



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU***  
**MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE**

i



MESTRADO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E SAÚDE

**A GEOQUÍMICA MULTIELEMENTAR NA GESTÃO AMBIENTAL**  
**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE REGIÕES DE RISCO PARA A**  
**SAÚDE NOS MUNICÍPIOS DO SUDOESTE DO ESTADO DE GOIÁS,**  
**BRASIL.**

**Henrique Santana Costa**

**Goiânia-Goiás**  
**Março de 2009**



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU***  
**MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE**

ii



MESTRADO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E SAÚDE

**A GEOQUÍMICA MULTIELEMENTAR NA GESTÃO AMBIENTAL**  
**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE REGIÕES DE RISCO PARA A**  
**SAÚDE NOS MUNICÍPIOS DO SUDOESTE DO ESTADO DE GOIÁS,**  
**BRASIL.**

**Henrique Santana Costa**

**Orientador: Prof. Dr. Eric Santos Araújo**

**Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maira Barberi**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Saúde, da Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, da Universidade Católica de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Saúde.**

**Goiânia-Goiás**

A meus pais,  
Exemplos de sabedoria, humildade,  
Incentivo e motivação.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Eric dos Santos Araújo, orientador principal, e à Professora Dr<sup>a</sup>. Maira Barberi, co-orientadora, ambos do Departamento de Biologia da Universidade Católica de Goiás, pelas discussões, sugestões, críticas e auxílio na solução dos diversos problemas enfrentados durante a realização da pesquisa.

A todos os professores e funcionários do Mestrado de Ciências Ambientais e Saúde da Universidade Católica de Goiás que contribuíram direta e indiretamente para minha aprendizagem.

À Diretoria do Departamento de Biologia da Universidade Católica de Goiás, Diretor Professor Dr. Aparecido Divino da Cruz e Coordenador Professor M. Sc. Cláudio Carlos da Silva, pela atenção, confiança, apoio e disponibilidade na elaboração de horários que me permitiram realizar este trabalho.

Ao Professor M. Sc. Cláudio Magalhães de Almeida, do Departamento de Biologia da Universidade Estadual de Goiás, pelas críticas, incentivo, correções e gentileza na informação de fontes bibliográficas.

A Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM) e Serviço Geológico do Brasil, pela utilização dos programas de computação necessários ao tratamento estatístico e a confecção dos mapas geoquímicos.

E, em especial, à minha esposa, Susy Nascimento, por todo amor, paciência, estímulo e dedicação.

## SUMÁRIO

	<b>DEDICATÓRIA</b>	iii
	<b>AGRADECIMENTOS</b>	lv
	<b>LISTA DE TABELAS</b>	Viii
	<b>LISTA DE FIGURAS</b>	X
	<b>LISTA DE ANEXOS</b>	Xi
	<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	Xii
	<b>RESUMO</b>	Xiii
	<b>ABSTRACT</b>	Xiv
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>7</b>
2.1	<b>Geoquímica, Ambiente e Saúde</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
3.1	<b>Objetivo Geral</b>	<b>11</b>
3.2	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>12</b>
4.1	<b>Área de Estudo</b>	<b>12</b>
4.1.1	<b>Caracterização Biofísica</b>	<b>13</b>
4.1.1.1	<b>Clima</b>	<b>13</b>
4.2	<b>Aspectos Geomorfológicos</b>	<b>17</b>

4.2.1	<b>Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA)</b>	17
4.2.2	<b>Superfície Regional de Aplainamento II (SRA II)</b>	17
4.2.3	<b>Superfície Regional de Aplainamento III (SRA III)</b>	18
4.2.4	<b>Superfície Regional de Aplainamento II C (SRAII C)</b>	20
4.3	<b>Aspectos Hidrogeológicos</b>	21
4.4	<b>Região Hidrográfica do Paraná</b>	23
4.5	<b>Procedimentos Metodológicos</b>	24
4.5.1	<b>Parâmetros Para Definição da Área de Estudo</b>	24
4.5.2	<b>Sistemática de Numeração das Amostras e Toponímia</b>	26
4.5.3	<b>Elaboração do Mapa de Amostragem</b>	26
4.5.4	<b>Quadro Epidemiológico</b>	27
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	29
5.1	<b>Análise Integrada dos Resultados</b>	48
6	<b>CONCLUSÃO</b>	53
7	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	56
8	<b>ANEXOS</b>	64

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	Conseqüências do excesso ou carência de elementos químicos nos seres humanos.	2
Tabela 2	Conteúdo médio dos constituintes químicos de amostras de água em região de ocorrência do mal de Jashi.	4
Tabela 3	Microrregião sudoeste do Estado de Goiás. Aspectos físicos, demográficos e populacionais.	25
Tabela 4	Microrregião sudoeste do Estado de Goiás. Aspectos relacionados à saúde pública.	25
Tabela 5	Coordenadas dos pontos de amostragem e toponímia da região de estudo.	26
Tabela 6	Elementos e compostos químicos dosados nas amostras de água das ETAs dos municípios do sudoeste goiano acrescidos de suas respectivas análises metodológicas.	29
Tabela 7	Sumário estatístico e valores de 1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> ordens de cada elemento e composto químico dosados em amostras d'água coletadas nas ETAs dos 18 municípios que compõem a microrregião sudoeste do Estado de Goiás (agosto, 2005) acrescidos de seus respectivos valores máximos permitidos (mg/L).	30
Tabela 8	Correlações mais significativas entre os elementos selecionados.	31
Tabela 9	Municípios de Chapadão do Céu e Mineiros. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.	33
Tabela 10	Municípios de Palestina de Goiás, Mineiros, Serranópolis, Castelândia e St <sup>o</sup> A. da Barra. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.	37
Tabela 11	Municípios de Jataí, Ap. do Rio Doce e Chapadão do Céu. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.	40

Tabela 12	Municípios de Chapadão do Céu e Aporé. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.	44
Tabela 13	Município de Castelândia. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.	47
Tabela 14	Valores anômalos de 1 <sup>a</sup> (vermelha), 2 <sup>a</sup> (azul) e 3 <sup>a</sup> (verde) ordens dos elementos e compostos químicos dosados em amostras d'água coletadas nas ETAs dos municípios de Ap. do Rio Doce, Aporé, Caiapônia, Castelândia, Chapadão do Céu - Poço art., Doverlândia, Jataí, Maurilândia, Mineiros, Palestina de Goiás, Portelândia, Rio Verde, St <sup>a</sup> Rita do Araguaia, St <sup>o</sup> A. da Barra e Serranópolis (agosto, 2005) segundo níveis e limites de concentrações (mg/L).	49
Tabela 15	Municípios de Rio Verde e Santa Helena. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.	55



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1	Mapa limítrofe da região de estudo.	12
Figura 2	Precipitação pluvial – média anual.	14
Figura 3	Temperatura máxima do ar - média anual.	14
Figura 4	Temperatura mínima do ar - média anual.	15
Figura 5	Evaporação - média anual.	15
Figura 6	Umidade relativa do ar - média anual.	16
Figura 7	Insolação - total anual.	16
Figura 8	Mapa geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal	20
Figura 9	Províncias hidrogeológicas em Goiás e Distrito Federal.	22
Figura 10	Distribuição das regiões hidrográficas em Goiás e Distrito Federal	24
Figura 11	Mapa de localização dos pontos de amostragem na região em estudo.	27
Figura 12	Matriz de correlação das amostras d'água coletadas nas ETAs dos 18 municípios que compõem a microrregião sudoeste do Estado de Goiás (agosto, 2005).	31
Figura 13	Mapa de distribuição Chumbo (Pb).	32
Figura 14	Mapa de distribuição Zinco (Zn).	32
Figura 15	Mapa de distribuição Cálcio (Ca).	36
Figura 16	Mapa de distribuição Estrôncio (Sr).	36
Figura 17	Mapa de distribuição Ferro (Fe).	39
Figura 18	Mapa de distribuição Nitrato (NO <sub>3</sub> ).	39
Figura 19	Mapa de distribuição Zinco (Zn).	43
Figura 20	Mapa de distribuição Boro (Bo).	43

Figura 21	Mapa de distribuição Nitrito ( $\text{NO}_2$ ).	46
Figura 22	Mapa de distribuição Fosfato ( $\text{PO}_4$ ).	46

**LISTA DE ANEXOS**

Anexo A	Tabela de Referência, Sintomatologia e Ação dos Elementos Químicos.	65
Anexo B	MINISTÉRIO DA SAÚDE. Fragmento da Portaria n° 518, de 25 de março de 2004, que apresenta os valores máximos permitidos de substâncias químicas presentes na água que representam risco à saúde humana.	66

**LISTA DE ABREVIATURAS**

CPRM	Companhia de Pesquisas dos Recursos Naturais
EOE	Espectrometria Óptica de Emissão
ETA	Estação de Tratamento de Água
GPS	Sistema de Posicionamento Georeferenciado
ICP – OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
GMPS	Geosoft Mapping and Processing System
OMS	Organização Mundial da Saúde
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SIC	Secretaria de Indústria e Comércio
SGM	Superintendência de Geologia e Mineração
UCB	Universidade Católica de Brasília
UCG	Universidade Católica de Goiás

## RESUMO

As respostas geoquímicas do ambiente são controladas, em primeiro lugar, pelos processos naturais, geológicos, pedológicos, climáticos e biológicos. Superpondo-se a essa herança, a presença do homem adquire papel importante pelas possibilidades de alteração que promove no ambiente geoquímico a partir de concentrações urbanas, atividades industriais e agrícolas. Na investigação dos relacionamentos geográficos da distribuição de elementos químicos com as feições naturais e as alterações antrópicas, a geoquímica multielementar apresenta-se como instrumento de grande capacidade de discriminação. No presente trabalho, verificou-se a qualidade da água consumida pela população dos 18 municípios que compõem a microrregião sudoeste do Estado de Goiás, Brasil. Foram realizadas análises químicas multielementares (método ICP-OES) do material coletado nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) procurando correlacionar os dados obtidos com possíveis doenças que afetem a saúde humana. A partir dos resultados encontrados, foi construída uma matriz de correlação (definindo as associações geoquímicas) e mapas de distribuição dos elementos químicos. A análise integrada dos dados revelou a presença de altas concentrações (valores de 1ª, 2ª e 3ª ordem) dos elementos químicos Fe, Pb, Zn, bem como de NO<sub>3</sub> nas amostras de água coletadas nas ETAs dos municípios de Aparecida do Rio Doce, Chapadão do Céu (poço artesiano), Jataí e Mineiros. Foram realizadas visitas à Secretaria de Estado de Saúde de Goiás com o objetivo de angariar o maior número possível de pareceres relativos ao quadro epidemiológico da região trabalhada. As informações apuradas serão adicionadas à base de dados do DATASUS, SEPLIN/GO e SVS/MS. Ressalta-se a importância deste estudo como instrumento de divulgação de informações utilizando geoprocessamento e buscando incorporar novos meios tecnológicos, humanos e logísticos para o desenvolvimento de uma política de captação de recursos financeiros e materiais de modo a atingir efetiva descentralização das ações de saúde no Estado de Goiás, bem como estabelecer prioridades e estratégias visando melhorar a política de saúde das regionais analisadas.

**Palavras-chave:** água, meio ambiente, poluição, saúde, sudoeste goiano.

**ABSTRACT****MULTIELEMENTAL GEOCHEMISTRY IN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT  
(IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF RISKY REGIONS FOR  
HUMAN HEALTH IN THE MUNICIPALITIES OF THE SOUTHWESTERN  
MICRO-REGION OF THE STATE OF GOIÁS, BRAZIL)**

The geochemical responses of the environment are controlled first by natural geologic, pedologic, climatic, and biological processes. Superimposed on these natural influences, human activity plays an important role due to the possibilities of alteration of the geochemical environment caused by urban centers, as well as by industrial and agricultural activities. Multielemental geochemical surveys show their discriminatory capacity to research the geographical relationship among distribution of chemical elements, natural patterns, and anthropogenic alterations. In this study, we monitored the quality of water intended for human consumption in the 18 municipalities of the Southwestern micro-region of the state of Goiás, Brazil. Water samples collected in the Water Treatment Plants (WTPs) underwent multielemental chemical analyses (ICP–OES method) in order to correlate the obtained data to waterborne diseases that can pose a threat to human health. Using the results of these analyses, we built up a correlation matrix (defining geochemical associations) and maps of chemical elements distribution. The integrated analysis of these data revealed the presence of high concentrations (values of 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, and 3<sup>rd</sup> order) of the elements Fe, Pb, Zn, as well as NO<sub>3</sub> in the water samples collected in the WTPs of Aparecida do Rio Doce, Chapadão do Céu (artesian well), Jataí, and Mineiros. We also visited the Health Secretary of the state of Goiás aiming to collect as many epidemiological data as possible for the region under study. All the information collected is going to be included in DATASUS, SEPLIN/GO, and SVS/MS database. The importance of this study lies in the possibility of employing it as an instrument to release information using geoprocessing tools and searching for the incorporation of new technological, human, and logistic means to develop a policy for funding financial and material resources in order to achieve the effective decentralization of actions on health in the state of

Goiás, as well as to establish priorities and strategies to enhance the health policy in the region under study.

**Key words:** water, environment, pollution, health, Southwestern Goiás.

## 1. INTRODUÇÃO

A representação cartográfica da distribuição das moléstias humanas e animais têm sido utilizada há muito tempo. Zeiss (1931, apud LÅG, 1990) estabeleceu o termo geomedicina identificando-o como aquele onde os métodos geográficos e cartográficos podem ser utilizados na apresentação de resultados da pesquisa médica.

Enfatizando a necessidade da colaboração entre médicos, veterinários, biólogos, geógrafos, meteorologistas, entomologistas e geólogos no avanço e desenvolvimento das pesquisas geoquímicas, Vinogradov (1959) salientou a conexão observada entre a sanidade humana à ocorrência de diversos elementos no solo (dirigindo especial atenção para a existência de uma dependência entre províncias biogeoquímicas e doenças endêmicas – especialmente evidentes em regiões com excesso ou carência de determinados elementos químicos).

O potencial dos dados de levantamentos geoquímicos para indicar evidências primárias de moléstias relacionadas à abundância e carência de elementos químicos na cadeia nutritiva (onde os sinais clínicos não são diagnosticamente específicos), foi ressaltado pela Organização Mundial de Saúde (MILLS, 1993). Condições específicas de intemperismo (intensa oxidação, falta de detritos orgânicos, formação de minerais secundários estáveis e insolúveis), aliadas ao acréscimo da razão Al/Si nos solos podem, por exemplo, levar a sérios problemas nutricionais – principalmente em regiões com formação de crostas lateríticas.

Estudos analisando as taxas de mortalidade decorrentes de doenças cardiovasculares conduzidos nos Estados Unidos, Canadá, e Inglaterra mostraram uma maior morbidade em áreas de água leve (concentração mineral < 60ppm) quando comparadas a regiões de água dura (concentração mineral > 60ppm) (MORRIS 1961; BIORCK 1965; CRAWFORD 1968; ANDERSEN 1969; MASIRONI 1972; SCHRODER 1979). A Organização Mundial de Saúde indica que cerca de 800 milhões de pessoas nos países em desenvolvimento estão



sujeitas a manifestarem algum tipo de doença em virtude de deficiências na ingestão de iodo (PLANT et al, 1993).

A importância dos elementos químicos na saúde humana é bem conhecida – não existindo mais dúvida quanto à ocorrência de padrões de distribuição geográfica na incidência de muitas moléstias. Existem inúmeras situações em que o relacionamento direto entre o ambiente geoquímico e o desenvolvimento de determinada doença tem sido estabelecido (Tabela 1). No entanto, estas moléstias estão relacionadas principalmente à exposição anormal resultante de certas atividades industriais ou a deficiências alimentares não diretamente relacionadas ao ambiente geoquímico. Correlações aparentes, na ausência de uma relação “causa/efeito”, são numerosas e controversas. Nesta categoria podem ser citadas a esclerose múltipla, a hipertensão, a arteriosclerose, o mal de Alzheimer, cardiopatias e até mesmo o desenvolvimento de vários tipos de câncer à existência, num dado local, de níveis alterados de Co, Cd, Al, Hg, Se, As, entre outros. Um pouco separada dos males identificáveis, existe uma possibilidade concreta de debilitação subclínica devido ao desequilíbrio de elementos-traço que, sobretudo, tem conseqüências menos sérias e, das quais, ainda faltam muitos dados (WEBB, 1975).

