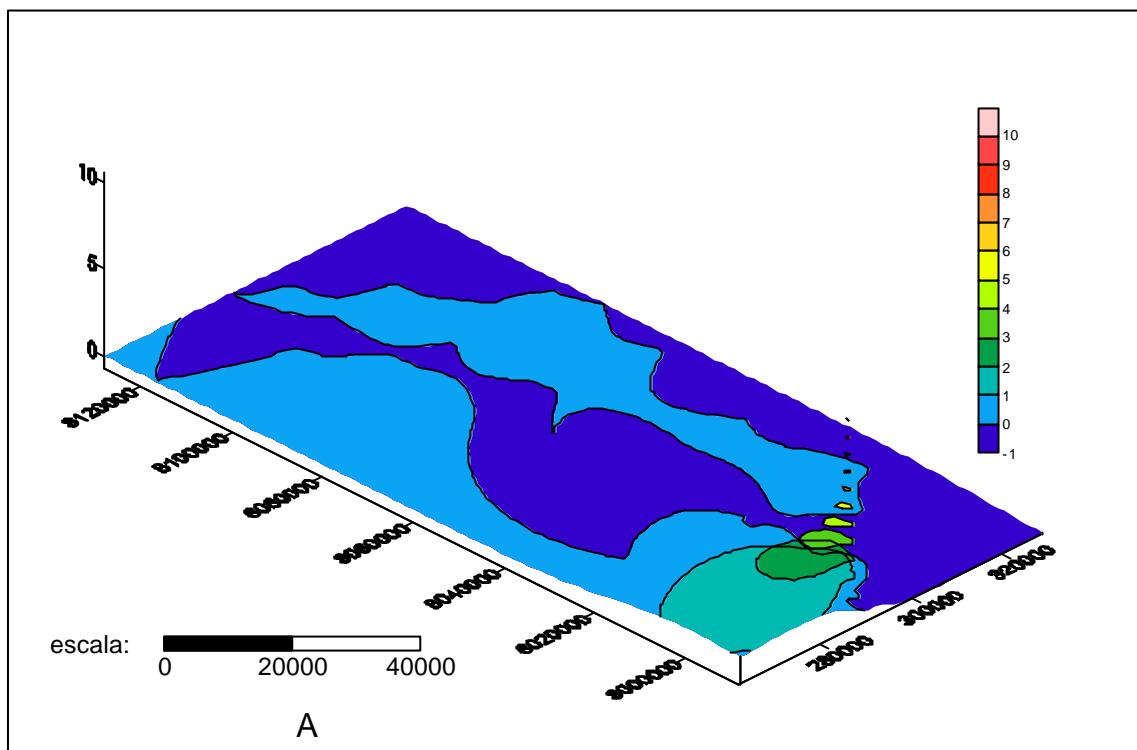
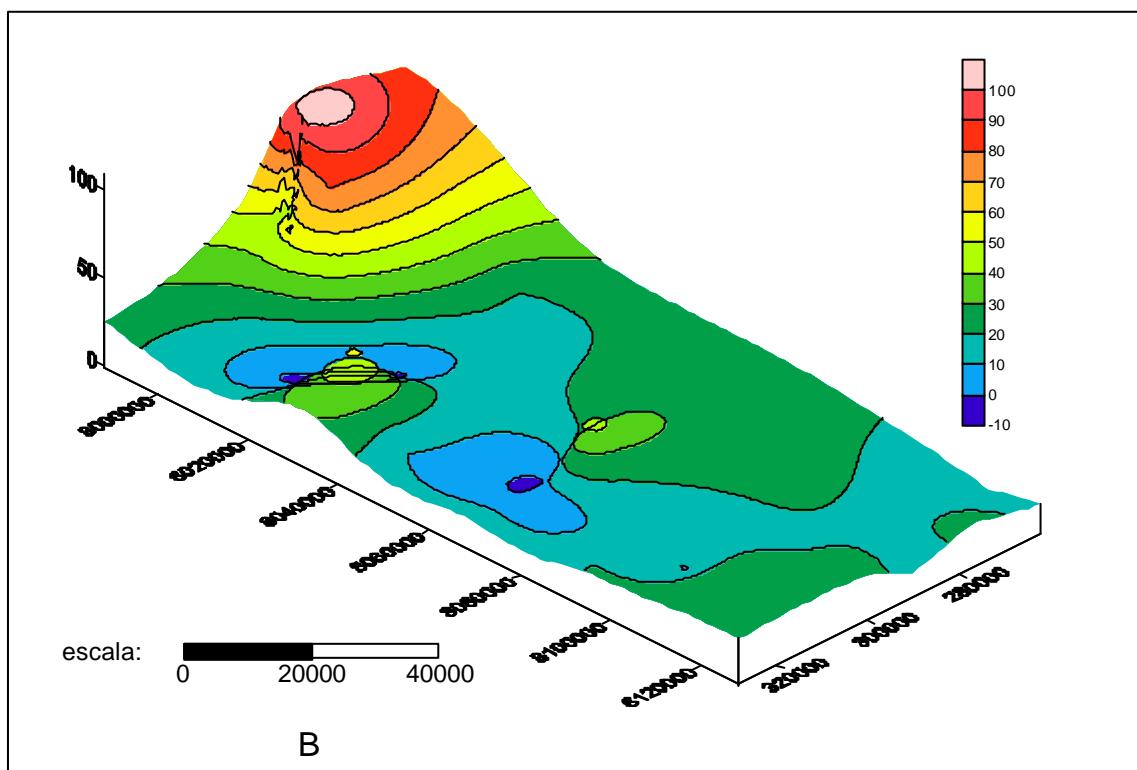


Figura 60 – Mapa de contorno combinado com mapa “wireframe” da variável Pb\_aa, para a classe Rocha. Os eixos X e Y dos mapas expressam coordenadas UTM, valores expressos em ppm, escala em metros.