Tabela 1 – Conseqüências do excesso ou carência de elementos químicos nos seres humanos

Desordem	Conseqüência	Local do relato
Excesso de Hg	Doença de Minamata	Japão
Excesso de Cd	Doença de Itai-itai	Japão
Excesso de Cd	Efeitos destrutivos nos rins e ossos	Diversos
Excesso de F	Fluorose dentária e óssea	Diversos
Carência de Se (selenose)	Keshan	China
Carência de Se	Moléstias nervosas	Diversos
Carência de Cu + Zn + Se	Artrite devida à superprodução de peroxidase	Diversos
Carência de I	Bócio	Diversos
Carência de F	Cáries dentárias	Diversos
Carência de P	Osteoporose	Diversos
Carência de Zn	Nanismo	Diversos
Carência de Mg	Depressão e doenças nervosas	Diversos
Carência de Cr	Moléstias cardiovasculares e Cr-diabetes	Diversos

Fonte : modif. Scharpenseel e Becker-Heidmann (1990).

A ligação entre a distribuição de elementos químicos e a saúde humana inevitavelmente torna-se mais tênue à medida que aumenta a contaminação antrópica das águas por resíduos domésticos, industriais e o chorume oriundo de depósitos de lixo que contaminam os lençóis freáticos com microorganismos patogênicos e compostos inorgânicos (extremamente tóxicos ao ser humano e ao ambiente). Nesse sentido, são evidentes as razões pelas quais a produção de mapas geoquímicos, sob circunstâncias adequadas, pode tornar-se um valioso instrumento informativo indicando áreas que apresentam excesso de elementos potencialmente tóxicos – sendo úteis, dessa forma, em vários trabalhos e em investigações (tanto na área da geoquímica ambiental como da saúde).

O reconhecimento geoquímico, combinado à análise geológica, forneceu uma das bases para seleção de áreas britânicas num estudo sobre a angústia infantil e o conteúdo metálico nos solos de jardins. Os resultados mostraram a ausência de uma correlação entre os teores de chumbo no sangue com os dos solos (que continham até 1.000 ppm de Pb). Uma correlação significativa foi obtida, entretanto, com os resultados de dois grupos amostrais, um dos quais incluiu habitantes das proximidades de antigos trabalhos mineiros onde os solos dos jardins continham até 3% de Pb (WEBB, 1975).

Bokonbaev (1996) apresentou um trabalho evidenciando o impacto provocado pelas atividades mineradoras e industriais na região do complexo mineiro de Kemin, República do Kirgistão. Nessa investigação foram encontrados valores elevados de Be, Pb, Zn, Cu, Ni, Y, Mo, Sn, Th, Cr, Co, V, Cd, entre outros. Entretanto, eram especialmente elevados os teores de Pb, Be, Cu, Zn e Cd. Como grande parte dos metais encontravam-se em sua forma móvel, extraível por acetato de amônio, foram encontradas concentrações elevadas de Pb, Ni, Y e Mo em culturas de batata, cevada e aveia. Investigações médicas mostraram que as concentrações de chumbo no plasma sanguíneo de mulheres e crianças superava em 2 a 5 vezes os teores normais. O nível de morbidade geral em crianças e adolescentes foi também elevado, com ocorrência de moléstias crônicas como a pielonefrite, hepatite e anemia. Desse modo, ficou determinada uma clara dependência da morbidade humana com um ambiente geoquímico desfavorável.

A relação existente entre a presença de arsênio em ambientes aquáticos e o desenvolvimento de câncer de pulmão em adultos masculinos foi relatada por Bergolio (1964, apud CROUNSE et al, 1983) na região de Córdoba, Argentina. Estudos realizados em outras partes do mundo (Baltimore, USA – MABUCHI et al, 1979, apud CROUNSE et al, 1983; e Suécia setentrional – AXELSON et al, 1978, apud CROUNSE et al, 1983) corroboraram a relação existente entre a presença de particulados aéreos ricos em As e uma maior incidência de casos de câncer.

Na República Popular da China, a ocorrência de uma anomalia negativa de selênio corresponde à região de ocorrência de duas doenças sérias e, em alguns casos, fatais: Keshan (cardio-miopatia) e Kashin-Beck (osteo-artropatia) (TAN et al, 1988, apud DARNLEY et al, 1995). Neste mesmo país, nas áreas de ocorrência do mal de Jashi (infertilidade endêmica), os teores de Mg, SO<sub>4</sub>, Na, K e Sr mostraram-se muito elevados – contrastando com os valores extremamente baixos de Zn e Mn (Tabela 2). Quando os indivíduos afetados pela doença optaram por utilizar outras fontes de água (apresentando níveis aceitáveis dos já supracitados elementos e compostos químicos), os efeitos da moléstia atenuaram-se e a esterilidade não perdurou (JEI e NIANFENG, 1995).

Tabela 2 – Conteúdo médio dos constituintes químicos de amostras de água em região de ocorrência do mal de Jashi.

Amostras		Na	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	Sr	Zn	Mn
<b>Rio</b>	15	213,75	225,16	77,75	782,94	2,8132	0,0085	0,0145
<b>Reservatório</b>	3	640,98	359,83	152,28	1559,94	3,8666	0,0057	0,0130
<b>Poço</b>	30	133,64	113,22	40,67	433,35	2,7108	0,2176	0,0658

Fonte : Jie e Nianfeng (1995). Teores em ppm.

Vinogradov (1959), pesquisando regiões de fumarolas ácidas (Indonésia, Vesúvio, Katmai, Islândia, Hawaí, México e Cordilheira dos Andes), ricas em HF, demonstrou a relação existente entre a presença de quantidades elevadas de F no ambiente (solo, ar e água) e o número significativo de pessoas, de diferentes idades e níveis sociais, possuindo algum tipo de problema de saúde provocado pela intoxicação deste elemento químico.

Os processos naturais do intemperismo atuando sobre ocorrências e jazimentos minerais podem promover um enriquecimento no conteúdo metálico dos solos e das águas superficiais e subterrâneas. Esse fato pode ser claramente demonstrado pelos teores elevados de flúor nos solos na Mina de Volta Grande, Estado do Paraná, que atingem até 10.000 ppm (LICHT et al, 1996), e nas águas do Rio Paraíba na região de Itabaiana e São Félix, Estado da Paraíba provocado, em ambas as situações, pelo ataque de agentes intempéricos sobre os jazimentos de fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) (SAMPAIO, 1993).

A região seca do Sri Lanka abriga uma população pobre em íntima relação com o ambiente e que dele depende para sua sobrevivência. Estudos hidrogeoquímicos em águas superficiais e subterrâneas identificaram teores de flúor que freqüentemente atingiam 10 mg/L. A perfuração de cerca de 13.000 poços profundos nas últimas décadas aumentou os problemas de qualidade da água, com teores de flúor superando o limite de 1,5 mg/L – o que propiciou o desenvolvimento de fluorose dentária em crianças de idade escolar. Estatisticamente, indivíduos de faixas etárias superiores, que na época da constituição da dentição permanente utilizaram águas de rios e lagos com teores aceitáveis de fluoretos, não mostraram sintomas de fluorose (DISSANAYAKE, 1993).

No Estado de Goiás, Araújo (2001) realizou um levantamento de dados hidrogeoquímicos nos rios do entorno de Goiânia com o objetivo de verificar os parâmetros físico-químicos das águas, a composição multielementar dos sedimentos de corrente e a localização de possíveis fontes de contaminação da região. Os resultados obtidos revelaram a existência de valores anômalos de alguns elementos químicos (Pb, Cd, Cr e Zn) que poderiam estar associados, principalmente, a presença de rochas básicas, a proximidade de curtumes e a contigüidade de aterros sanitários.

Neste contexto, a microrregião sudoeste de Goiás (composta por um conjunto de 18 municípios – Aparecida do Rio Doce, Aporé, Caiapônia, Castelândia, Chapadão do Céu, Doverlândia, Jataí, Maurilândia, Mineiros, Montividiu, Palestina de Goiás, Perolândia, Portelândia, Rio Verde, Santa Helena de Goiás, Santa Rita do Araguaia, Santo Antônio da Barra e Serranópolis), desponta como uma relevante área para estudos geoquímicos uma vez que ali se desenvolvem diversas atividades agropastoris capazes, em

última instância, de gerar inúmeros malefícios ao ambiente e à saúde humana por conta do elevado contingente de substâncias químicas liberadas pelo uso indiscriminado de defensivos agrícolas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Geoquímica, Ambiente e Saúde

Sob condições naturais, os elementos químicos agrupam-se segundo regras de comportamento e de afinidade que possibilitam prever a presença de um elemento quando detectada a presença de outro com o qual tenha afinidade geoquímica. Esse é um dos princípios que embasam a petrologia, a metalogenia e a geoquímica aplicada à exploração mineral. Dessa relação estreita e previsível surgiram conceitos como o dos elementos farejadores, apresentado como “aqueles com propriedades particulares que fornecem anomalias ou halos mais facilmente utilizáveis que os dos elementos procurados aos quais eles estejam associados” (WARREN e DELAVault, 1958).

Extremamente utilizado e aplicado sob condições naturais, esse conceito sofre sérias restrições quando são examinadas situações onde os processos geoquímicos sofrem a interferência humana. Na litosfera poderão ocorrer associações elementares imprevisíveis e até absurdas uma vez que esses relacionamentos jamais seguirão regras geoquímicas claras (LINDH, 2005). Visto desse ângulo, não surpreende que os solos de uma região agrícola submetida à aplicação de fertilizantes fosfatados apresentem uma anomalia de urânio, mesmo que o substrato geológico seja constituído de basalto (SOUZA, 1998). O mesmo ocorre com a composição química dos efluentes de um depósito de resíduos sólidos urbanos regida pelas características e estágio industrial da população produtora. Assim, quanto mais avançado for o estágio de industrialização de uma concentração humana, mais complexa será a composição química de seus resíduos (LICHT, 2001).

Utilizando de forma livre o que coloca Raynaut (1994), não há mais lugar para abordagens simplistas, sejam elas naturalistas, ecológicas ou sócio-políticas. Para se tentar entender os processos de transformação que estão ocorrendo, (...) a questão tem que ser abordada através de modelos analíticos complexos que rejeitam interpretações lineares e unificadas e que sejam

capazes de considerar um sistema global de interações. Essa complexidade, portanto, tem de ser ordenada de alguma maneira – o que significa delimitar os campos pelos quais se articulam as interações e diferenciar, ou mesmo hierarquizar, os níveis de realidade onde estes campos se situam.

Uma abordagem sistêmica da natureza permite que seja amplificada a capacidade de previsão dos efeitos com base em causas conhecidas, o que na área da filosofia ficou convencionado como determinismo causal. O princípio da causalidade estabelece que todo efeito corresponde a uma causa. A variante de Painlevé define que as mesmas causas transportadas no tempo e no espaço produzem os mesmos efeitos (LAKATOS e MARCONI, 1983). Essas relações, teoricamente tão claras sob condições controladas, quando transpostas para o ambiente natural, sujeito às particularidades das condições locais, perdem muito dessa condição cartesiana de causa-efeito. Por esse motivo, na natureza, as mesmas causas podem produzir efeitos diferentes e até mesmo causas diferentes podem produzir o mesmo efeito.

Como bem salientou Cordani (1995, apud CORDANI 1997), “Nos últimos 20 ou 30 anos, foi sendo despertada a consciência mundial para as grandes ameaças representadas pela explosão populacional, pelo esgotamento dos recursos naturais do planeta, pela perda da biodiversidade, pela poluição crescente da atmosfera e da hidrosfera e pela vulnerabilidade das aglomerações urbanas a desastres naturais e tecnológicos”. Mais ainda, neste fim de século, as sociedades começaram a sofrer transformações de grande monta com o fenômeno da “globalização” e da nova ordem econômica mundial impondo novos paradigmas à sociedade – não só no aspecto econômico, mas também nos planos sociais, políticos e culturais. O novo paradigma de desenvolvimento da moderna sociedade tecnológica, o desenvolvimento sustentado ou sustentável, fundamenta-se em três pilares: o desenvolvimento econômico, o equilíbrio ecológico e o progresso social. Esse equilíbrio tem se constituído inclusive num fator de posicionamento estratégico e de manutenção da competitividade e disputa de mercado para as empresas, seja nos países desenvolvidos seja naqueles em desenvolvimento (STIGSON, 1998).

O desenvolvimento sustentado exige assim um equilíbrio entre a conservação e sanidade ambientais e a utilização racional dos recursos

naturais. Sob essa ótica, o papel das ciências da terra numa sociedade que busca o desenvolvimento sustentável deve contemplar o monitoramento contínuo dos processos do “Sistema Terra” – a busca do gerenciamento e fornecimento de recursos minerais, energéticos e hídricos aliado à conservação e ao gerenciamento dos solos agrícolas (CORDANI, 1997).

O diagnóstico ambiental por meio de técnicas geoquímicas tem sido tentado desde a década de 30, quando pesquisadores da ex-URSS iniciaram investigações geoquímicas voltadas à localização de jazidas minerais. O sucesso da nova metodologia, com uma repetibilidade de causa-efeito, provocou sua rápida disseminação por outros países, tendo sido intensamente pesquisada e aplicada com êxito em todos os ambientes geológicos e fisiográficos do planeta (LICHT, 2001).

Na década de 80, diversos países (como Suécia, Noruega, Finlândia, França, Inglaterra e Canadá) iniciaram testes de aplicação para que os métodos de exploração geoquímica (até então restritos à prospecção mineral) tivessem aplicação mais abrangente, atuando também como indicadores ou rastreadores de:

- variações na composição litológica – auxiliando a cartografia geológica e pedológica em estudos de aumento da fertilidade e da produtividade agrícola;
- variações naturais ou antropogênicas na cobertura pedológica em massas d’água ou na biota – visando o estabelecimento de bases de conhecimento químico de uma região e dos eventuais passivos ambientais;
- focos de poluição industrial, agrícola e doméstica (tanto em ambientes rurais quanto urbanos) – objetivando o monitoramento e fiscalização ambiental;
- extensão da pluma de contaminação sobre as águas superficiais e subterrâneas – visando estabelecer o potencial e a viabilidade de aproveitamento de aquíferos.

A espacialização dos bancos de dados de morbidade e de mortalidade, obtidos através de registros nos órgãos de saúde pública humana e animal, possibilita identificar o endemismo de certas moléstias (não reconhecidas ou não identificadas por meio do estudo tradicional).



De maneira similar, o tratamento dos dados censitários (entendidos como variáveis regionalizadas), possibilita a identificação de relações de interdependência com certas variáveis descritivas do ambiente natural. Essa inter-relação pode ser exemplificada pela existência de certas vocações regionais (naturais para o desenvolvimento de atividades econômicas agropecuárias, florestais e minerais) e pelas alterações impostas ao ambiente no uso e ocupação do solo urbano, rural ou industrial (LICHT, 2001).

Finalmente, o desenvolvimento da tecnologia dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilitou a visão abrangente necessária dos sistemas naturais. Hoje é possível integrar dados provenientes das mais diversas fontes e pelos mais diversos métodos e técnicas desde que referidos ao mesmo espaço geográfico. Isso permite que a composição química das águas superficiais ou subterrâneas possa ser integrada a dados censitários socioeconômicos, de saúde pública, ou quaisquer outros. A integração de informações tão diversificadas possibilita a montagem de modelos complexos que estabeleçam robustas relações de causa e efeito dos processos que ocorrem no sistema ambiental (LICHT, 2001).

O presente trabalho busca demonstrar e comprovar que um dos instrumentos básicos para a gestão equilibrada do ambiente natural é a integração de bases de dados geoquímicos, geológicos e sanitários.

### **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo Geral**

Verificar a qualidade da água consumida pela população dos municípios que compõe a microrregião sudoeste do Estado de Goiás, Brasil, a partir da análise multielementar de amostras coletadas nas ETA's (Estações de Tratamento de Água), procurando-se comparar os resultados obtidos com o quadro epidemiológico dos municípios a fim de se verificar a possibilidade de uma contaminação natural e/ou antrópica dos mananciais a partir de contrastes existentes entre os elementos químicos presentes na água e àqueles estudados na saúde humana.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar uma análise multielementar nas amostras de água por Espectroscopia de Emissão Ótica com Plasma de Argônio Induzido, ICP – OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy).
- Estabelecer, a partir dos resultados obtidos das dosagens, a matriz de correlação para definição das associações geoquímicas.
- Elaborar mapas georeferenciados da distribuição dos elementos químicos.
- Verificar o nível de qualidade da água distribuída para o consumo humano nos dezoito municípios que compõem a microrregião sudoeste do Estado de Goiás.
- Levantar os dados epidemiológicos existentes dos municípios em estudo.
- Avaliar a cobertura de abastecimento de água tratada nos municípios em estudo.
- Promover subsídios para intervenção.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### 4.1 Área de Estudo

O Estado de Goiás, situado na região leste do Centro-Oeste do Brasil (ocupando uma superfície de 341.189,5 Km<sup>2</sup>), apresenta-se constituído por terras planas com altitudes que variam de 200 a 800 metros. Integrante do planalto central limita-se, ao norte, com o Estado do Tocantins; a leste, com a Bahia; a oeste, com Mato Grosso; a sudoeste, com o Estado de Mato Grosso do Sul e a sudeste, com Minas Gerais (GOIÂNIA, 2008) (Figura 1).

O território de Goiás conta com 242 municípios. Destes, Jataí, Rio Verde e Santa Helena (os mais populosos do sudoeste goiano), destacam-se pelo relevante grau de desenvolvimento de seus setores agropastoris e industriais – fundamentais para o balanço positivo de divisas para o Estado (GOIÂNIA, 2008).

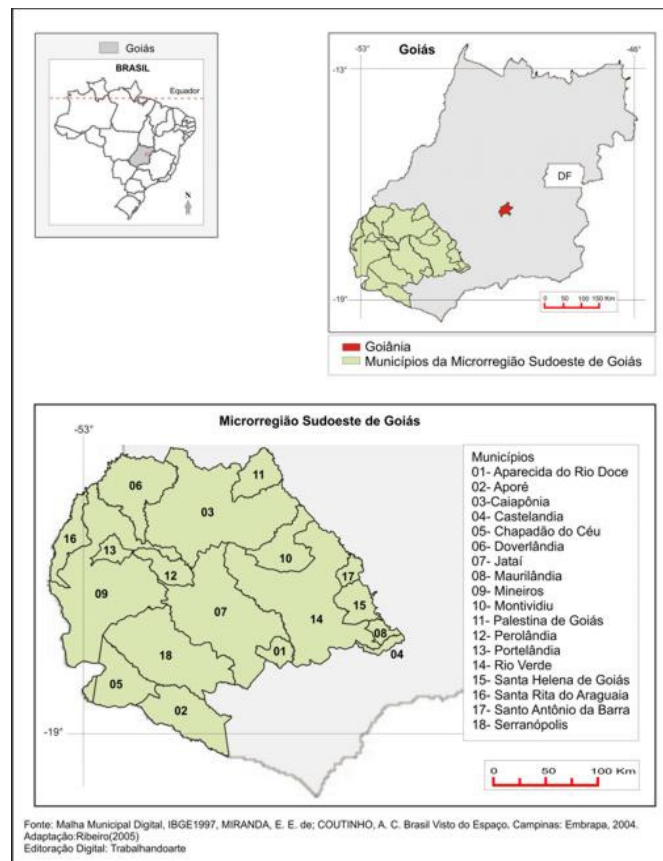


Figura 1 – Mapa limítrofe da região de estudo. Fonte (IBGE, 2007).

## **4.1.1 Caracterização Biofísica**

### **4.1.1.1 Clima**

Em estudos hidrogeológicos, a análise do clima é de fundamental importância. A ação conjunta dos diversos tipos de solos, rochas, relevo e vegetação, são de suma relevância nos processos de infiltração, recarga dos aquíferos e perenização dos cursos d'água.

Podendo ser definidos como grandezas que quantificam e qualificam o ciclo hidrológico ao longo dos anos, os elementos climáticos (como a temperatura do ar, a precipitação pluvial, a insolação e a evaporação), exercem grande influência na mensuração dos recursos hídricos disponíveis em uma região na medida em que condicionam características importantes para as águas subterrâneas (como a determinação de excedentes ou déficits hídricos). Por exemplo, os meses com maiores déficits hídricos apresentam os mais baixos níveis piezométricos. Por outro lado, nos meses onde se observa um excedente hídrico elevado (aqueles de maior concentração pluviométrica), há uma correspondente elevação do nível piezométrico (SILVA et al, 2006).

Os elementos climáticos interagem entre si. Os dados de evaporação nas regiões consideradas de baixo índice pluvial são bem mais elevados que naquelas onde se observam altos índices. Da mesma forma, os valores de umidade relativa do ar são menores nas regiões onde chove menos e maiores onde a precipitação pluvial é mais elevada. Nos locais onde são altos os valores de evaporação e baixos os índices pluviais há, conseqüentemente, um maior déficit hídrico (como comprovado principalmente em áreas situadas no nordeste do Estado).

O conhecimento destes elementos possibilita a definição de estratégias no planejamento que minimizem os riscos oriundos das alterações nos eventos climáticos extremos – contribuindo para o desenvolvimento de pesquisas e o planejamento adequado de uma região.

Percebendo-se uma tendência de aumento do sul para o norte e de leste para oeste (sendo a média anual de 1532mm), o Estado de Goiás caracteriza-se por possuir duas estações climáticas bem definidas: uma com altos índices pluviométricos (outubro a abril – onde ocorrem 95% das

precipitações anuais) e outra com baixos índices pluviométricos (maio a setembro) (Figura 2) (SILVA et al, 2006).

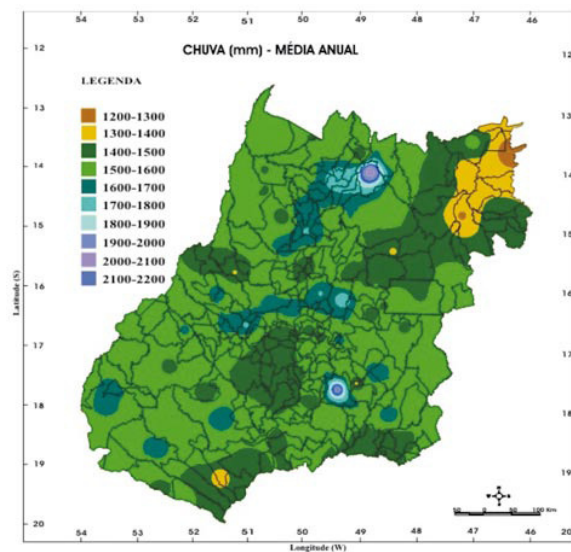


Figura 2 – Precipitação pluvial - média anual. Fonte (SIEG, 2006).

Os meses de agosto e setembro apresentam os maiores índices térmicos (alcançando valores médios máximos em torno de 34°C) – principalmente no noroeste do Estado (Figura 3). As médias mensais das temperaturas mínimas do ar indicam os meses de junho e julho como sendo os mais frios (com valores em torno de 12°C no sudeste e sudoeste goiano) (Figura 4) (SILVA et al, 2006).

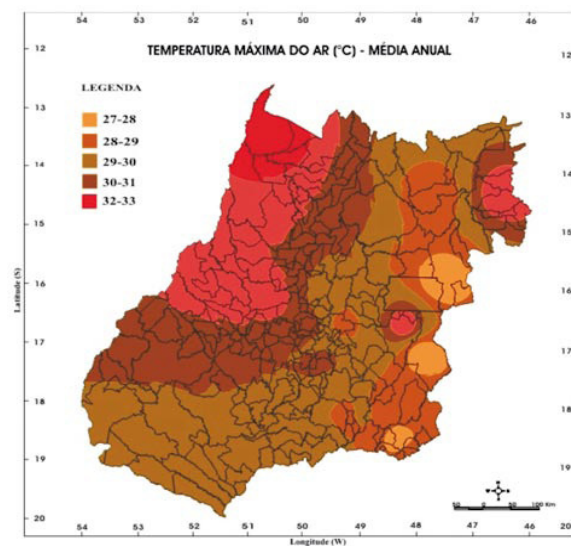


Figura 3 – Temperatura máxima do ar - média anual. Fonte (SIEG, 2006).

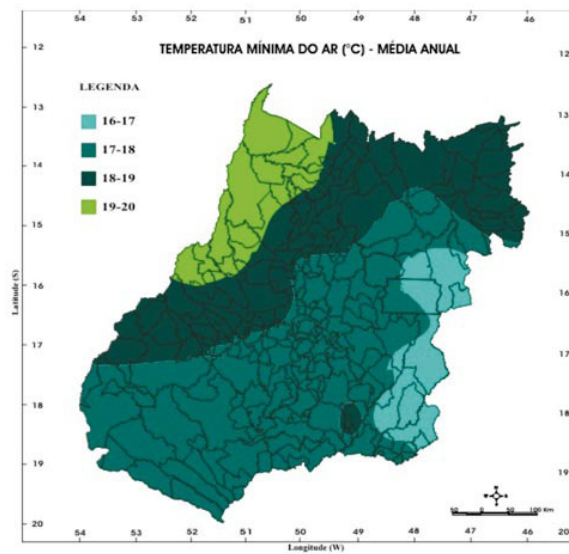


Figura 4 – Temperatura mínima do ar - média anual. Fonte (SIEG, 2006).

Os maiores índices de evaporação são observados no mês de setembro (com valores médios situando-se em torno de 340mm a 360mm). Por outro lado, os menores índices evapométricos são verificados no mês de dezembro (onde prevalecem valores que oscilam de 60mm a 80mm) (Figura 5) (SILVA et al, 2006).

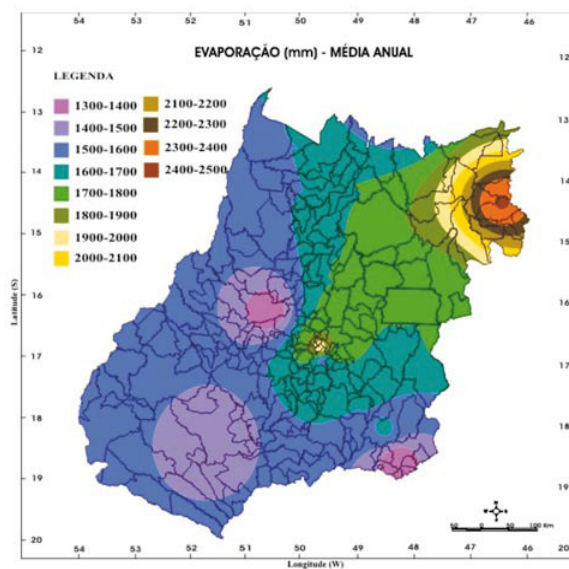


Figura 5 – Evaporação - média anual. Fonte (SIEG, 2006).

O mês de dezembro é caracterizado como sendo o de maior umidade do ar (variando em torno de 80% a 82% para cerca de 50% da área do Estado). O mês de menor umidade do ar é agosto (apresentando valores médios em torno de 48% a 52% em quase toda a área do Estado) (Figura 6) (SILVA et al, 2006).

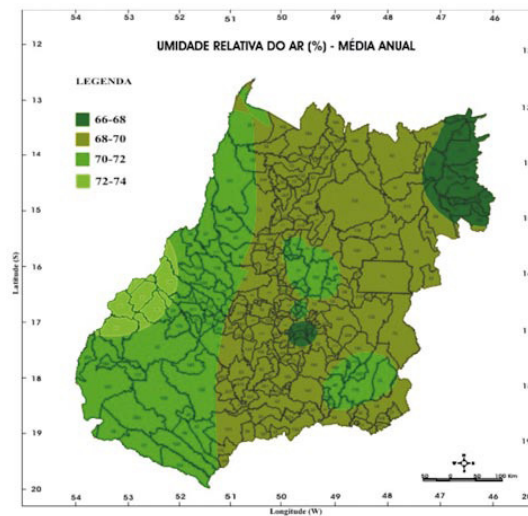


Figura 6 – Umidade relativa do ar - média anual. Fonte (SIEG, 2006).

O Estado de Goiás apresenta, ainda, valores de insolação que, numa média anual, situam-se em torno de 2550 e 2600 horas. As áreas com maior insolação situam-se em uma região que vai do sudoeste ao nordeste do Estado (Figura 7) (SILVA et al, 2006).

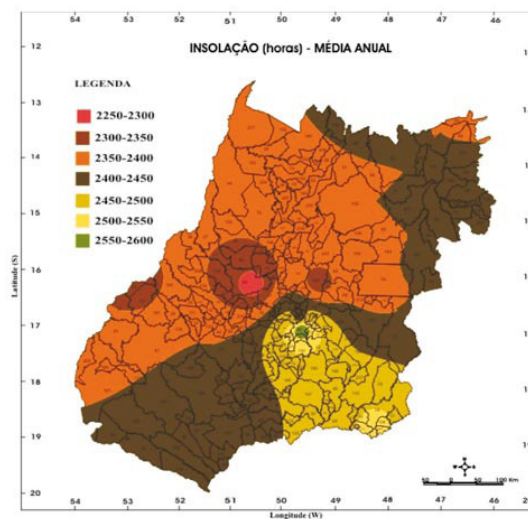


Figura 7 – Insolação - total anual. Fonte (SIEG, 2006).

## **4.2 Aspectos Geomorfológicos**

Um dos aspectos mais relevantes quando se avalia a aplicação da compartimentação geomorfológica para estudos hidrogeológicos é o funcionamento hídrico de cada unidade de relevo (mais especificamente como cada unidade geomorfológica homogênea funciona com relação à recarga e descarga dos aquíferos sotopostos).

De forma geral, a recarga de um aquífero é inversamente proporcional ao aumento do grau de dissecação e diretamente proporcional a hipsometria. Como resultado, pode-se afirmar que áreas com dissecação muito fraca compõem as melhores zonas de recarga e áreas com dissecação muito forte compõem regiões com baixa potencialidade de recarga (ALMEIDA et al, 2006).

Áreas mais elevadas também favorecem a recarga, uma vez que apresentam maior gradiente e, em geral, maior carga hidráulica em aquíferos regionais (o que privilegia as condições de infiltração e transferência das águas de precipitação para zonas mais profundas).

### **4.2.1 Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA)**

As Superfícies Regionais de Aplainamento são as unidades mais representativas da geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. A aplicação da categoria SRA permite inferir que se trata de uma unidade gerada pelo arrasamento/aplainamento de uma superfície de terreno dentro de determinado intervalo de cotas e de controles geológicos regionais.

### **4.2.2 Superfície Regional de Aplainamento II (SRA II)**

Estendendo-se entre as cotas altimétricas de 900 e 1.250 metros, a SRA II mostra-se dividida em duas subunidades: SRA-IIA (desenvolvida com maior abrangência sobre rochas pré-cambrianas) e SRA-IIB-RT (erigida sobre as rochas sedimentares da Bacia do Paraná).



Ocupando uma área total de 43.414 km<sup>2</sup>, a SRA-IIA mostra-se bem representada nas formações proterozóicas menos resistentes compostas por ardósias, calcários e dolomitos dos grupos Paranoá, Bambuí e Canastra. Estudos têm mostrado que esta subunidade geomorfológica estende-se desde o município de Nova Roma até as proximidades de Caldas Novas; em uma estreita faixa na borda oeste do Estado de Goiás (sobre rochas arenosas da Bacia do Paraná) e em pequenas áreas localizadas sobre a Serra Geral de Goiás (arenitos do Grupo Uruçuia).

Possuindo uma área de 23.074 km<sup>2</sup>, vê-se que a SRA-IIB-RT constitui-se no principal componente geológico do sudoeste goiano. Situando-se sobre rochas da Bacia do Paraná (Figura 8), apresenta-se representada por um conjunto de chapadões tabuliformes gerados sobre rochas sedimentares (principalmente mesozóicas) com acamamento sub-horizontal e derrames basálticos. Seccionando mais de uma unidade litoestratigráfica, vê-se que esta unidade geológica apresenta padrões de dissecação que variam entre muito fraco, fraco, médio e forte.

Os relevos estruturais dos estratos sub-horizontais ressaltam o caráter tabuliforme dos residuais erosivos da SRA-IIB. O estilo estrutural é considerado um atributo desta unidade associado a Relevos Tabuliformes (RT) em Estratos Horizontais a Sub-Horizontais (EH).

Este compartimento é constituído de relevos planos, rampas longas, cotas altas a intermediárias, solos espessos e arenosos, baixas declividades, baixa densidade de drenagens e, de forma geral, baixa dissecação (compondo as melhores condições regionais de recarga de aquíferos de toda a área estudada). A geologia a qual está associada é outro fator que favorece a recarga regional por ser representada por rochas arenosas da Formação Botucatu e do Grupo Bauru.