A



B

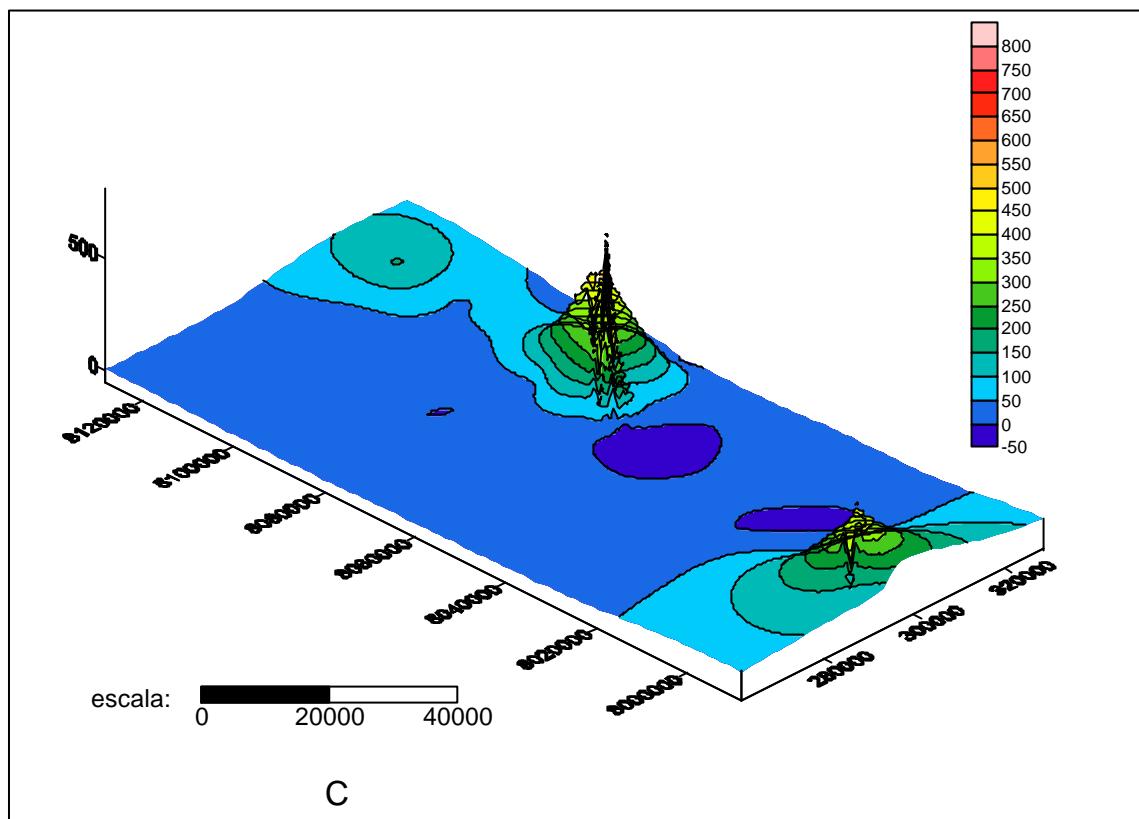


Figura 61 – Mapas de contorno combinados com mapas “wireframe” das variáveis: (A) Au\_espec, (B) Pb\_aa, (C) Zn\_aa, para a classe Solo. Os eixos X e Y dos mapas expressam coordenadas UTM, valores expressos em ppm, escala em metros.

As áreas mais internas dos mapas de contorno, representados anteriormente, permitem destacar os pontos anômalos mais altos para cada variável. A metodologia aplicada para a obtenção das coordenadas das anomalias consistiu em exportar os mapas de contorno para o formato nativo do Arcview 3.2 a (\*.shp), onde neste programa foi possível então obter as coordenadas dos pontos. Deste modo, estão representadas na tabela 7, trinta e oito anomalias para as classes assim distribuídas: Concentrado de bateia (22), Sedimento de corrente (7), Rocha (1) e Solo (8).

**TABELA 7**  
**ANOMALIAS IDENTIFICADAS A PARTIR DOS MAPAS DE CONTORNO**

<b>Classe</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Ponto</b>	<b>UTM_N</b>	<b>UTM_E</b>
Concentrado de bateia	Au_aa	P1	8092743,18144	303633,33478
	Cu_aa	P2	8102127,67776	267969,61587
		P3	8097779,32769	251526,97517
		P4	8097253,88355	285617,69612
		P5	8120968,93952	280448,25591
		P6	8011238,30156	281552,6807
		P7	8100524,9857	262026,11747
	Cu_espec	P8	8020702,6489	307799,24195
		P9	8013419,27648	308071,33882
		P10	8019928,96367	297269,09057
	Pb_aa	P11	8118709,69055	305442,22806
		P12	8062945,27891	306221,93951
	Pb_espec	P13	8064827,69866	306793,93365
		P14	8019359,72798	307748,97142
	Zn_aa	P15	8014927,45998	306188,19661
		P16	8019443,2391	309262,11391
		P17	8118589,48225	305843,47076
		P18	8047935,1308	316887,60037
		P19	8062959,52969	306243,31594
	Zn_espec	P20	8013445,89341	307860,02721
		P21	8016305,20728	302491,4255
		P22	8020677,7509	310708,04786

TABELA 7

## ANOMALIAS IDENTIFICADAS A PARTIR DOS MAPAS DE CONTORNO (CONT.)

Sedimento de corrente	Cu_aa	P23	8023287,1175	315067,13886
		P24	8105980,84742	269893,06817
		P25	8107383,1262	312652,1918
		P26	8137475,11136	269505,07664
		P27	8078630,52756	316596,62797
		P28	8011810,93594	308157,9352
		P29	8119940,78783	269494,99705
Rocha	Pb_aa	P30	8104304,34768	273870,05689
Solo	Au_espec	P31	7993787,25352	291619,06235
	Pb_aa	P32	8032505,03673	317644,1305
		P33	7994493,0826	285909,89554
	Zn_aa	P34	8071697,67394	312797,18985
		P35	7993889,20715	293642,08031
		P36	8073164,48252	313975,71211
		P37	8070115,63667	313511,17449
		P38	8063151,53806	307230,58069

De modo a se obter uma visão espacial da distribuição destas anomalias, elas foram então lançadas sobre mapas-base constituídos por rede de drenagem (Fig. 62) e malha viária (Fig. 63), para representar respectivamente, dois conjuntos formados pelas classes: 1) Sedimento de corrente/Concentrado de bateia e 2) Rocha/Solo. A título de comparação, para confirmar a exatidão do tratamento estatístico realizado pelo “software” Surfer nas amostras de Sedimento de Corrente, Concentrado de Bateia, Rocha e Solo para os elementos Au, Cu, Pb e Zn, os resultados foram confrontados com ocorrências minerais dos mesmos elementos já conhecidas, cadastradas pelo Projeto São Francisco e limitadas pela área do levantamento geoquímico. A Fig. 64 ilustra a superposição das anomalias detectadas por este trabalho com as ocorrências minerais do Projeto São Francisco.

Alternativamente, esta superposição foi tratada isoladamente para Au, Cu, Pb e Zn, sendo exibidas respectivamente nas Figs. 65, 66, 67 e 68.

Uma particularidade das amostras de Cu, Pb e Zn, cadastradas pelo Projeto São Francisco, é que elas retratam não somente o próprio elemento como também as associações minerais, fato devido principalmente a afinidade química. Deste modo tem-se: a) Cu, Cu + Pb , Cu + Zn , b) Pb, Pb + Zn, Pb + Cu e c) Zn, Zn + Pb e Zn + Cu . Ouro é o único elemento que é retratado por si só. Os melhores resultados, isto é, onde há maior concordâncias entre os conjuntos analisados, estão representados pelos elementos chumbo e zinco, enquanto cobre e ouro merecem ressalvas.