#### **4.2.3 Superfície Regional de Aplainamento III (SRA III)**

Situada entre cotas altimétricas de 550 e 850 metros, esta unidade foi subdividida em: SRA-IIIA (desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas) e

SRA-IIIB-RT (erigida sobre rochas da Bacia da Paraná, principalmente basálticas, da Formação Serra Geral).

Ocupando uma área de 33.467 km<sup>2</sup>, a SRA-IIIA ocorre em uma faixa de direção SW-NE na porção central do Estado de Goiás (entre Goiânia e Uruaçu), e na borda NW da Bacia do Paraná (região de Piranhas) – ambas associadas aos arenitos das formações Ponta Grossa e Furnas.

A SRA-IIIB-RT ocorre na região sudoeste de Goiás desenvolvendo-se principalmente sobre basaltos da Formação Serra Geral e areais residuais do Grupo Bauru. Possui caimento no sentido LE-S até o encontro com a SRA-IVB e ocupa uma área total de 28.303 km<sup>2</sup> (dentro de um intervalo de cotas altimétricas que variam de 550 a 750 metros).

Apresentando uma distribuição irregular, a SRA-IIIB-RT ocorre sobre relevo suave, ondulado e bordejado por outras SRAs – apresentando, assim, excelentes condições de recarga e circulação das águas de infiltração (o que amplia a condutividade hidráulica e a porosidade).

A sistematização dos aspectos geomorfológicos aplicados aos estudos hidrogeológicos é fundamental para a definição das principais áreas de recarga, de exutórios e das condições gerais de circulação dos aquíferos regionais.

As macro-regiões com baixa densidade de drenagem (menor grau de dissecação) apresentam as melhores condições de infiltração e recarga. Em terrenos com alto grau de dissecação, em condições de hipsometria elevada, predominam fluxos locais e intermediários sobre os sistemas de fluxo regionais. Geoformas classificadas como Sistemas Agradacionais representam áreas de exutórios ou de recarga local.

As Superfícies Regionais de Aplainamento (SRAs) compõem as principais áreas de recarga regional (o qual se mostra maximizado nas faixas de terrenos onde estas superfícies apresentam grau de dissecação fraco e muito fraco).

#### 4.2.4 Superfície Regional de Aplainamento II C (SRAII C)

Localizada no sudoeste goiano, na bacia hidrográfica do rio Araguaia, sobre rochas na Bacia do Paraná, este compartimento geológico (ocupando uma área de 3.499 km<sup>2</sup>, entre cotas altimétricas de 750m a 1.000m) foi cartografado como uma subunidade independente.

Estudos mais detalhados mostram-se necessários para o entendimento das relações espaço-temporal entre esta e outras superfícies de erosão observadas na mesma região.



Figura 8 – Mapa geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal. Fonte (SIC/SGM, 2005).

### 4.3 Aspectos Hidrogeológicos

O mapeamento e compartimentação geomorfológicos são notáveis ferramentas auxiliares aplicados em inúmeros estudos. Na hidrogeologia, unidades geomorfológicas identificadas podem ser relacionadas com o funcionamento de recarga e descarga dos aquíferos sotopostos a partir da análise do padrão de relevo, densidade de drenagem, comprimento das rampas, hipsometria dos vales, tipos de coberturas de regolito, entre outros.

Os recursos hídricos superficiais têm estreita relação de interdependência com as águas subterrâneas. Rios, córregos e outras drenagens ora alimentam os aquíferos (influentes), ora são alimentados pelas águas subterrâneas (efluentes). A manutenção da qualidade e da quantidade das águas superficiais é extremamente importante não apenas para a manutenção dos ecossistemas dependentes, mas também para a garantia de alimentação dos aquíferos profundos (ALMEIDA et al, 2006).

No Brasil, existem 10 Províncias Hidrogeológicas (BRASIL, 1983) denominadas: Escudo Setentrional, Amazonas, Escudo Central, Parnaíba, São Francisco, Escudo Oriental, Paraná, Escudo Meridional, Centro-Oeste e Costeira (Figura 9). Goiás é a Unidade da Federação que possui o maior número de Províncias Hidrogeológicas em seu território, com porções das províncias: Escudo Central, São Francisco, Escudo Oriental, Paraná e Centro-Oeste. Dentro das Províncias Hidrogeológicas existem aquíferos de características distintas e com potenciais bastante diversificados. Dentre os diversos aquíferos presentes no Estado, destacam-se os aquíferos da Bacia do Paraná: Serra Geral, Bauru, Aquidauna e Guarani – este último tido como um dos maiores aquíferos do mundo.

O conhecimento e a compreensão dos processos hidrogeológicos são fundamentais para fornecer bases científicas que auxiliem no gerenciamento das águas subterrâneas, incluindo a previsão de riscos de contaminação, caracterizando possíveis pontos de sobreexploração dos aquíferos e propondo medidas visando à eliminação ou mitigação dos impactos negativos em desenvolvimento. Estes estudos auxiliam, ainda, no fornecimento de subsídios para zoneamentos urbanos por intermédio de uma análise da

vulnerabilidade dos aquíferos, da disponibilidade dos recursos hídricos e da integração entre águas superficiais e subterrâneas.

No Estado de Goiás, observam-se estudos esparsos e extremamente localizados sobre a caracterização qualitativa e quantitativa das águas subterrâneas. Uma das áreas de maior concentração de estudos localiza-se em sua microrregião sudoeste (SCISLEWSKI & ARAÚJO, 1998; ALMEIDA, 2003), consistindo em informações atualizadas do meio físico, com a integração de dados anteriores e a coleta de novos dados a partir de atividades intensas e freqüentes de campo (essenciais para a compreensão da estrutura hidrogeológica da região).

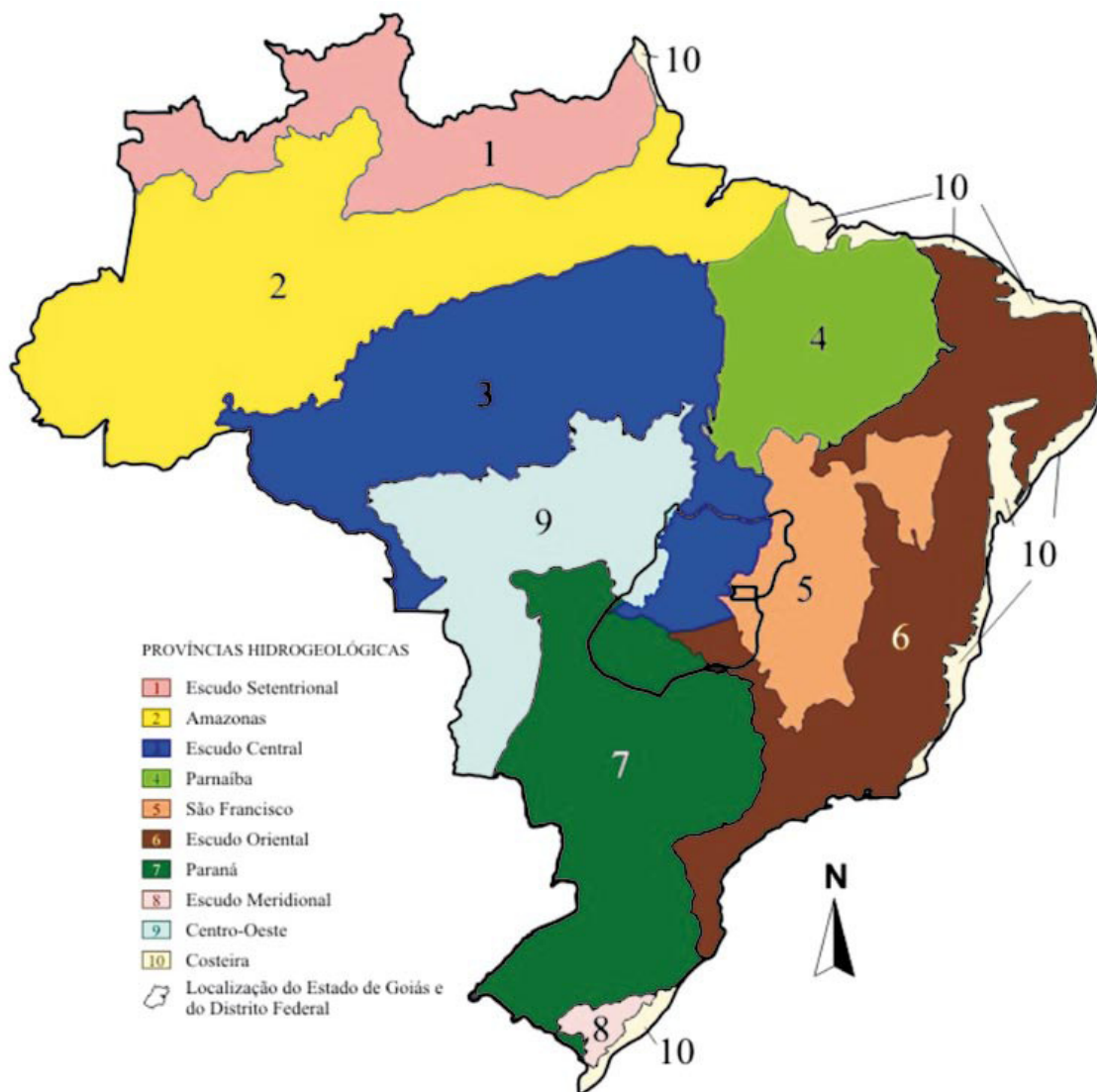


Figura 9 – Províncias hidrogeológicas em Goiás e Distrito Federal. Fonte (CNRH, 2003).

#### 4.6 Região Hidrográfica do Paraná

Ocupando 145.073,753 km<sup>2</sup>, a Região Hidrográfica do Paraná (Figura 10) (principal aquífero do sudoeste goiano), localizada na porção centro-sul do estado, perfaz 41,82% do somatório da área do estado de Goiás e do Distrito Federal.

Esta Região Hidrográfica (RH) é representada, na área de estudo, pelos afluentes goianos da margem direita do Rio Paranaíba. De montante para jusante, destacam-se os rios Verdão, São Marcos, Veríssimo, Corumbá, Piracanjuba, Meia Ponte, dos Bois, Claro, Verde, Corrente e Aporé.

As litologias que formam seu substrato são (na borda leste), filitos carbonosos, quartzitos e metassiltitos do Grupo Canastra; ortognaisses e migmatitos dos Complexos Indiferenciados; filitos-calcixistos do Grupo Ibiá e xistos-quartzitos do Grupo Araxá. No centro (em todo o eixo norte-sul), ocorrem: ortognaisses e granitos-gnaisses do Complexo Granito-Gnáissico; arenitos do Grupo Paraná e basaltos da Formação Serra Geral. No sul da borda oeste o substrato é formado por rochas areníticas, conglomerados e siltitos do Grupo Bauru (além de basaltos e arenitos do Grupo Paraná). Ao norte da borda oeste ocorrem areias fina e grossa da Cobertura Quaternária, sedimentos areno-argilosos das Coberturas Terciárias e rochas sedimentares dos Grupos Paraná e Aquidauana (ALMEIDA et al, 2006).

Suas duas grandes unidades geomorfológicas são a SRAIIIB-RT (no centro e sul da borda oeste), e a Zona de Erosão Recuante (na borda leste). O padrão subparalelo (gerado pelo mergulho uniforme dos estratos subhorizontais das rochas sedimentares e basaltos da Bacia do Paraná) mostra-se muito destacado pelos afluentes da margem direita do rio Paranaíba (todos situados no sudoeste do Estado de Goiás). Possuindo um sistema de drenagem pouco diversificado, são notados em alguns de seus trechos (devido a controles estruturais), padrões de drenagem subparalelo (principalmente nos municípios de Rio Verde e Montividiu) (ALMEIDA et al, 2006).

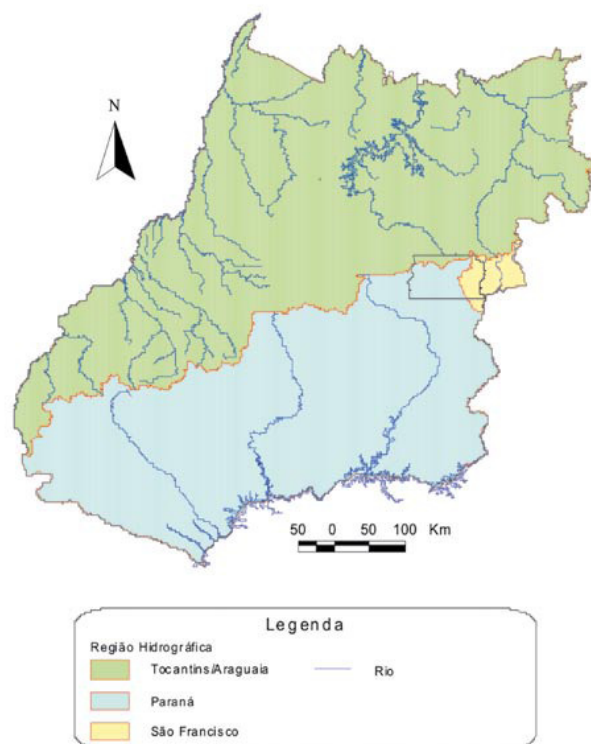


Figura 10 – Distribuição das regiões hidrográficas em Goiás e Distrito Federal (CNRH, 2003).

## 4.7 Procedimentos Metodológicos

### 4.7.1 Parâmetros para Definição da Área de Estudo

A área de estudo foi determinada a partir do fracionamento de um projeto maior, em desenvolvimento pela Universidade Católica de Goiás, que objetiva realizar uma ampla verificação da qualidade da água consumida pela população goiana a partir da análise multielementar de amostras coletadas nas ETA's (Estações de Tratamento de Água) de todo o Estado. Este trabalho optou pela investigação das características da água disponibilizada aos municípios que compõe a micro-região sudoeste do Estado de Goiás (Aparecida do Rio Doce, Aporé, Caiapônia, Castelândia, Chapadão do Céu, Doverlândia, Jataí, Maurilândia, Mineiros, Montividiu, Palestina de Goiás,

Perolândia, Portelândia, Rio Verde, Santa Helena de Goiás, Santa Rita do Araguaia, Santo Antônio da Barra e Serranópolis). Procurou-se comparar os resultados obtidos da pesquisa (a partir da análise da água tratada) com o quadro epidemiológico da microrregião a fim de se verificar a possibilidade de uma contaminação natural e/ou antrópica dos mananciais a partir de contrastes existentes entre os elementos químicos presentes na água e àqueles estudados na saúde humana. Fatores como população, área territorial, origem e saúde pública dos municípios foram considerados (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 – Microrregião sudoeste do Estado de Goiás. Aspectos físicos, demográficos e populacionais.

MUNICÍPIOS	POPULAÇÃO (n° hab.)	ÁREA (Km²)	LEI DE CRIAÇÃO	Hab/Km²
Ap. Rio Doce	2.702	602,288	11.402 de 16/01/1991	4,49
Aporé	3.554	2.900,344	2.107 de 14/11/1958	1,23
Caiapônia	15.747	8.653,189	508 de 29/07/1873	1,82
Castelândia	3.530	297,428	11.400 de 16/01/1991	11,87
Chapadão do Céu	5.289	2.354,822	11.398 de 19/01/1991	2,25
Doverlândia	8.344	3.207,543	9.186 de 14/05/1982	2,60
Jataí	81.972	7.174,217	668 de 29/07/1882	11,43
Maurilândia	10.769	393,793	4.925 de 14/11/1963	27,35
Mineiros	45.189	8.896,304	257 de 24/05/1905	5,08
Montividiu	9.255	1.874,611	10.393 de 30/12/1987	4,94
Palestina de Goiás	3.229	1.320,683	10.404 de 30/12/1987	2,44
Perolândia	2.748	1.029,622	11.405 de 16/01/1991	2,67
Portelândia	3.310	550,646	4.924 de 14/11/1963	6,01
Rio Verde	149.382	8.388,29	08 de 06/11/1854	17,81
Stª Helena	35.027	1.127,855	191 de 20/10/1948	31,06
Stª Rita do Araguaia	5.873	1.361,764	806 de 12/10/1953	4,31
Stª A. da Barra	4.134	451,596	11.703 de 29/04/1992	9,15
Serranópolis	7.333	5.526,526	2.117 de 14/11/1958	1,33

Fonte: IBGE/SEPLAN-GO/SEPIN/Gerência de Estatística Socioeconômica/2007.