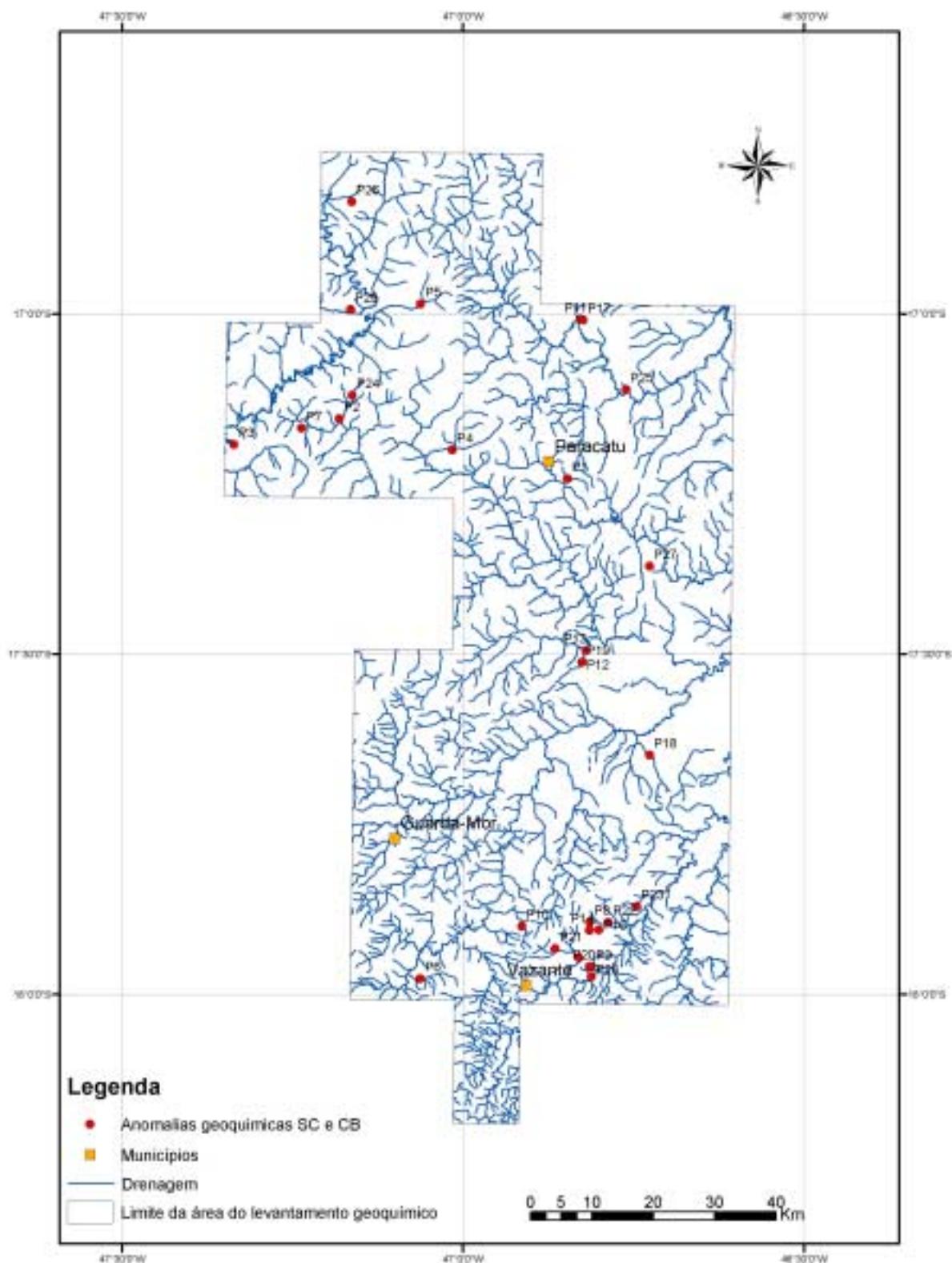


Figura 62 – Mapa indicando a localização das anomalias das classes Concentrado de bateia e Sedimento de corrente plotadas sobre rede de drenagem.

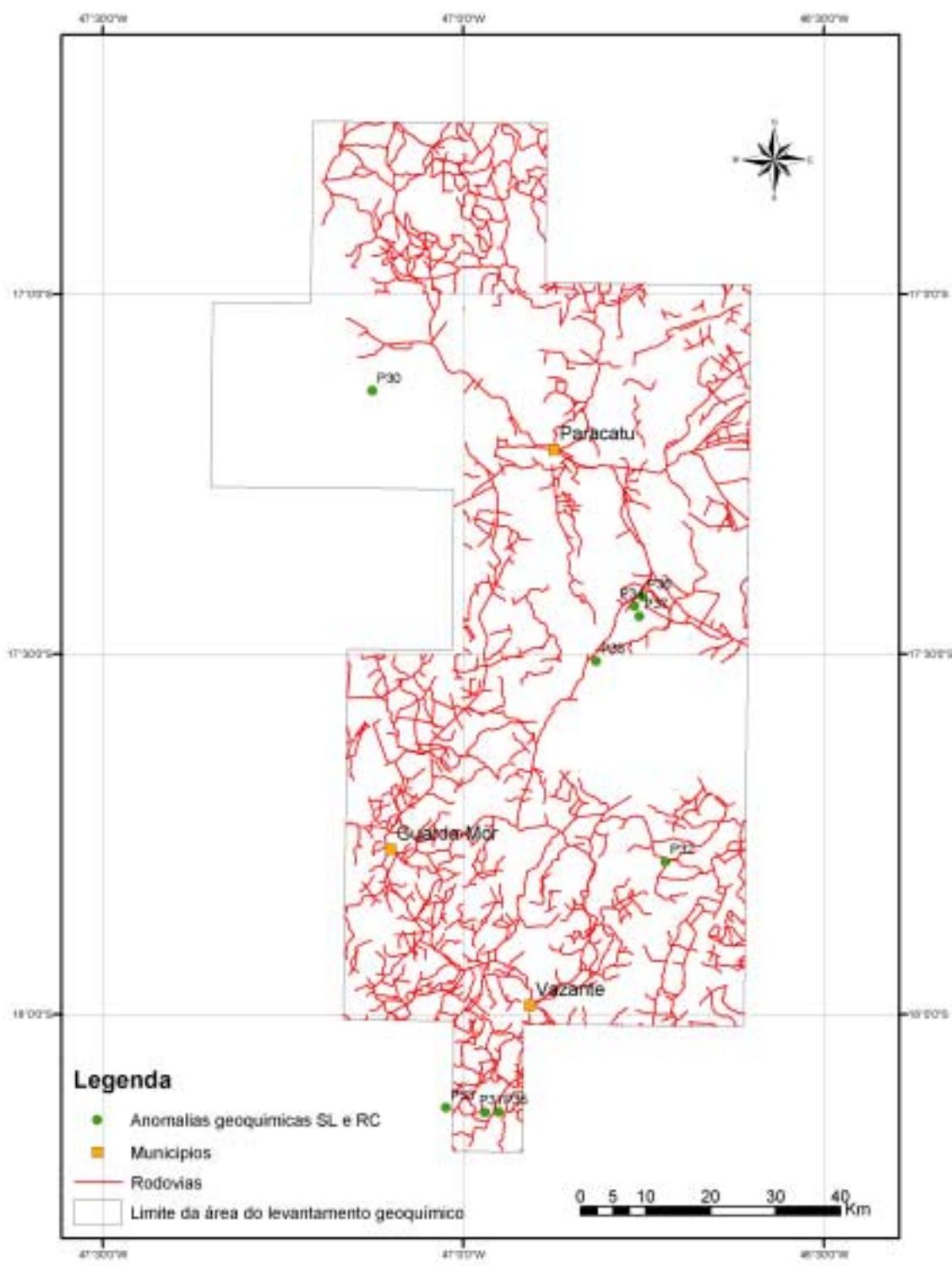


Figura 63 – Mapa indicando a localização das anomalias das classes Solo e Rocha plotadas sobre malha viária

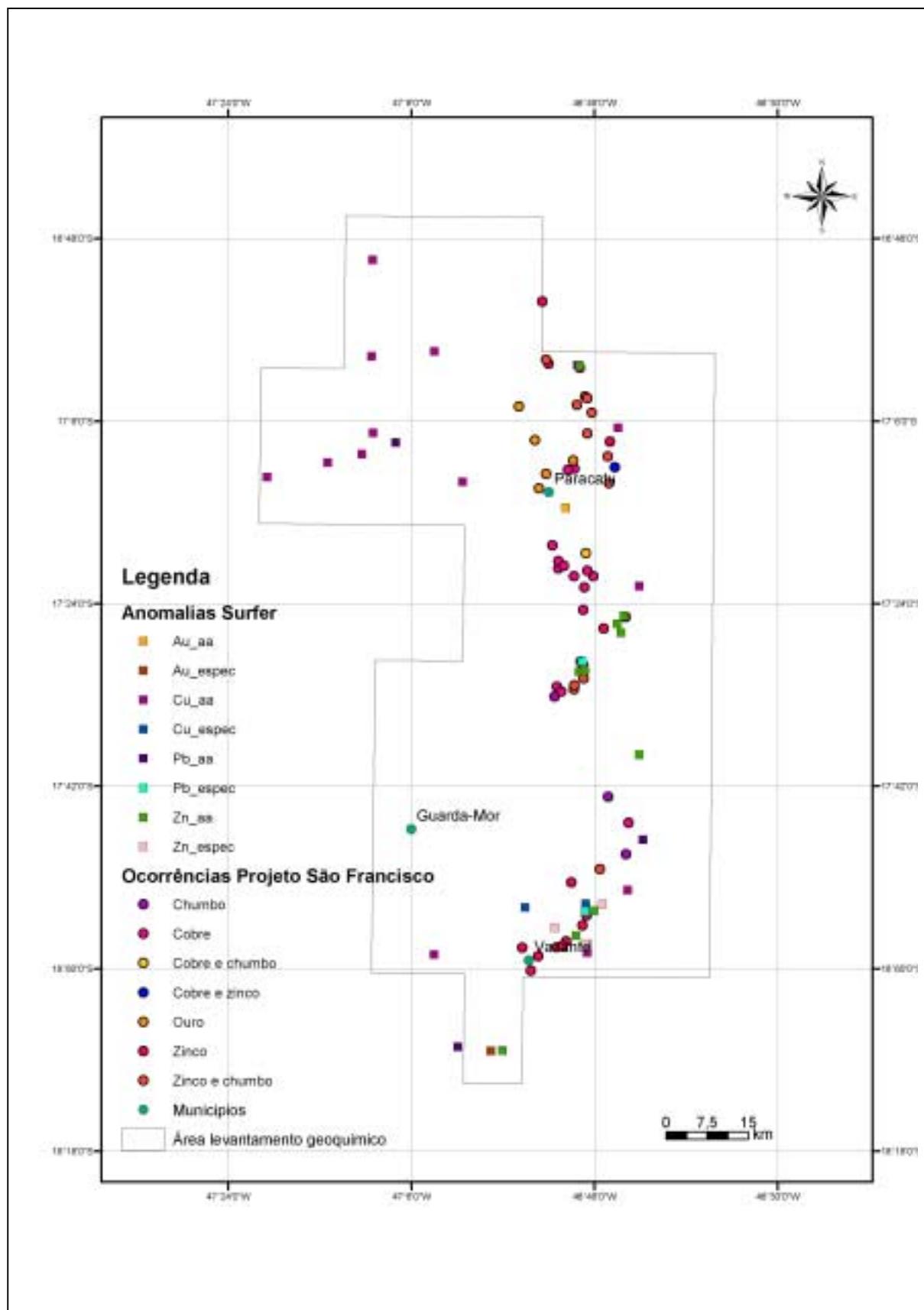


Figura 64 – Superposição das anomalias de Au, Cu, Pb e Zn detectadas neste trabalho com ocorrências minerais dos mesmos elementos cadastradas pelo Projeto São Francisco.

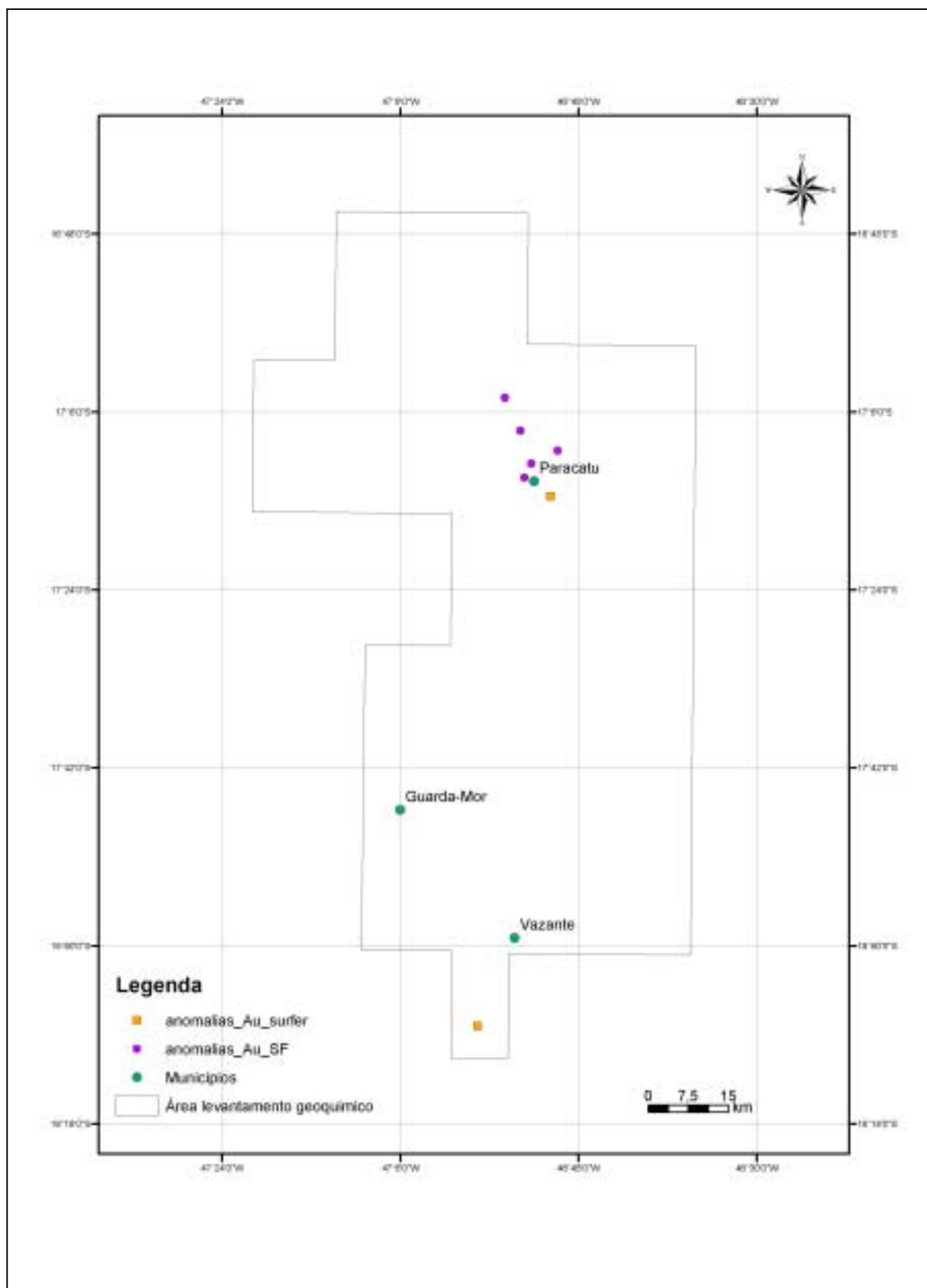


Figura 65 – Superposição das anomalias de Au detectadas neste trabalho com ocorrências minerais do mesmo elemento cadastradas pelo Projeto São Francisco