Tabela 4 – Microrregião Sudoeste do Estado de Goiás. Aspectos relacionados à saúde pública.

MUNICÍPIOS	N° lig. de água	Ext. de rede de água (m)	N° lig. de esgoto	Ext. de rede de esgoto (m)	N° de Hospit	N° de leitos	* Mort. Infant.
Ap. Rio Doce	801	12.778	538	13.656	-	-	17.77
Aporé	978	16.691	-	-	1	23	23.82
Caiapônia	4.816	64.316	2.735	63.458	3	48	18.25
Castelândia	969	24.193	-	-	1	15	20.02
Chapadão do Céu	[1]	[1]	[1]	[1]	1	14	11.36
Doverlândia	2.265	35.975	-	-	1	24	28.66
Jataí	23.304	311.042	13.612	148.116	5	198	17.77
Maurilândia	3.167	38.324	-	-	1	18	23.82
Mineiros	[1]	[1]	[1]	[1]	4	217	16.58
Montividiu	2.478	42.131	-	-	2	34	17.77
Palestina de Goiás	697	14.402	-	-	1	9	17.12
Perolândia	548	10.707	-	-	-	-	28.66
Portelândia	918	23.100	-	-	1	22	12.12
Rio Verde	37.963	560.906	20.917	126.425	8	471	14.43
Stª Helena	10.020	184.044	-	44.232	5	131	25.03
Stª Rita do Araguaia	2.027	32.353	-	-	-	-	20.02
Stª A. da Barra	917	23.420	-	-	-	-	9.92
Serranópolis	1.925	31.005	-	-	1	18	23.82
<b>Total</b>	<b>93.793</b>	<b>1.425.387</b>	<b>37.802</b>	<b>395.887</b>	<b>35</b>	<b>1.242</b>	

Fonte: IBGE/Ministério da Saúde/SEPLAN-GO/SEPIN/Gerência de Estatística Socioeconômica/2007.

[1] Dados não disponibilizados pela Prefeitura

\* Por mil nascidos vivos



#### 4.7.2 Sistemática de Numeração das Amostras e Toponímia

As atividades de campo seguiram todas as orientações do Manual Técnico do Programa de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica (PGAGEM – BRASIL). Os pontos de amostragem estão apresentados na Tabela 5. Cada estação de amostragem recebeu uma numeração distinta constituída pela sigla do nome do responsável pela coleta (JA e PR) e pelo número da amostra correspondente a cada ETA. Foi analisada uma amostra de água por município (totalizando 18 amostras).

Tabela 5 – Coordenadas dos pontos de amostragem e toponímia da região de estudo

Amostra	X	Y	Latitude	Longitude	Toponímia
PR-5035	484432	7976545	-18.300424	-51.147304	ETA Ap. Rio Doce
JÁ-5043	402746	7902293	-18.969260	-51.923790	ETA Aporé - Poço art.
JÁ-5202	408795	8123222	-16.972892	-51.856657	ETA Caiapônia
JÁ-5054	582452	7999483	-18.091587	-50.220789	ETA Castelândia – Poço
JÁ-5044	324146	7964856	-18.398839	-52.664679	ETA Chapadão do Céu - Poço art.
PR-5062	419952	8020749	-17.899482	-51.755675	ETA Jataí
JÁ-5056	570010	8013445	-17.965839	-50.338837	ETA Maurilândia
JÁ-5045	336643	8060021	-17.540000	-52.538947	ETA Mineiros
JÁ-5204	358448	8151062	-16.718765	-52.327717	ETA Doverlândia
PR-5066	479607	8070330	-17.452703	-51.192046	ETA Montividiu
JÁ-5201	443015	8147768	-16.752114	-51.534630	ETA Palestina de Goiás - Poço art.
JÁ-5051	386810	8061503	-17.529714	-52.066331	ETA Perolândia – Poço
JÁ-5047	321093	8079945	-17.358793	-52.683742	ETA Portelândia
PR-5064	508913	8034151	-17.779793	-50.915913	ETA Rio Verde
PR-5069	542036	8030054	-17.816440	-50.603346	ETA Stª Helena
JÁ-5050	264680	8083156	-17.324617	-53.214057	ETA Stª Rita do Araguaia
PR-5067	537744	8058387	-17.560427	-50.644350	ETA Stª A. da Barra
JÁ-5053	397785	7976859	-18.295196	-51.967089	ETA Serranópolis

#### 4.7.3 Elaboração do Mapa de Amostragem

O mapa de amostragem foi elaborado na escala 1:200.000 (conveniente para o adensamento proposto), contendo o município e distribuição das ETA's (Figura 11).



Figura 11 – Mapa de localização dos pontos de amostragem na região em estudo.

#### 4.7.4 Quadro Epidemiológico

O estudo apresenta informações relativas ao quadro epidemiológico dos 18 municípios que compõem a microrregião sudoeste do Estado de Goiás levantadas no período de Janeiro de 2005 à Dezembro de 2005.

Optou-se pela análise dos boletins epidemiológicos encaminhados ao Ministério da Saúde – Sistema de Informações Hospitalares do SUS (2005) – como instrumento de pesquisa pelo fato destes constituírem no meio mais prático, rápido e econômico para obtenção de informações que proporcionassem investigar a possibilidade de uma contaminação natural e/ou antrópica dos mananciais a partir de contrastes existentes entre os elementos químicos encontrados na água e àqueles estudados na saúde humana. A pesquisa buscou elencar dados referentes a patologias mais frequentes por notificação compulsória e mortalidade.

Cabe ressaltar, contudo, que o perfil epidemiológico dos municípios contemplados no estudo sofreu influência de um importante fator: a inconsistência do banco de dados. A subnotificação de casos e a deficiência na alimentação do sistema de informação foram problemas freqüentes. Portanto, as baixas incidências podem não representar um menor risco de adquirir a doença e sim uma deficiência na notificação e investigação de casos.

## 5. RESULTADOS

No laboratório de Espectroscopia Atômica da Universidade Católica de Brasília (UCB) as amostras de água foram analisadas de forma multielementar através das metodologias relacionadas na Tabela 6. Para cada elemento químico analisado foram obtidas concentrações posteriormente comparadas aos padrões químicos do MINISTÉRIO da SAÚDE (Tabela 7).

Tabela 6 – Elementos e compostos químicos dosados nas amostras de água das ETA's dos municípios do sudoeste goiano acrescidos de suas respectivas análises metodológicas.

Metodologia	Elementos e compostos químicos
ICP – OES	Al, As, B, Be, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Ti, V e Zn
CROMATOGRAFIA	Cl, F, Br, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , e SO <sub>4</sub>

O tratamento estatístico e as matrizes de correlação das amostras foram realizados com o software OASIS 6.1 – módulo Chimera. Como primeira determinação realizada, houve a obtenção individual dos parâmetros estatísticos de cada elemento químico (média aritmética, desvio padrão e valores anômalos de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens) seguidas da construção de suas respectivas matrizes de correlação. A partir destas determinações, foram definidas as associações geoquímicas (Tabela 8) que constituíram a base de dados para a confecção dos mapas de distribuição dos elementos químicos selecionados.

Para a confecção dos mapas de distribuição dos elementos químicos, foi utilizado o programa Geosoft Mapping and Processing System (MPS), associado a um software de modelamento da empresa canadense Geosoft. Estes mapas são apresentados em formas de figuras, de acordo com as associações estabelecidas através das matrizes de correlação (Figura 12).

Tabela 7 – Sumário estatístico e valores de 1ª, 2ª e 3ª ordens de cada elemento e composto químico dosados em amostras d'água coletadas nas ETAs dos 18 municípios que compõem a microrregião sudoeste do Estado de Goiás (agosto, 2005) acrescidos de seus respectivos valores máximos permitidos (mg/L).

<b>Compostos Inorgânicos</b>	<b>1ª Ordem &gt; X + 3S</b>	<b>2ª Ordem X + 2S – X + 3S</b>	<b>3ª Ordem X + S – X + 2S</b>	<b>Portaria 518 M. S. 25/03/2004 VMP</b>
<b>Al</b>	> 0,208	0,175 – 0,208	0,143 – 0,174	0,2
<b>B</b>	> 0,021	0,015 – 0,021	0,009 – 0,014	-
<b>Ba</b>	> 0,116	0,086 – 0,116	0,056 – 0,085	0,7
<b>Ca</b>	> 23,162	17,53 – 23,162	11,897 – 17,52	-
<b>Fe</b>	> 0,542	0,392 – 0,542	0,243 – 0,391	0,3
<b>Li</b>	> 0,0035	0,0030–0,0035	0,0025–0,0029	-
<b>Mg</b>	> 4,475	3,334 – 4,475	2,193 – 3,333	-
<b>Mn</b>	> 0,0150	0,0117–0,0150	0,0084–0,0116	0,1
<b>Pb</b>	> 0,143	0,102 – 0,143	0,060 – 0,101	0,01
<b>Sr</b>	> 0,142	0,106 – 0,142	0,071 – 0,105	-
<b>Zn</b>	> 0,402	0,286 – 0,402	0,171 – 0,285	5,0
<b>F</b>	> 1,205	0,911 – 1,205	0,616 – 0,910	1,5
<b>Cl</b>	> 2,943	2,266 – 2,943	1,590 – 2,265	5
<b>NO<sub>2</sub></b>	> 0,194	0,166 – 0,194	0,137 – 0,165	1,0
<b>NO<sub>3</sub></b>	> 7,648	5,532 – 7,648	3,416 – 5,531	10
<b>PO<sub>4</sub></b>	> 0,461	0,381 – 0,461	0,301 – 0,380	-
<b>SO<sub>4</sub></b>	> 9,798	7,120 – 9,798	4,443 – 7,119	250

VMP – Valor Máximo Permitido

X – Média Aritmética

S – Desvio Padrão

\* Os elementos As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Se, V, Be, Ti, Na, K e Br não foram considerados nos dados estatísticos por apresentarem concentrações iguais para todas as amostras coletadas.

<b>MATRIZ DE CORRELAÇÃO ETAS-SW DE GOIÁS</b>																
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE - UCG																
PESQUISADOR: HENRIQUE COSTA																
Report date: 2008/05/13																
	Al	B	Ba	Ca	Fe	Mg	Mn	Pb	Sr	Zn1	F	Cl	NO2	NO3	PO4	SO4
Al		-0.13	0.09	0.23	0.65	-0.15	0.78	0.13	0.25	0.13	0.21	0.28	-0.11	0.67	-0.11	-0.07
B	-0.13		0.41	-0.26	-0.13	-0.26	-0.28	0.81	-0.28	0.86	-0.33	0.20	-0.11	-0.04	-0.11	-0.22
Ba	0.09	0.41		0.02	0.05	-0.08	-0.21	-0.03	-0.04	0.09	-0.22	-0.08	0.08	0.11	-0.01	0.03
Ca	0.23	-0.26	0.02		0.05	0.43	0.26	0.04	0.89	0.00	-0.22	0.22	0.46	-0.04	0.23	0.18
Fe	0.65	-0.13	0.05	0.05		-0.24	0.58	-0.08	-0.15	-0.08	0.26	0.40	-0.18	0.88	-0.18	0.08
Mg	-0.15	-0.26	-0.08	0.43	-0.24		-0.41	-0.26	0.62	-0.26	-0.20	-0.35	0.51	0.00	0.51	0.04
Mn	0.78	-0.28	-0.21	0.26	0.58	-0.41		0.09	0.08	0.07	0.30	0.38	0.06	0.46	0.06	0.04
Pb	0.13	0.81	-0.03	0.04	-0.08	-0.26	0.09		-0.04	0.99	-0.18	0.60	-0.10	-0.04	-0.10	-0.18
Sr	0.25	-0.28	-0.04	0.89	-0.15	0.62	0.08	-0.04		-0.04	-0.20	-0.32	0.41	-0.15	0.41	-0.19
Zn1	0.13	0.86	0.09	0.00	-0.08	-0.26	0.07	0.99	-0.04		-0.24	0.55	-0.05	-0.02	-0.05	-0.22
F	0.21	-0.33	-0.22	-0.22	0.26	-0.20	0.30	-0.18	-0.20	-0.24		0.41	-0.22	0.15	-0.13	0.42
Cl	0.28	0.20	-0.08	0.22	0.40	-0.35	0.38	0.60	-0.32	0.55	0.41		-0.04	0.30	-0.34	0.46
NO2	-0.11	-0.11	0.08	0.46	-0.18	0.51	0.06	-0.10	0.41	-0.05	-0.22	-0.04		-0.08	1.00	-0.12
NO3	0.67	-0.04	0.11	-0.04	0.88	0.00	0.46	-0.04	-0.15	-0.02	0.15	0.30	-0.08		-0.08	0.03
PO4	-0.11	-0.11	-0.01	0.23	-0.18	0.51	0.06	-0.10	0.41	-0.05	-0.13	-0.34	1.00	-0.08		-0.15
SO4	-0.07	-0.22	0.03	0.18	0.08	0.04	0.04	-0.18	-0.19	-0.22	0.42	0.46	-0.12	0.03	-0.15	

Sample Size 17

**CÓDIGO DE CORES (significance 0.95)**

- MUITO FORTE
- FORTE
- MODERAEDA
- FRACA
- MUITO FRACA
- NULA

Figura 12 – Matriz de correlação das amostras d'água coletadas nas ETAs dos 18 municípios que compõem a microrregião sudoeste do Estado de Goiás (agosto, 2005).

Tabela 8 – Correlações mais significativas entre os elementos selecionados.

CORRELAÇÃO	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA	
NO <sub>2</sub> – PO <sub>4</sub>	1.00	Muito Forte
Pb – Zn	0.99	
Sr – Ca	0.89	
Fe – NO <sub>3</sub>	0.88	Forte
Zn – B	0.86	

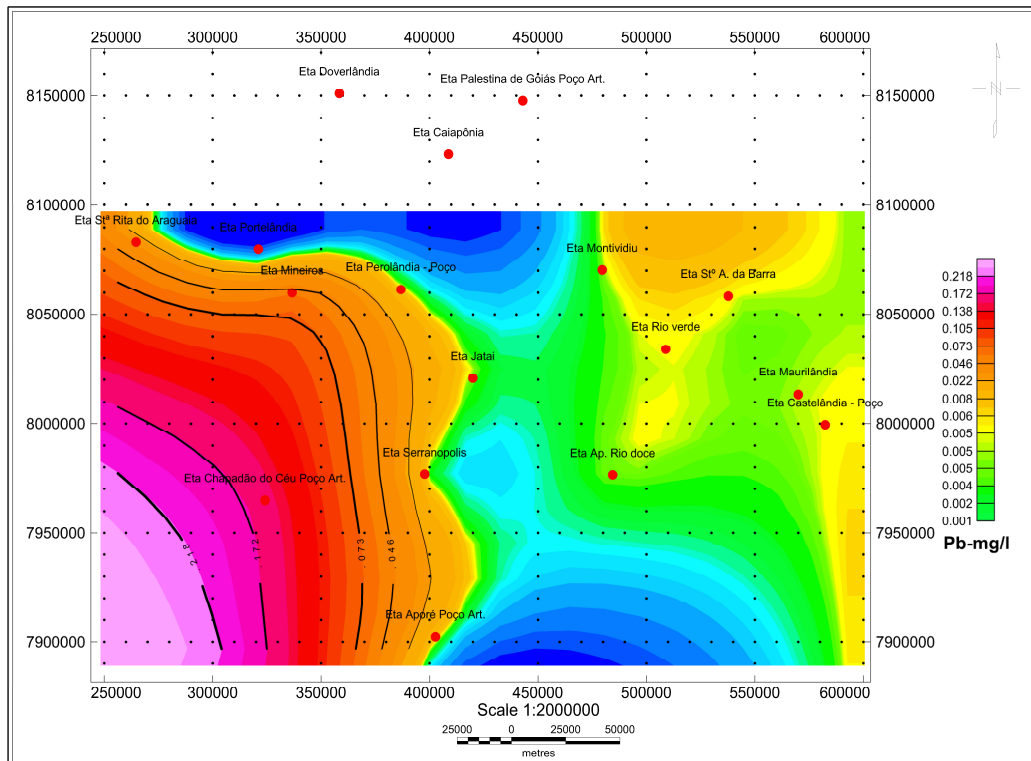


Figura 13 – Mapa de distribuição Chumbo (Pb)