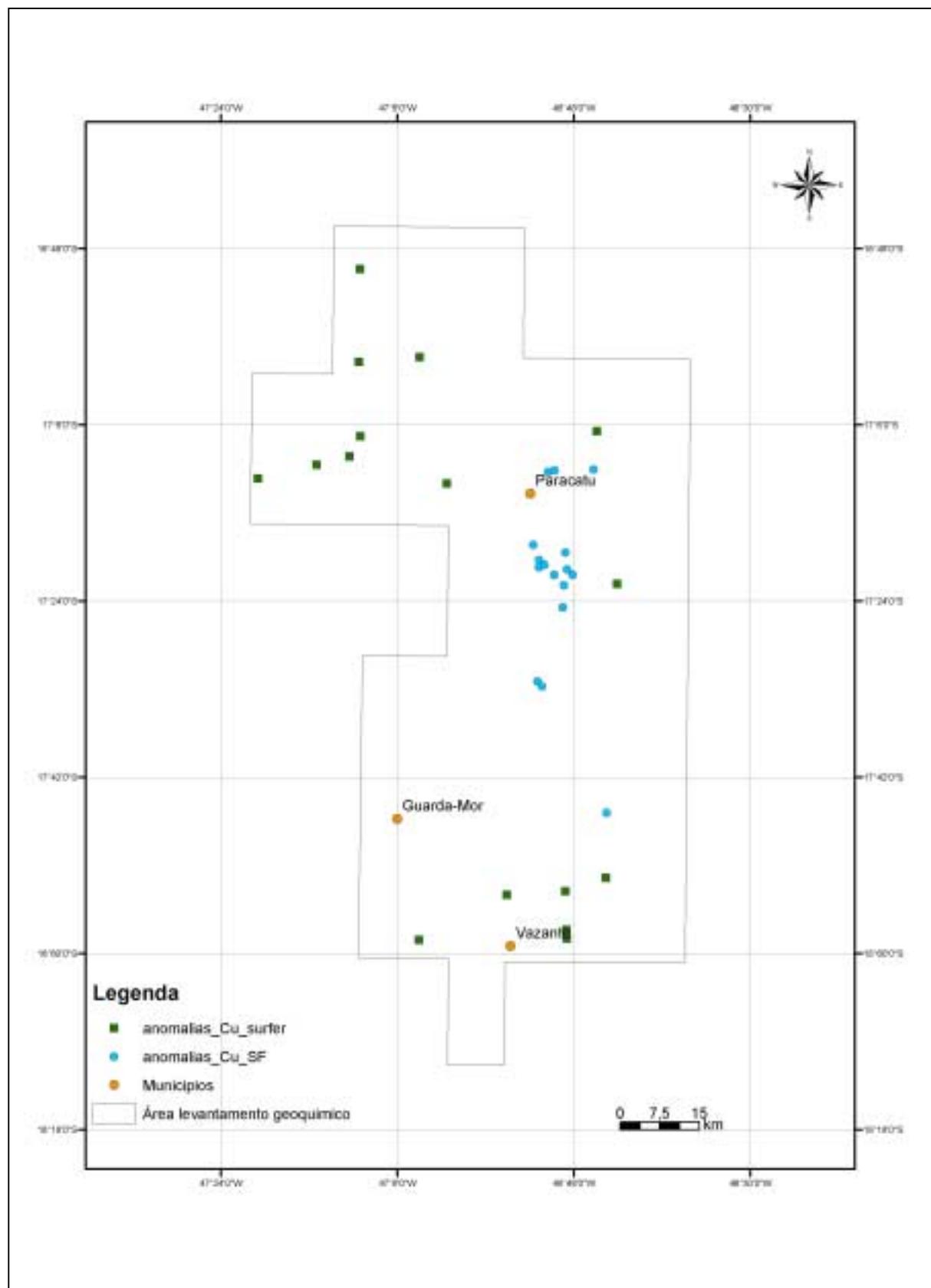


Figura 66 – Superposição das anomalias de Cu detectadas neste trabalho com ocorrências minerais do mesmo elemento cadastradas pelo Projeto São Francisco

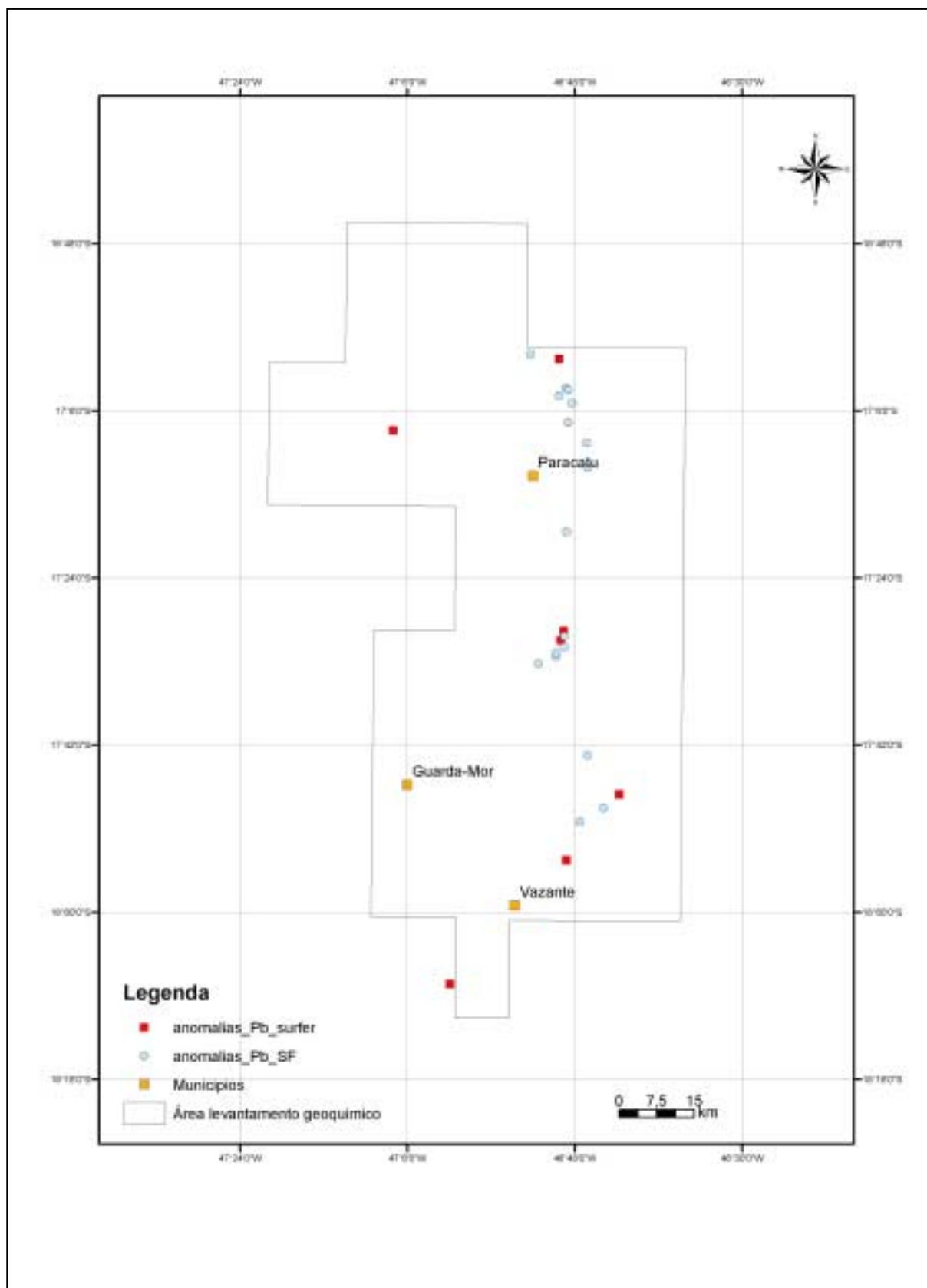


Figura 67 – Superposição das anomalias de Pb detectadas neste trabalho com ocorrências minerais do mesmo elemento cadastradas pelo Projeto São Francisco

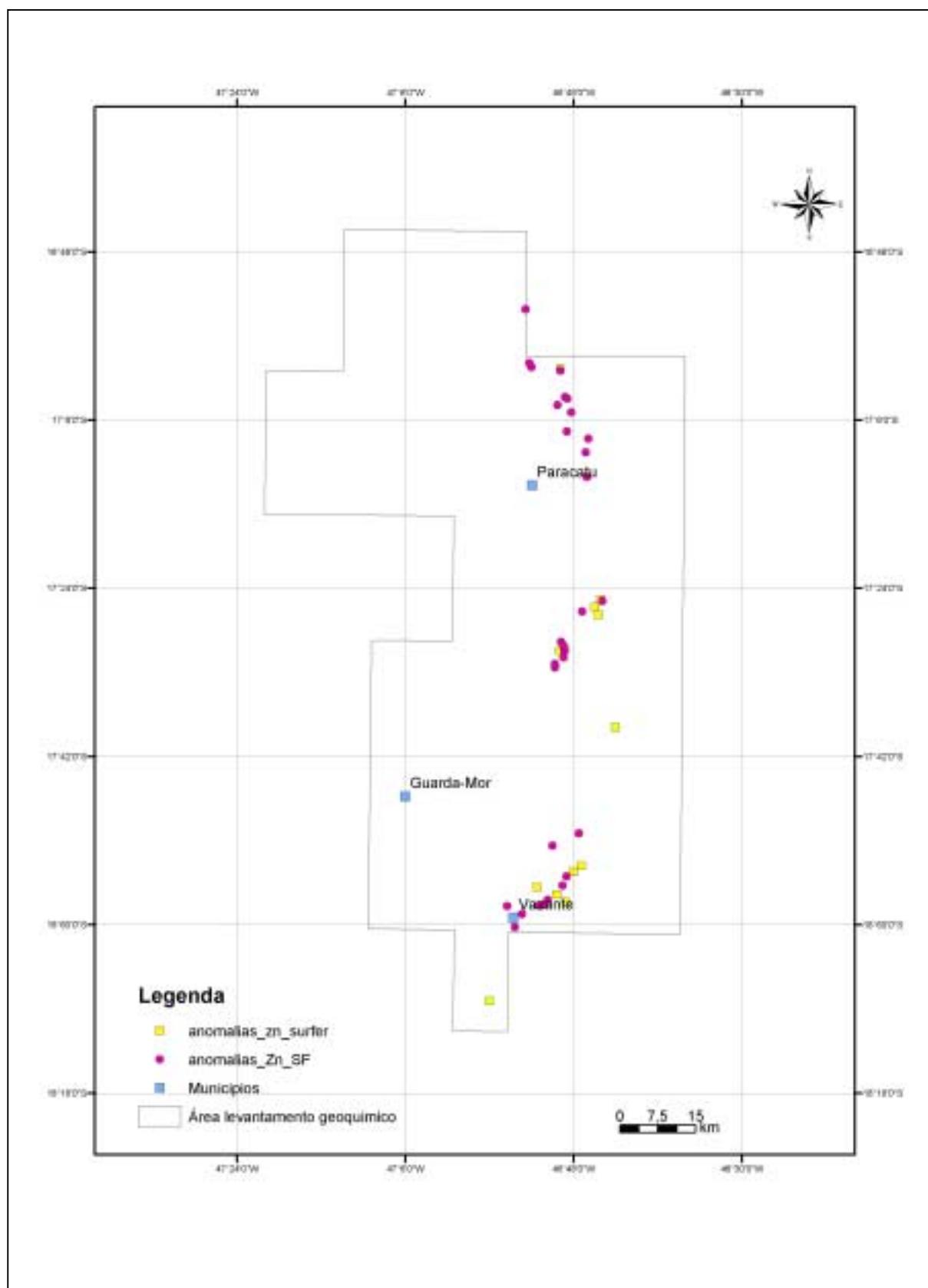


Figura 68 – Superposição das anomalias de Zn detectadas neste trabalho com ocorrências minerais do mesmo elemento cadastradas pelo Projeto São Francisco

## 7 CONCLUSÕES

O termo GIS define não somente “softwares” cuja funcionalidade principal seja a integração, manipulação e visualização de dados georeferenciados como também empresta seu nome a uma tecnologia computacional ou a uma nova disciplina, segundo Maguire (1991). Neste contexto, o acrônimo GIS deixa de ser uma simples denominação de uma certa categoria específica de “softwares” para realizar determinadas funções ou uma ferramenta de auxílio na tomada de decisões e/ou apoio, para englobar também uma nova tecnologia ou até mesmo, uma nova maneira de pensar e ensinar. O princípio básico está além da construção de uma base de dados contendo pontos, linhas ou polígonos georeferenciados, que estando associados a uma tabela de atributos, que armazenando características inerentes a estas entidades, serve para a feitura de um mapa ou para uma simples análise, através da interpretação da distribuição espacial.

Avanços significativos ocorreram nessa área, impulsionados principalmente por fatores como o rápido desenvolvimento de dispositivos de armazenamento, processamento, memórias RAM, terminais de vídeo, aliados a miniaturização e a queda crescente nos preços. Também deve ser levado em consideração que a ampla difusão, a nível mundial, dos “softwares” de GIS e tudo relacionado a ele, inclusive tecnologia, deveu-se ao empenho e determinação de pesquisadores e instituições, principalmente universidades e centros de pesquisa que, localizadas em diversas partes do mundo, contribuíram significativamente para tal.

Especificamente tratando-se do “software” Arcview, a sua fabricante – ESRI - coloca à disposição da comunidade em geral, módulos especiais , conhecidos como extensões, que tem por finalidade executar ou auxiliar na execução de determinada tarefa com fins específicos. Nesse trabalho, a extensão utilizada – 3D Analyst permitiu a construção de Modelos Digitais de Terreno (MDT) que serviram para o modelamento de dados contínuos.