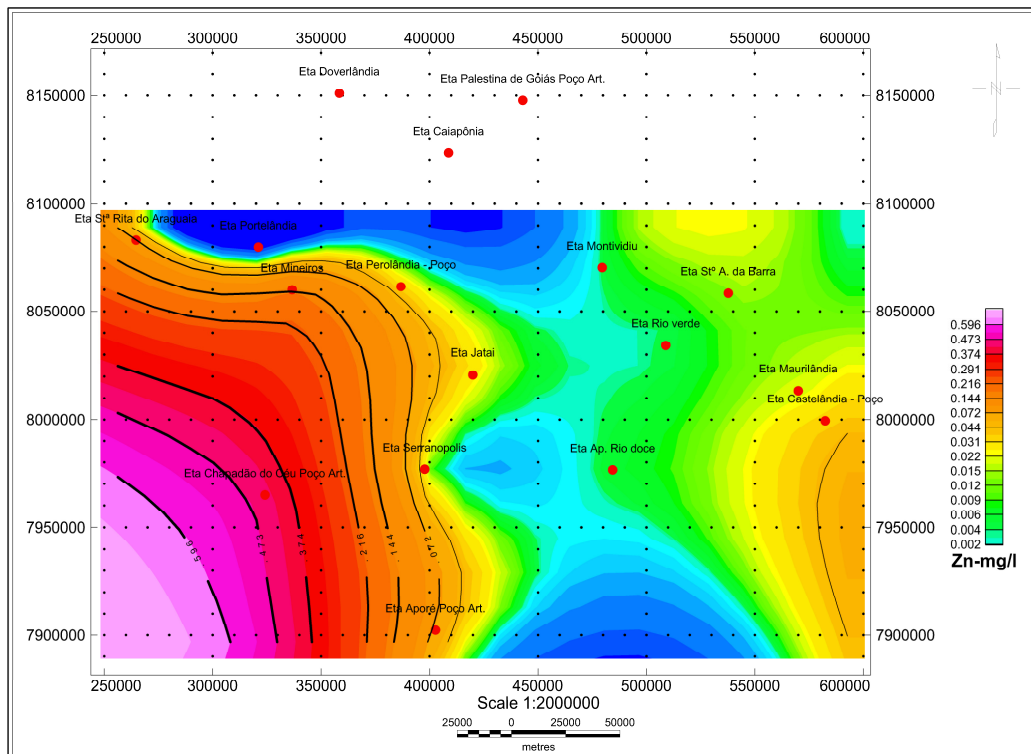


Figura 14 – Mapa de distribuição Zinco (Zn)

A primeira associação geoquímica, Pb – Zn (Figuras 12 e 13) assume uma tendência de distribuição dos elementos químicos no sentido SW. A amostra JA–5044 (coletada na ETA do município de Chapadão do Céu – Poço art.) apresentou concentrações significativas (valores de 1ª ordem) das referidas substâncias químicas. A amostra JA–5045 (coletada na ETA do município de Mineiros) mostrou, ainda, uma concentração anormal (valores de 3ª ordem) para o elemento químico Pb.

No que diz respeito à legislação pertinente (PORTARIA n° 518 do MINISTÉRIO da SAÚDE), a amostra coletada no município de Chapadão do Céu revelou valores muito acima dos níveis tolerados de Pb (0,160 mg/L). No município de Mineiros, de acordo com a legislação conexas, os níveis de concentração para o elemento químico Pb foram, também, considerados acima do normal (da ordem de 0,061 mg/L). A análise conspícua destes dados evidenciou um risco premente ao qual toda população habitante da área está submetida uma vez que a ingestão duradoura de quantidades variáveis destes elementos químicos gera, em contrapartida, sérios efeitos colaterais a saúde humana (Tabela 9).

Tabela 9 – Municípios de Chapadão do Céu e Mineiros. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.

DOENÇAS	Chapadão do Céu	Mineiros
Neoplasias (tumores)	-	5
Doenças do aparelho circulatório	3	11
Doenças do aparelho respiratório	-	6
Doenças do aparelho geniturinário	-	2
Lesões por envenenamento	1	3
Más formações congênitas, deformid. e anomalias cromossômicas	1	-

Fonte: Ministério da Saúde – Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS)/ 2005.

No organismo humano, o zinco é extremamente importante para o adequado funcionamento metabólico do sistema imunológico (participando da produção de glóbulos brancos). Compartilha, também, da composição de metaloenzimas que atuam na síntese de outras enzimas – principalmente no fígado (RAMAKRISHNAN, 2002).

Estudos recentes mostram que, além disso, o zinco exerce uma forte influência relativa à: regulação da glicose (promovendo a secreção de insulina),



à síntese do hormônio de crescimento, a absorção gastrointestinal e a cicatrização de machucados e lesões (LINDH, 2005).

Em relação ao metabolismo da vitamina A, o zinco é particularmente importante no processo de síntese da proteína ligadora de retinol e, conseqüentemente, na mobilização hepática de retinol (CHRISTIAN, 1998).

A deficiência de zinco pode ter sérias conseqüências na saúde das crianças. Os efeitos deletérios da deficiência de zinco podem ser percebidos pela redução de morbidade após a suplementação com zinco em grupos com deficiência. Tem-se observado, em diversos estudos, redução na duração e gravidade de episódios de diarreia e pneumonia, com conseqüente redução de mortalidade (DUGGAN C, FAWZI W, 2001). Por outro lado, alguns artigos demonstraram diminuição em níveis séricos de zinco durante processos inflamatórios, como ocorre em infecções, um fenômeno que pode influenciar a interpretação de estudos sobre a prevalência de deficiência deste micronutriente (WIERINGA FT, DIJKHUIZEN MA, WEST CE, NORTHROP-CLEWES CA, MUHILAL, 2002).

Como todo metal pesado, o chumbo degrada-se muito lentamente no meio ambiente, persistindo durante décadas no solo e no fundo de rios, lagoas e represas. É comprovadamente carcinogênico, teratogênico e tóxico para o sistema reprodutivo. A presença de quantidades elevadas de chumbo no sangue ocasiona problemas neurológicos, como falta de concentração e dificuldades na fala. Não é metabolizado pelos animais e sofre o processo de bioacumulação, afetando em maior grau os animais do topo da cadeia alimentar, entre os quais está o homem (TANNER, 2003).

Estudos recentes em diversos países têm associado à exposição ambiental ao chumbo com efeitos adversos em diferentes sistemas do organismo humano, incluindo alterações hematológicas, metabólicas e cardiovasculares (MOREIRA, 2004). A patologia mais freqüente no caso de envenenamento por chumbo (saturnismo) é representada por desordens neurológicas muito graves, além de uma grande série de sintomas. Vários pesquisadores têm avaliado que os efeitos dessa exposição, particularmente em crianças e jovens, podem desencadear traumas permanentes em níveis de contato antes considerados seguros (como o desenvolvimento de

encefalopatia). O monitoramento biológico e ambiental realizado em tempo adequado é uma medida objetiva que deve ser conduzida antes da introdução de um efetivo sistema de controle da poluição (SHEN, 2001).

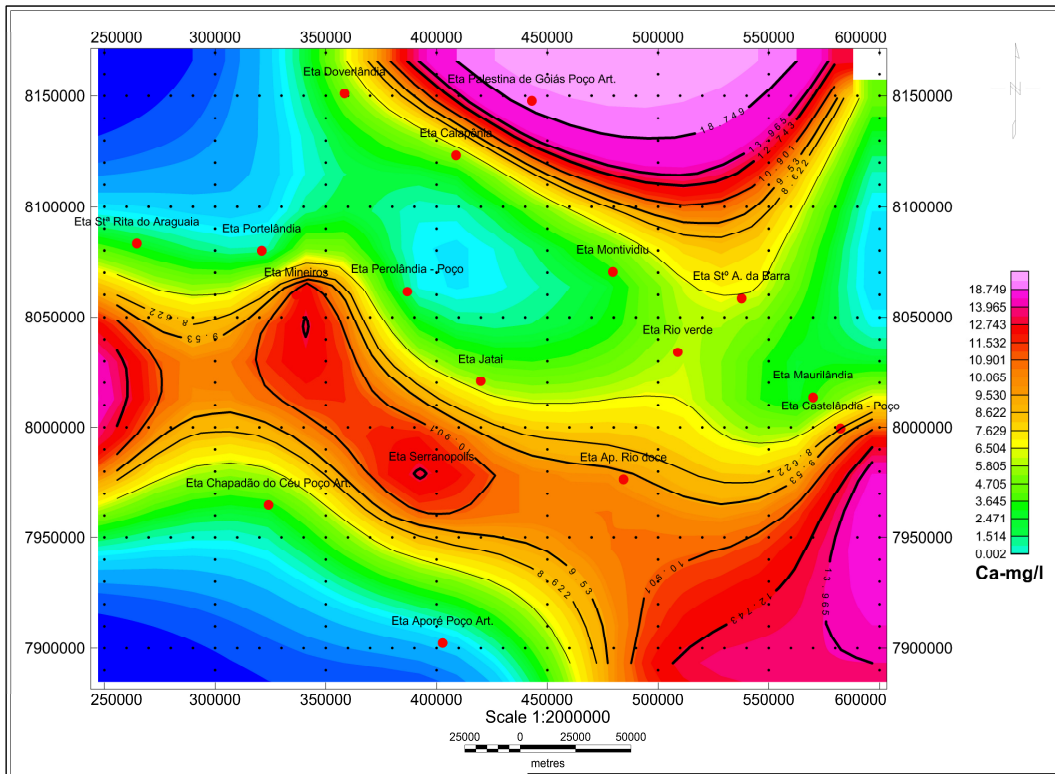


Figura 15 – Mapa de distribuição Cálcio (Ca)

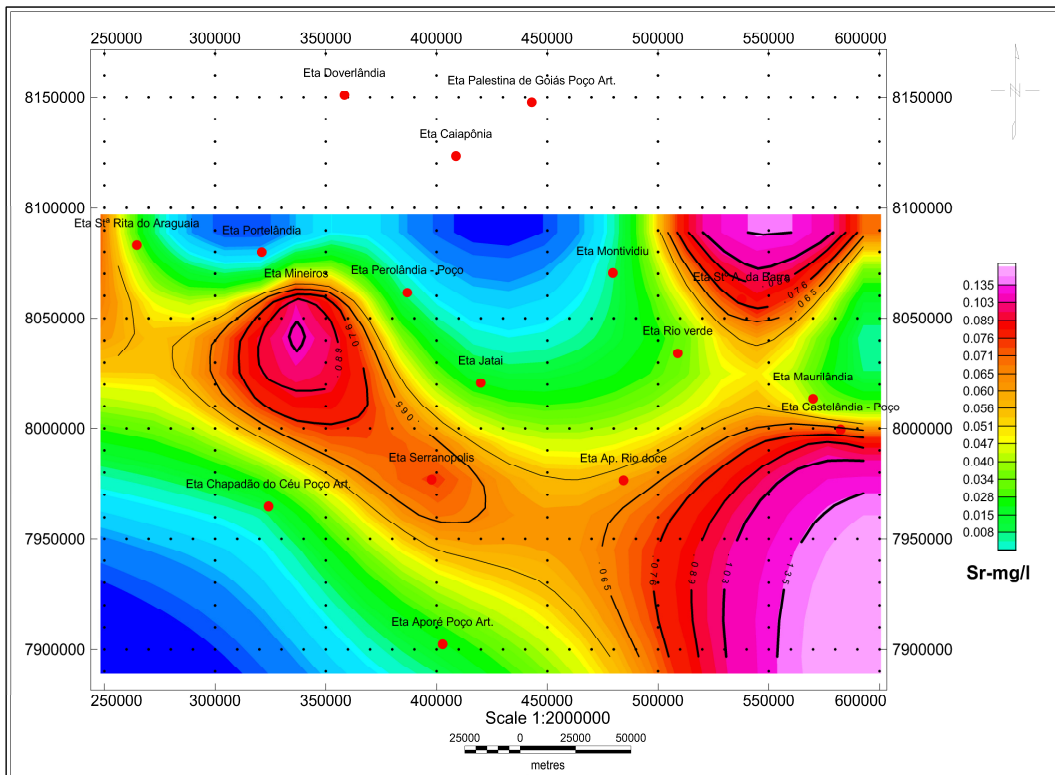


Figura 16 – Mapa de distribuição Estrôncio (Sr)

A segunda associação geoquímica, Ca – Sr (Figuras 14 e 15) assume uma tendência de distribuição dos elementos químicos nas direções SE, NE e W. A amostra JA-5201 (coletada na ETA do município de Palestina de Goiás – Poço art.) apresentou concentrações significativas de Ca (21,4 mg/L) e Sr (0,199 mg/L). Altos teores de Ca foram, também, observados no material coletado nas ETAs dos municípios de Mineiros (amostra JA-5045, com 14,40 mg/L) e Serranópolis (amostra JA-5053, com 13,5 mg/L). Em relação ao Sr, vê-se que as amostras coletadas nas ETAs de Mineiros (JA-5045, com 0,099 mg/L), Castelândia (amostra JA-5054, com 0,089), St° A. da Barra (PR-5067, com 0,087 mg/L) e Serranópolis (JA-5053, com 0,076 mg/L) caracterizaram-se por exibir os níveis mais elevados deste elemento químico em toda região sudoeste do Estado de Goiás. O exame destes dados evidenciou um risco severo ao qual toda comunidade habitante da área está sujeita uma vez que a ingestão intermitente de quantidades variáveis destes elementos químicos promove, em contrapartida, sérios efeitos à saúde humana (Tabela 10).

Tabela 10 – Municípios de Palestina de Goiás, Mineiros, Serranópolis, Castelândia e St° A. da Barra. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.

<b>DOENÇAS</b>	<b>Palestina de Goiás</b>	<b>Mineiros</b>	<b>Serranópolis</b>	<b>Castelândia</b>	<b>St° A. da Barra</b>
Neoplasias (tumores)	-	5	1	1	2
Doenças endócr., metaból. e nutricionais	-	-	2	-	-
Doenças do sist. nervoso	-	-	-	-	1
Doenças do aparelho circulatório	-	11	3	-	-
Doenças do aparelho digestivo	-	-	-	1	2
Doenças do aparelho respiratório	-	6	1	2	1
Doenças do aparelho geniturinário	-	2	-	-	-
Lesões por envenenamento	-	3	-	-	1
Más form. cong., deformid. e anom. cromos.	-	-	1	-	-

Fonte: Ministério da Saúde – Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS)/ 2005.

O cálcio (Ca), é um elemento químico essencial ao ser humano. Encontrado principalmente nos ossos, dentes, tecidos e em fluidos corporais; tem presença ativa no controle dos impulsos nervosos, ação muscular, coagulação do sangue e na permeabilidade celular. Sua deficiência no organismo pode provocar raquitismo, falhas no mecanismo de coagulação sanguínea, distúrbios nervosos e convulsões musculares (CORTECCI, 2003).

Segundo Bigazzi (1996), a ingestão de vitamina D estimula a reabsorção de cálcio nos ossos. Contudo, o excesso de cálcio no organismo é deveras prejudicial à saúde, podendo provocar calcificações excessivas nos ossos (poliartroses) e rins (litíase renal).

Como metal, o estrôncio (Sr) não possui aplicações diretas em qualquer atividade desenvolvida pelo ser humano. No entanto, seus compostos podem ser usados comercialmente (como é o caso do carbonato e do óxido de estrôncio, usados na indústria açucareira para recobrir as melaças, ou ainda do nitrato de estrôncio, usado em pirotecnia). O sulfeto de estrôncio é usado como depilatório e em tintas luminescentes (devido às suas propriedades específicas) (ECRR, 2004).

Os valores obtidos a partir da análise das amostras, apesar de não representarem riscos imediatos às comunidades locais, merecem uma avaliação futura no sentido de identificar as reais causas de contaminação das águas: se natural ou antrópica.