Dois modelos para representação de superfícies, - TIN – *Triangulated Irregular Networks* e Grids, o primeiro uma forma vetorial e o segundo uma forma matricial - , além dos MDT`s, uma forma tridimensional, foram gerados a partir de pontos que armazenavam um atributo de cota (Altitude). A qualidade dos MDT`s, TIN`s e Grids é diretamente proporcional ao número de dados presentes na base utilizada, isto é, quanto maior a quantidade de pontos, melhor a qualidade final. Esta qualidade reflete-se na aparência do modelo; superfícies achatadas, niveladas ou buracos denotam pouca ou escassa presença de dados, enquanto outras onduladas remetem a uma boa quantidade de dados.

A execução de algoritmos especiais denominados interpoladores, cuja função é estimar uma propriedade de um determinado ponto, tomando como base essa mesma propriedade dos pontos imediatamente vizinhos, mostra-se uma boa opção para tentar minimizar o fato da representação apresentar uma qualidade não aceitável ou ruim, mas não é por si só, garantia de melhor resultado. Outro fator que contribui para a melhoria da qualidade é um maior controle e estimativa dos erros associados na captura de dados.

No entanto, a melhor opção, continua sendo ainda um estudo criterioso dos métodos empregados no processo de coleta dos dados, visando aqueles que darão melhor resposta.

Por outro lado, a segunda etapa deste trabalho considerou o tratamento estatístico – realizado no “software” Surfer - de amostras de Sedimento de corrente, Concentrado de bateia, Rocha e Solo, analisadas para Au, Cu, Pb e Zn em dois métodos distintos: Absorção atômica e Espectrometria. De um universo de 32 análises, 5 foram descartadas de imediato por possuírem a maioria ou a totalidade dos valores iguais a zero, isto é, ausência de valores diferentes do “background” regional, enquanto outras 15 possuíam um certo arranjo espacial que impossibilitava a solução do sistema de equações pelo método estatístico escolhido – a Krigagem. Este método mostrou ser o mais indicado e o que forneceu resultados mais satisfatórios para o tipo de dados utilizado, embora outros métodos, como por exemplo, *Inverse Distance, Radial Basis Functions, Shepard's Method, Minimum Curvature*, etc tenham sido testados.

A tabela 7 resume as características das 12 amostras resultantes que deram respostas positivas a esse método, destacando os valores mínimos e máximos, desvio-padrão, media, número de pontos utilizados e excluídos. Os histogramas de freqüência construídos para as amostras em questão, denotam a ausência de uma distribuição de valores considerada regular ou até mesmo simétrica, o que conseqüentemente, acarreta a impossibilidade de um estudo nos padrões de uma distribuição normal.

A visualização dos mapas de contorno, por sua vez, permite de forma rápida, a identificação e localização dos pontos anômalos para os elementos considerados. Tomados em um estudo de caso, foi possível identificar 38 anomalias que permitiram a confecção de mapas onde a análise visual forneceu uma idéia da distribuição espacial. Quando estes pontos anômalos são confrontados com aqueles das ocorrências minerais cadastradas pelo Projeto São Francisco, considerados os mesmos elementos, percebe-se uma boa correspondência evidenciada nas figuras 65 a 68, indicando ser este método de trabalho uma ferramenta de auxílio ou a primeira etapa para um projeto mais elaborado.

Trabalhos complementares, incluindo pesquisa de campo detalhada, nova coleta de amostras, refinamento da malha de amostragem e sondagem, entre outros, poderão trazer novos subsídios aos resultados aqui obtidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKMIN, F.F.; BRITO NEVES, B.B.; CASTRO ALVES, J.A. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco – uma revisão. In: Domingues, J.M.L.; Misi. A. (ed.) **O Cráton do São Francisco**, Salvador, SBG/Núcleo BA- SE p.45-62, 1993.

ALKMIN, F.F.; CHEMALE JR., F.; ENDO, I. A deformação das coberturas proterozóicas do Cráton do São Francisco e o seu significado tectônico. **Revista da Escola de Minas**, v. 49, n.1 p. 22-38, 1996.

ALKMIN, F.F. ; MARTINS NETO, M.A. A Bacia intracratônica do São Francisco : arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: PINTO, Claiton Piva; MARTINS NETO, Marcelo Augusto (Ed) **Bacia do São Francisco**: geologia e recursos minerais. Belo Horizonte, SBG/MG, p.9-30, 2001.

ALMEIDA, F.F.M. **Origem e evolução da Plataforma Brasileira**. Brasília: DNPM/DGM, 36 p., 1967 (Boletim, 241).

ALMEIDA, F.F.M. Evolução tectônica do centro-oeste brasileiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.40, p. 280-296, 1969.

ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco, **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7 p.285-295, 1977.

AMARAL, G. ; KAWASHITA, K. Determinação da idade do Grupo Bambuí e Paranoá na Serra de São Domingos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, 1967, Curitiba, **Anais...** Curitiba:SBG, p.214-217, 1967.

BARBOSA, O. Guia das excursões. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 9, 1955, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, p. 3-5, 1955.

BARBOSA, O. et al. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**: projeto chaminés. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 1970. 140 p.

BERNHARDSEN, T. **Geographic information systems.** Viak IT – Norway- 1992. 318p.

BETTENCOURT, J.S. et al. Metalogênese do zinco e chumbo na região de Vazante – Paracatu , Minas Gerais. In: PINTO, Claiton Piva; MARTINS NETO, Marcelo Augusto (Ed) **Bacia do São Francisco:** geologia e recursos minerais. Belo Horizonte, SBG/MG, p. 161-198, 2001.

BRANCO, J.J.R. ; COSTA, M.T. **Roteiro de Excursão Belo Horizonte – Brasília.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG / Instituto de Pesquisas Radioativas, 1961. 119p. (Trabalho apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Geologia, Brasília).

BRAUN, O.P.G. Contribuição à estratigrafia do Grupo Bambuí. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, 1968, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG, p.155-166, 1968.

BUCKLEY, D.J. **The GIS Primer – an introduction to geographic information systems.** Colorado, 1997. Disponível em <[www.innovativegis.com/basis/primer/primer.html](http://www.innovativegis.com/basis/primer/primer.html)> . Acesso em 27 jan. 2003.

CAMPOS NETO, M.C. Litoestratigrafia, relações estratigráficas e evolução paleogeográfica dos grupos Canastra e Paranoá: região de Vazante-Lagamar, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v.14, n.2, p. 81-91, 1984.

CASSEDANE, J.P. **Lès gites de plomb et de zinc du Brésil et leur répartition linéamentaire.** 1972. 336p. Tese (Doutorado) Université. Clermont Ferrand.

CHANG, H.K. et al. Considerações sobre a evolução tectônica da Bacia do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém, **Anais...** Belém: SBG, 1988. v.5, p.2076-2090.

COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS **Projeto São Francisco:** Província Mineral Bambuí: Belo Horizonte: COMIG, 2001. CD-ROM (Banco de dados - versão 1: inclui cadastro de recursos minerais de toda a área do projeto, cadastro de recursos hídricos subterrâneos da micro-região de Unaí e cadastro de referências bibliográficas)

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS **Manual Técnico do Departamento de Geologia**: metalogenia: CPRM, 1996.

COPPOCK, J.T. ; RHIND, D.W. The history of GIS. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed) **Geographical Information Systems** : principles and applications. United Kingdom: Longman Scientific & Technical, 1991 v.1, p.21-43.

COSTA, L.A.M. ; ANGUEIRAS, A.G. Tectonic zoning in the Epi-Baykalian Platform of Central Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v.41 n.40 p.641, 1971.

DARDENNE, M.A. Geologia da região de Morro Agudo, Minas Gerais. **SBG: Boletim Núcleo Centro Oeste**, Goiânia, n.7/8, p. 68-94, 1978.

DARDENNE, M.A. Zonação tectônica na borda ocidental do Cráton do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais...** Recife: SBG, 1978a, v.1 p. 299-308.

DARDENNE, M.A. **Lès mineralisations de plomb, zinc et flúor du Proterozoïque Superior dans le Bresil Central**. 1979. 251p. Tese (Doutorado) - Université de Paris.

DARDENNE, M.A. Os grupos Paranoá e Bambuí na Faixa Dobra Brasília. In: SIMPÓSIO DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 1981, Salvador, **Anais...** Salvador: SBG/BA-SE/, 1981. p.140-157

DARDENNE, M.A. ; FARIA, A. Estratigrafia do Grupo Paranoá na região de Alto Paranaíba/GO . IN: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA, 2, 1986. Goiânia. **Anais....** Goiânia: SBG, 1986. p.65-71.

DARDENNE, M.A. The Brasília fold belt. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31, 2000, Rio de Janeiro, **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: Ed. Saraiva, 2000, p.231-263.

DARDENNE, M.A. ; SCHOBENHAUS, C. The metallogenesis of the South American Platform. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31, 2000, Rio de Janeiro, **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: Ed. Saraiva, 2000, p.755-849.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL **Código de Mineração e legislação correlativa**. Brasília, DNPM/DFPM, , 1987. 373 p.

EGENHOFER,M.J. ; HERRING, J.R. High level spatial data structures for GIS. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed) **Geographical Information Systems** : principles and applications. United Kingdon: Longman Scientific & Technical, 1991 v.1, p.227-237

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE **ArcView 3D Analyst Features: an ESRI White Paper** - New York, 1998. Disponível em <[www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/3danalyst.pdf](http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/3danalyst.pdf)>. Acesso em 22 out. 2002.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE **Using ArcGIS Spacial Analyst** - United States of America, McCoy, J. & Johnston, K. , 2001, 230 p.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE **Understanding Map Projections** - United States of America , Kennedy, M. & Kopp, S., 2001a, 110 p.

FELICISIMO, A.M. **Modelos digitales de terreno** : introducción y aplicaciones en ciencias ambientales. Pentalfa Ediciones, Oviedo, 1994. 222p.

FREITAS SILVA, F.H. ; DARDENNE, M.A. Evolução estrutural das formações Paracatu e Vazante na região de Paracatu, Minas Gerais. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v.45, n. 1/2, p. 57-59, 1992.

FUCK, R.A. et al. As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco: síntese dos conhecimentos. In: DOMINGUES, J.M.L.; MISI, A. (Ed) **O Cráton do São Francisco**. Salvador : SBG, 1993, p.165-181.

FUKS, S.D. et al. Análise espacial e geoprocessamento. In: FUKS, S.D. et al. (Ed) **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Disponível em <[www.dpi.inpe.br/gilberto/livro](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro)> Acesso em 16 jul. 2002.

GOODCHILD, M.F. The technological setting of GIS. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed) **Geographical Information Systems** : principles and applications. United Kingdom: Longman Scientific & Technical, 1991 v.1, p.45-54.

GOLDEN SOFTWARE **Surfer 8: Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers**. User's Guide. United States of America – Golden Software, 2002, 640 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Malha Municipal digital do Brasil**: situação em 1997. Rio de Janeiro: IBGE, 1999, CD-ROM.

KORTE, G.B. **The GIS Book**: understanding the value and implementation of geographic information systems. United States of America: On Word Press, 1997 414p.

LANDIM, P.M.B. **Análise espacial de dados geológicos**. São Paulo: Fundação Editora da Universidade Estadual Paulista, 1998. 226p.

LAURINI, R. ; THOMPSON, D. **Fundamentals of Spatial Information Systems**. London: Academic Press, 1992. 680p.

LOBATO. L.M. ; SOARES, A.C.P. Síntese dos recursos minerais do Cráton do São Francisco e faixas marginais em Minas Gerais. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.1, n.1 p.51-64, 1993

LONGLEY, P.A. et al. **Geographic Information Systems and Science**. England: John Wiley & Sons, 2001. 454p.

MARTINS NETO, M.A. ; PINTO, C.P. A Bacia do São Francisco: definição e base de dados. In: PINTO, Claiton Piva; MARTINS NETO, Marcelo Augusto (Ed) **Bacia do São Francisco: geologia e recursos minerais**. Belo Horizonte, SBG/MG, 2001. p.1-7.

MAGUIRE. D.J. An overview and definition of GIS. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed) **Geographical Information Systems** : principles and applications. United Kingdom: Longman Scientific & Technical, 1991 v.1., p.9-20.

MAGUIRE, D.J. ; DANGERMOND, J. The functionality of GIS. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed) **Geographical Information Systems** : principles and applications. United Kingdom: Longman Scientific & Technical, 1991 v.1, p.319-335.

MISI, A. et al. Os depósitos minerais do Cráton do São Francisco e seu contexto geotectônico. In: DOMINGUES, J.M.L.; MISI, A. (Ed) **O Cráton do São Francisco**. Salvador : SBG, 1993. p.165-181

OLIVEIRA, M.A. Contribuição à geologia da parte sul da bacia do São Francisco e áreas adjacentes. In: PETROBRÁS, **Coletânea de Relatórios de Exploração**, Rio de Janeiro: Petrobrás/DEPIN, CENPES, 1967, p. 71-105.

OPENSHAW, S. Developing appropriate spatial analysis methods for GIS. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed) **Geographical Information Systems** : principles and applications. United Kingdom: Longman Scientific & Technical, 1991 v.1, p.389-402.

SOARES, A.C.P. et al. **Mapa geológico do Estado de Minas Gerais e nota explicativa**, Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos/ COMIG, 1994. 97 p.

PINTO, C.P.; PINHO, J.M.M.; SOUZA, H.A. Recursos minerais e energéticos da Bacia do São Francisco em Minas Gerais: uma abordagem regional. In: PINTO, Claiton Piva; MARTINS NETO, Marcelo Augusto (Ed) **Bacia do São Francisco**: geologia e recursos minerais. Belo Horizonte, SBG/MG, 2001. p.139-160.

PLUFG, R. ; RENGER, F. Estratigrafia e evolução tectônica da margem SE do Cráton do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973, Aracaju, **Anais...** Aracaju: SBG, 1973 v.2, p.5-19

SCHOLL, W.U. **Sedimentologie and geochemie der Bambui-Gruppe am SE-Rand des São Francisco Beckens, Minas Gerais, Brasilien**. 1973. 90p. Tese (Doutorado) – Univ. Heidelberg, RFA, Heidelberg.

TEIXEIRA, N.A. ; DANNI, J.C.M. Contribuição à estratigrafia do Grupo Araxá na região de Passos, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife, **Anais...** Recife: SBG, 1978. p.700-710.

WEIBEL, R. & HELLER, M.J. Digital terrain modelling. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed) **Geographical Information Systems** : principles and applications. United Kingdon: Longman Scientific & Technical, 1991 v.1, p.267-297.