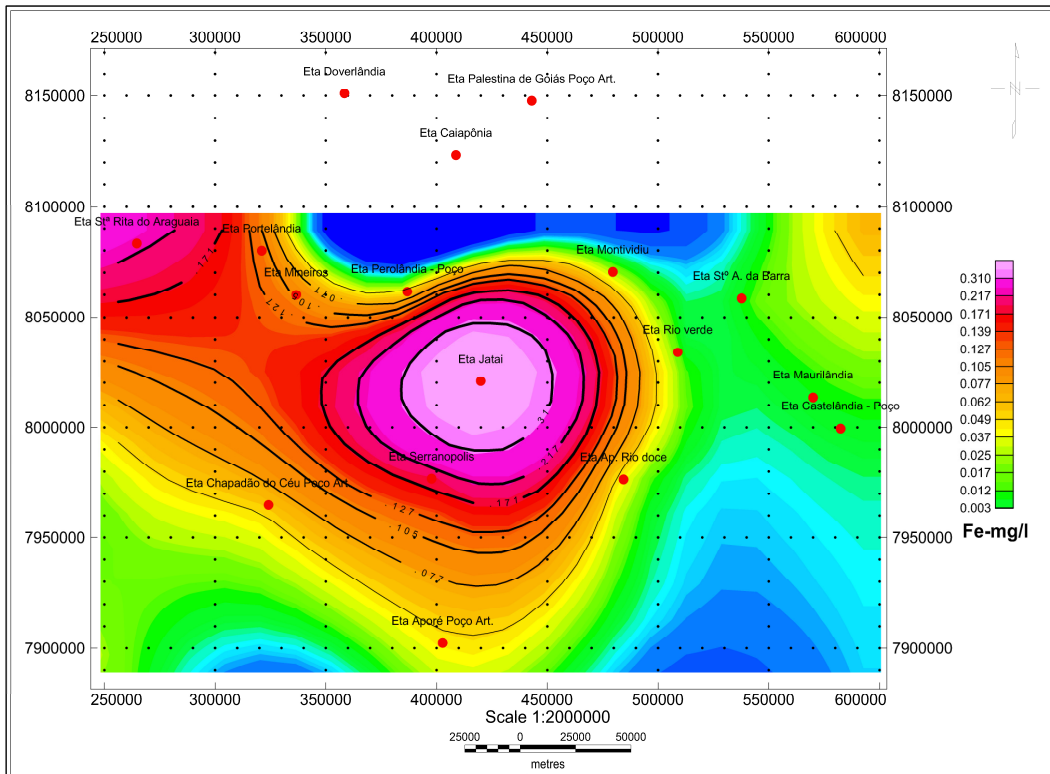
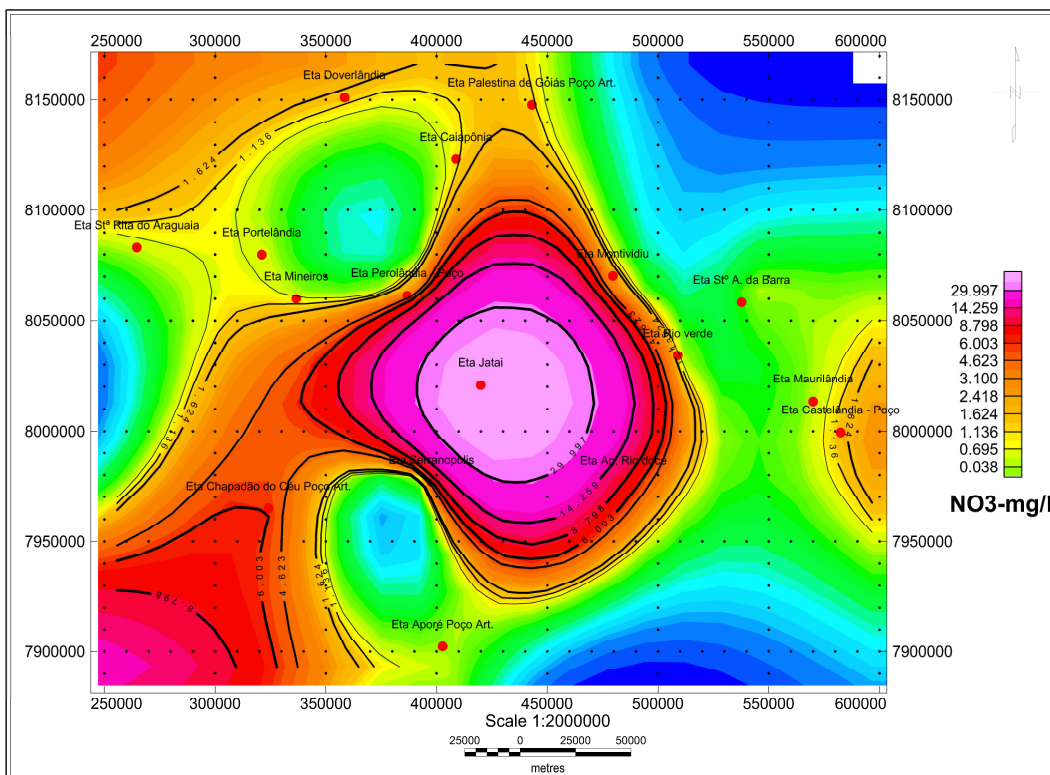


Figura 17 – Mapa de distribuição Ferro (Fe)

Figura 18 – Mapa de distribuição Nitrato (NO<sub>3</sub>)

A terceira associação geoquímica, Fe – NO<sub>3</sub> (Figuras 16 e 17) assume uma tendência de distribuição dos elementos químicos na região central, NW e SW. A amostra PR-5062 (coletada na ETA do município de Jataí) apresentou concentrações significativas (valores de 1ª ordem) das referidas substâncias químicas.

No que diz respeito à legislação pertinente (PORTARIA n° 518 do MINISTÉRIO da SAÚDE), as amostras revelaram valores muito acima dos níveis tolerados: 0,572 mg/L (Fe) e 83,5 mg/L (NO<sub>3</sub>) – evidenciando um risco premente ao qual toda população habitante da área está submetida uma vez que a ingestão duradoura de quantidades anormais destes elementos químicos gera, em contrapartida, sérios efeitos adversos a saúde humana. Cabe ressaltar a existência de valores anômalos (2ª ordem) de NO<sub>3</sub> nas amostras coletadas nos municípios de Ap. do Rio Doce (JA-5035, com 7,0 mg/L) e Chapadão do Céu (JA-5044, com 6,2 mg/L). Mediante o estudo mais apurado destas informações, é possível extrapolar que, caso toda população habitante da área ingira, por um longo período de tempo, quantidades elevadas destes elementos químicos, existe a possibilidade de que os mesmos sejam acometidos por uma série de males – os quais, dependendo do grau de intensidade, podem levar à morte (Tabela 11).

Tabela 11 – Municípios de Jataí, Ap. do Rio Doce e Chapadão do Céu. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.

DOENÇAS	Jataí	Ap. do Rio Doce	Chapadão do Céu
Neoplasias (tumores)	19	-	-
Doenças de sang., órgãos, hemat. e transt. Imunit.	1	-	-
Doenças endócr., metaból. e nutricionais	4	-	-
Transt. Mentais e comportamentais	1	-	-
Doenças do sist. nervoso	1	-	-
Doenças do aparelho circulatório	40	2	3
Doenças do aparelho digestivo	8	1	-
Doenças do aparelho respiratório	32	2	-
Doenças do aparelho geniturinário	3	-	-
Doenças do sist. osteomusc. e tecido conjuntivo	5	-	-
Lesões por envenenamento	8	-	1
Más form. cong., deformid. e anom. cromos.	-	-	1

Fonte: Ministério da Saúde – Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS)/ 2005.

O ferro (Fe) é um dos metais encontrados em maior quantidade na natureza, sendo o quarto elemento químico mais abundante na crosta terrestre. Tendo seus valores de oxidação variando de -2 à +6, vê-se que sua ligação a

compostos biológicos obedece a um padrão determinado: o ferro III costuma ligar-se ao oxigênio, ao passo que o ferro II procura unir-se ao nitrogênio e enxofre (LINDH, 2005).

O ferro tem papel de suma relevância no processo metabólico da respiração pulmonar e celular fornecendo energia ao corpo para as mais diversas atividades vitais por meio da combustão e transporte do oxigênio pela hemoglobina (pigmento vermelho do sangue, presente nas hemácias). Nos animais, são encontradas várias classes de proteínas (mioglobina e citocromos), em cujas composições está presente sua molécula (LINDH, 2005). Além disso, o ferro atua, na maioria dos organismos, como co-fator na produção de enzimas (flavoproteínas e hemoglavoproteínas), na síntese de DNA e na transferência de elétrons (POWELL, 2002).

Sua carência (ou excesso) no organismo humano é responsável pelo desenvolvimento e progressão de várias condições patológicas (anemia ferropriva, baixa imunidade, deficiência respiratória, predisposição a infecções e, em alguns casos, carcinogênese). Ovos, carnes, farinha integral, folhas verdes escuras e farelo de arroz são, em geral, alimentos ricos em ferro (BIGAZZI, 1996).

Em termos de toxicidade, o depósito crônico de ferro geralmente está relacionado à hemocromatose hereditária (doença desenvolvida a partir do consumo excessivo de ferro através da dieta ou de freqüentes transfusões sangüíneas – requeridas para o tratamento de alguns tipos de anemias) (POWELL, 2002).

O nitrato ( $\text{NO}_3$ ) é um dos íons com mais baixos teores nas águas superficiais – podendo atingir altas concentrações em águas profundas. Seu consumo, através das águas de abastecimento, está associado a dois efeitos adversos à saúde: a indução à metemoglobinemia e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (APHA, 1992).

As nitrosaminas e nitrosamidas (produtos da reação de redução bacteriana do nitrato) estão relacionadas ao aparecimento de tumores em animais de laboratório (BOUCHARD, 1992). O aumento da contaminação das águas por compostos nitrogenados vem, cada vez mais, merecendo atenção especial devido a sua ampla e diversificada procedência (MATO, 1996).



O desenvolvimento da metemoglobinemia a partir do nitrato nas águas potáveis depende da sua conversão bacteriana para nitrito durante a digestão – o que pode ocorrer na saliva e no trato gastrointestinal (MATO, 1996). O pH ótimo para a reação de nitrosaminação está entre 2,5 e 3,5 – faixa semelhante à encontrada no estômago humano após a ingestão de alimentos (AWWA, 1990). Crianças pequenas, principalmente as menores de três meses de idade, são bastante susceptíveis ao desenvolvimento desta doença devido às condições mais alcalinas do seu trato gastrointestinal – fato também observado em pessoas adultas que apresentam gastroenterites, anemia, porções do estômago cirurgicamente removidas e mulheres grávidas (OLIVEIRA, 1987).

Os valores obtidos a partir da análise das amostras JA-5035 (ETA Ap. do Rio Doce) e JA-5044 (ETA Chapadão do Céu – Poço art.), apesar de não representarem riscos imediatos às comunidades locais, merecem uma avaliação futura no sentido de identificar as reais causas de contaminação das águas: se natural ou antrópica.

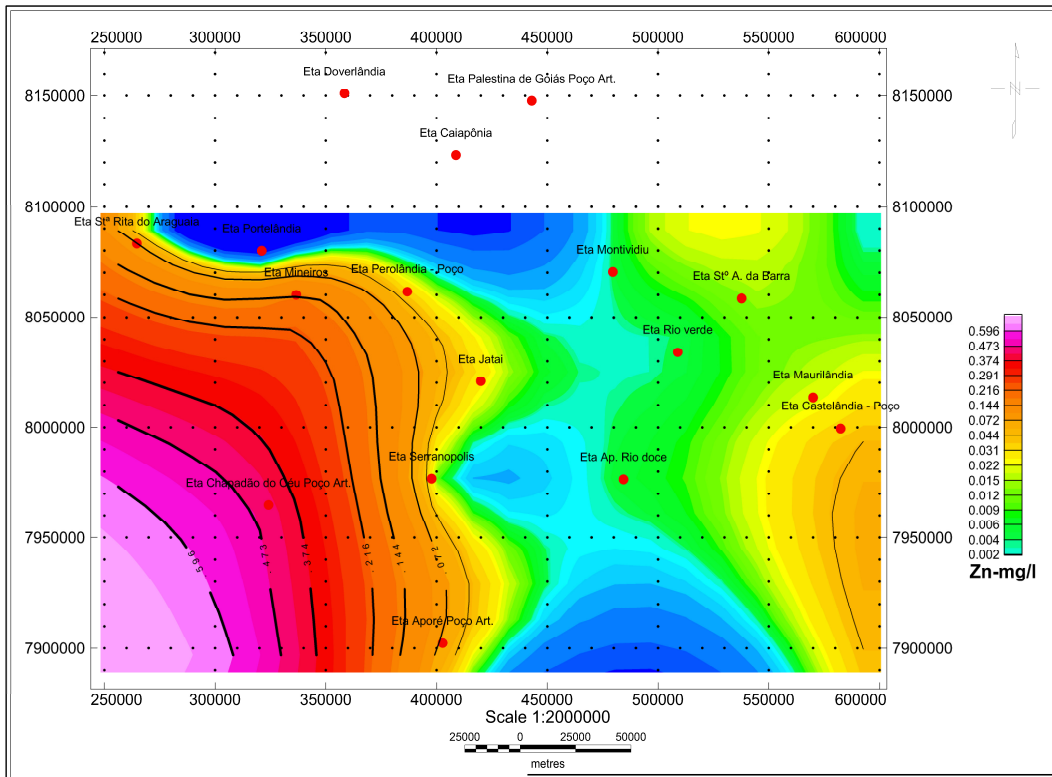


Figura 19 – Mapa de distribuição Zinco (Zn)

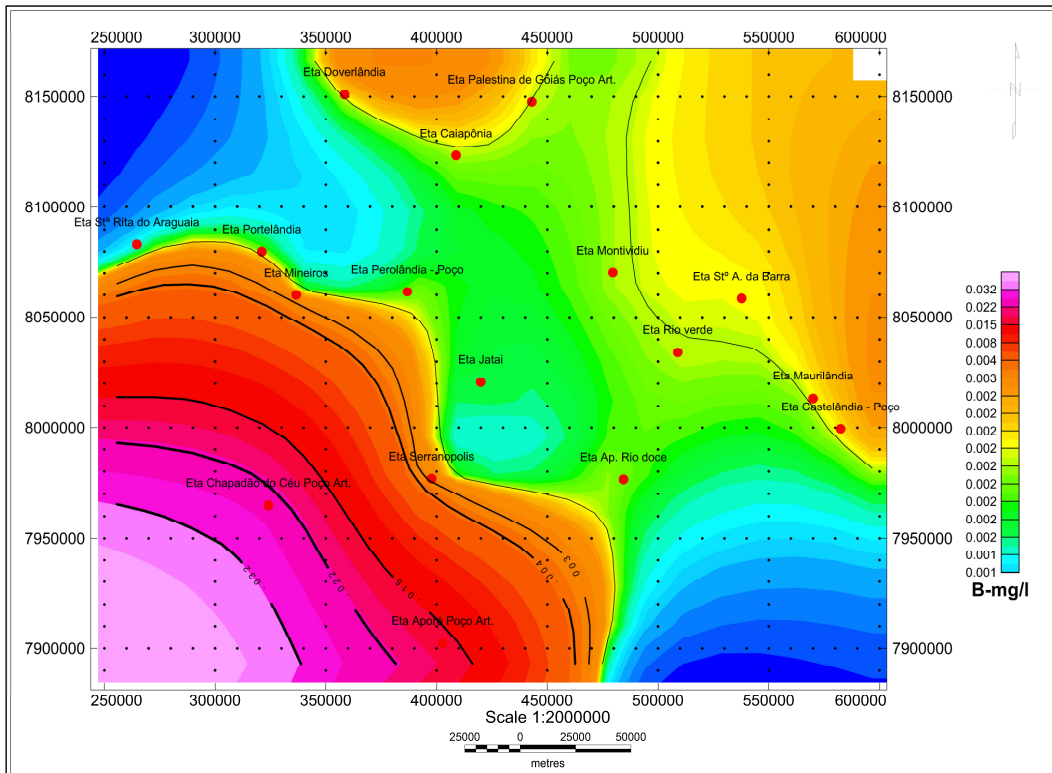


Figura 20 – Mapa de distribuição Boro (Bo)

A quarta associação geoquímica, B – Zn (Figuras 18 e 19) assume uma tendência de distribuição dos elementos químicos no sentido SW. A amostra JA-5044 (coletada na ETA do município de Chapadão do Céu – Poço art.) apresentou concentrações significativas (valores de 1ª ordem) de Zn (0,446 mg/L) e B (0,025 mg/L). Os dados levantados mostram, ainda, valores significativos (3ª ordem – 0,014 mg/L) de B obtidos a partir da análise da amostra coletada na ETA do município de Aporé (Poço art.). A análise conspícua destes dados evidenciou um risco premente ao qual toda população habitante da área está submetida uma vez que a ingestão duradoura de quantidades variáveis destes elementos químicos gera, em contrapartida, sérios efeitos colaterais a saúde humana (Tabela 12).

Tabela 12 – Municípios de Chapadão do Céu e Aporé. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.

DOENÇAS	Chapadão do Céu	Aporé
Doenças endócr., metaból. e nutricionais	-	1
Doenças do aparelho circulatório	3	-
Lesões por envenenamento	1	1
Más form. cong., deformid. e anom. cromos.	1	1

Fonte: Ministério da Saúde – Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS)/ 2005.

No que diz respeito à legislação pertinente (PORTARIA n° 518 do MINISTÉRIO da SAÚDE), uma análise conspícua destes dados evidenciou um risco premente ao qual toda população habitante da área está submetida uma vez que a ingestão duradoura de quantidades anormais destes elementos químicos gera, em contrapartida, sérios efeitos colaterais a saúde.

O boro (B) elementar não é significativamente tóxico. No entanto, quando se faz presente sob a forma de pó muito fino, torna-se duro e abrasivo (podendo causar indiretamente problemas de pele – desde que esfregada depois de estar em contato com o mesmo). Ao ser acumulado no corpo (através da absorção, ingestão ou inalação dos seus compostos), nota-se sua atuação sobre o sistema nervoso central – causando sintomas que vão desde uma hipotensão até vômitos, diarreia e, em casos extremos, coma (CORTECCI, 2003).

O zinco (Zn) desempenha um papel fundamental na constituição e manutenção da vida por estar envolvido em diferentes tarefas – desde a manutenção da estabilidade genética, estruturação da cromatina, replicação do DNA, transcrição do RNA até a composição de tecidos e órgãos (LINDH, 2005).

A carência de zinco na alimentação pode desencadear um grande número de moléstias que vão desde distúrbios de crescimento em crianças e adolescentes, cicatrização lenta de feridas, imaturidade sexual, má formação congênita, diminuição do sabor dos alimentos, dificuldade de absorção intestinal, anemia, erupções cutâneas até o aparecimento de sulco transversal nas unhas (AHN, 1995). A inalação do óxido de zinco pode, em longo prazo, provocar sérias lesões no fígado e no sistema respiratório (CORTECCI, 2003).

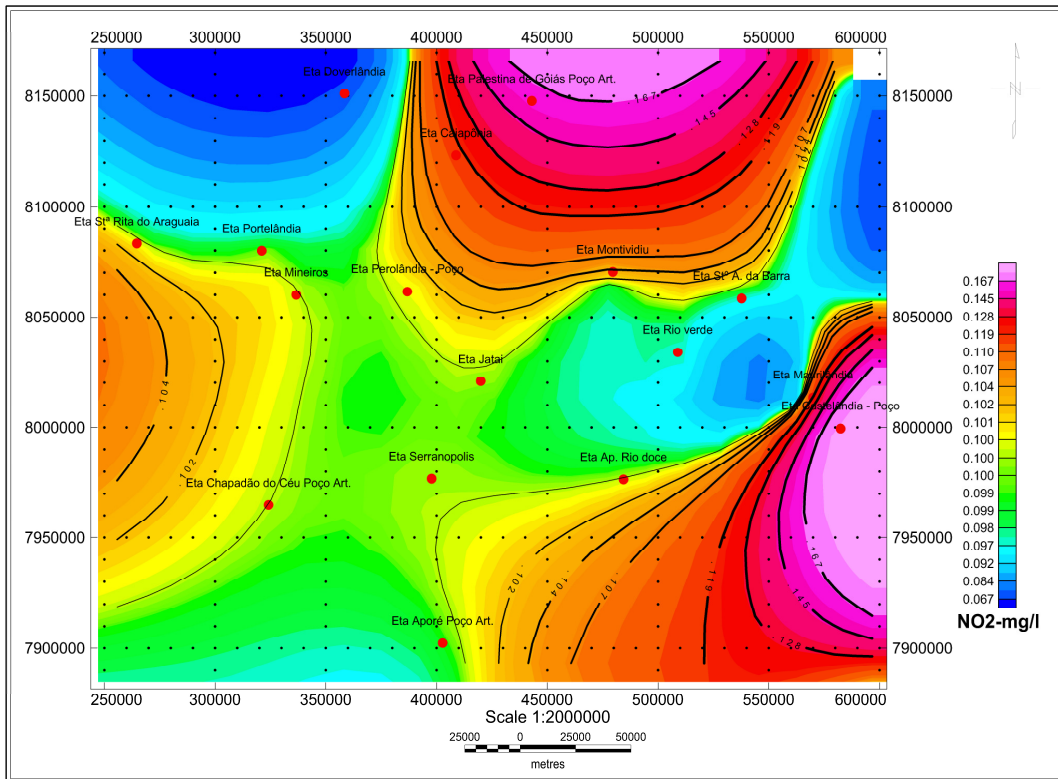


Figura 21 – Mapa de distribuição Nitrito (NO<sub>2</sub>)

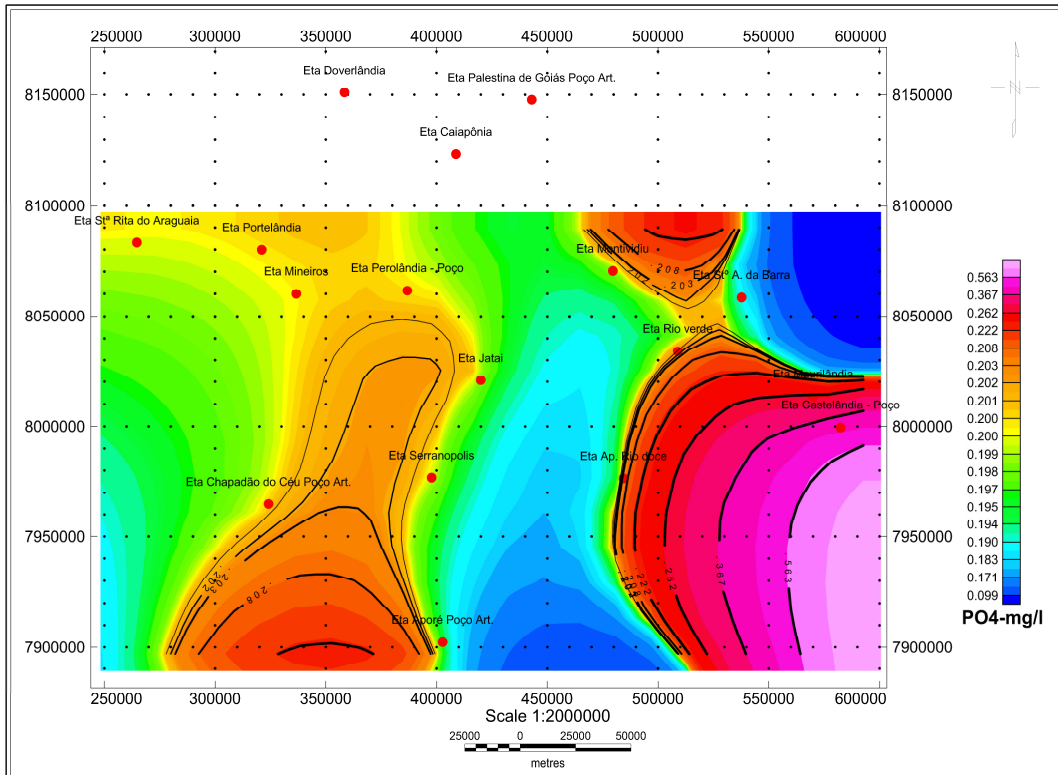


Figura 22 – Mapa de distribuição Fosfato (PO<sub>4</sub>)

A quinta associação, NO<sub>2</sub> – PO<sub>4</sub> (Figuras 20 e 21) assume uma tendência de distribuição dos elementos químicos nas regiões SE, NE e N. A amostra JA-5054 (coletada na ETA do município de Castelândia – Poço) embora dentro dos limites da legislação em vigor, revelou valores significativos (1ª ordem) dos já supracitados compostos químicos (0,2 mg/L de NO<sub>2</sub> e 0,5 mg/L de PO<sub>4</sub>). Os valores obtidos, apesar de não representarem riscos imediatos à comunidade local, merecem uma avaliação futura no sentido de se identificar a real origem dos males que acometem esta comunidade (Tabela 13).

Tabela 13 – Município de Castelândia. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.

DOENÇAS	Castelândia
Neoplasias (tumores)	1
Doenças do aparelho digestivo	1
Doenças do aparelho respiratório	2

Fonte: Ministério da Saúde – Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS)/ 2005.

A ingestão duradoura de nitrito (NO<sub>2</sub>), principalmente quando o mesmo se encontra presente na água de consumo, pode ocasionar metemoglobinemia. Aliado a isto, as nitrosaminas e nitrosamidas (produtos da reação entre o nitrito ingerido ou formado pela redução bacteriana do nitrato) estão conjuntamente relacionadas ao desenvolvimento de vários tipos de tumores.

Apesar de seu consumo na dieta ser variável, 70% de todo fósforo ingerido por um humano adulto são absorvidos pelo trato gastrintestinal e excretados pelos rins. Em indivíduos portadores de insuficiência renal crônica, o sistema para manutenção do balanço de fósforo é rompido pela perda de néfrons. Conforme o ritmo de filtração glomerular cai, há uma adaptação renal caracterizada por um declínio em sua reabsorção tubular (causando fosfatúria). Para além de certo limite, a elevação nos níveis de paratormônio não consegue controlar a fosfatúria (gerando a hiperfosfatemia) (SLATOPOLSKY, 1993). Além disso, o hiperparatireoidismo secundário (decorrente do não tratamento da fosfatúria) pode levar a significativa morbidade devido à dor, risco aumentado de fraturas, deformidades ósseas e anemia (RAO, 1993).

Em contrapartida, estudos recentes têm sugerido que alterações drásticas na ingestão, e no conseqüente armazenamento de fosfato ( $\text{PO}_4$ ) pelo organismo, contribuem para o desenvolvimento de hipertensão, doença vascular, prurido e disfunção sexual (MASSRY, 1988). Nesse sentido, o aumento da contaminação das águas por compostos nitrogenados e fosfáticos vem, cada vez mais, merecendo atenção especial dos órgãos e entidades municipais, estaduais e federais relacionados à saúde pública.

### **5.1 Análise Integrada dos Resultados**

A análise integrada dos resultados das amostras de água coletadas nas ETAs dos 18 municípios que compõem a microrregião sudoeste do Estado de Goiás tem por finalidade exibir os resultados obtidos no estudo e discussão das interpretações dos mapas geoquímicos. Para um melhor esclarecimento dos dados foi nomeada uma relação dos municípios (Tabela 14) que se destacaram por apresentar elementos e compostos químicos com concentrações acima dos valores máximos permitidos por legislação federal (PORTARIA n° 518 do MINISTÉRIO da SAÚDE).

Acredita-se que a presença de altas concentrações (valores de 1ª ordem) dos elementos químicos Fe,  $\text{NO}_3$  e Pb nos municípios de Jataí e Chapadão do Céu possam estar relacionados à ação humana. Encontrando-se fortemente impactados, já se observa nestes municípios que a prática da agricultura intensiva e irrigada por pivô central vem promovendo conflitos pelo uso d'água (com atividades de desmatamento, contaminação por poluentes domésticos, instalação de processos erosivos e ocupação desordenada das áreas urbanas). O abastecimento público e privado de água (realizado principalmente por derivação de mananciais superficiais) vem sendo prejudicado devido à intensa atividade agropecuária (representada por pastagens plantadas, lavouras de soja, milho, algodão, girassol e cana-de-açúcar) provocando a contaminação do meio aquático pelo lançamento de grandes quantidades de insumos e defensivos agrícolas – a exemplo dos níveis de  $\text{NO}_3$  (83,5 mg/L) e Fe (0,572 mg/L) medidos na ETA do município de Jataí.

Tabela 14 – Valores anômalos de 1ª (vermelha), 2ª (azul) e 3ª (verde) ordens dos elementos e compostos químicos dosados em amostras d'água coletadas nas ETAs dos municípios de Ap. do Rio Doce, Aporé, Caiapônia, Castelândia, Chapadão do Céu - Poço art., Doverlândia, Jataí, Maurilândia, Mineiros, Palestina de Goiás, Portelândia, Rio Verde, Stª Rita do Araguaia, Stº A. da Barra e Serranópolis (agosto, 2005) segundo níveis e limites de concentrações (mg/L).

AMOSTRA	MUNICÍPIO	Al	B	Ba	Ca	Fe	Li	Mg	Mn
PR-5035	ETA Ap. Rio Doce							3,24	
JA-5043	ETA Aporé - Poço art.		0,014	0,135					
JA-5054	ETA Castelândia – Poço							3,12	
JA-5044	ETA Chapadão do Céu - Poço art.		0,025						
JA-5204	ETA Doverlândia								0,008
PR-5062	ETA Jataí	0,2				0,572			0,011
JA-5045	ETA Mineiros	0,2			14,40				0,012
JA-5201	ETA Palestina de Goiás - Poço art.				21,4		0,004	11,00	
JA-5047	ETA Portelândia								0,008
PR-5067	ETA Stº A. da Barra							2,95	
JA-5053	ETA Serranópolis				13,5				

AMOSTRA	MUNICÍPIO	Pb	Sr	Zn	F	Cl	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>
PR-5035	ETA AP. Rio Doce							7,0		
JA-5202	ETA Caiapônia				0,80	1,80				
JA-5054	ETA Castelândia – Poço		0,089				0,2		0,5	
JA-5044	ETA Chapadão do Céu - Poço art.	0,160		0,446		1,84		6,2		
JA-5204	ETA Doverlândia									9,36
PR-5062	ETA Jataí					1,64		83,5		
JA-5056	ETA Maurilândia				0,76					
JA-5045	ETA Mineiros	0,061	0,099							
JA-5201	ETA Palestina de Goiás - Poço art.		0,199			2,10				5,36
PR-5064	ETA Rio Verde									6,0
JA-5050	ETA Stª Rita do Araguaia				0,70					
PR-5067	ETA Stº A. da Barra		0,087							
JA-5053	ETA Serranópolis		0,076							

\* Análises realizadas no Laboratório de Espectroscopia Atômica da UCB.



No município de Chapadão do Céu, a partir da análise dos dados obtidos, pode-se concluir que as fontes de contaminação das águas subterrâneas – Pb (0,160 mg/L) e Zn (0,446 mg/L) – estão diretamente associadas a despejos domésticos, industriais e ao chorume oriundo de aterros de lixo inadequados. Além de promover a mobilização de metais naturalmente contidos no solo (como alumínio, ferro e manganês), tais focos contaminantes são também potenciais fontes de nitrato e substâncias orgânicas extremamente tóxicas ao homem e ao meio ambiente. Neste município, a partir da análise dos dados obtidos, pode-se concluir que as fontes de contaminação das águas subterrâneas – Pb (0,160 mg/L) e Zn (0,446 mg/L) – estão diretamente associadas a despejos domésticos, industriais e ao chorume oriundo de aterros de lixo inadequados. Além de promover a mobilização de metais naturalmente contidos no solo (como alumínio, ferro e manganês), tais focos contaminantes são também potenciais fontes de nitrato e substâncias orgânicas extremamente tóxicas ao homem e ao meio ambiente.

Dados extremamente relevantes, relacionados à demografia (Tabela 4) e à saúde pública (Tabela 5), merecem especial atenção. Quando examinadas as informações relativas à densidade demográfica, número de hospitais e o percentual de mortalidade infantil constatou-se um aumento expressivo na taxa de morbidade infantil daqueles municípios (Aporé, Doverlândia, Perolândia e Serranópolis) que apresentaram, simultaneamente, uma baixa densidade demográfica e um número reduzido de hospitais. Aliado a isto, a inexistência de uma rede coletora de esgoto nestes mesmos municípios pode estar arrolada à aparição das já supracitadas anomalias geoquímicas no sistema de distribuição de água tratada.

Nestas localidades encontra-se também instalada uma grande quantidade de parques industriais responsáveis pela disposição de efluentes contendo metais pesados em fontes hídricas. Além disso, a natureza geoquímica dos solos, rochas e relevo são importantes fatores causais de poluição por metais, particularmente em fontes de águas subterrâneas. Metais pesados em ambientes aquáticos persistem por mais tempo que poluentes e percolam da superfície para a camada subterrânea (PATHAK et al., 1994).

A presença de Fe, Pb e  $\text{NO}_3$  no sistema de distribuição de água destes municípios pode ter, também, sua origem associada ao próprio sistema

(principalmente por meio de corrosão química ou microbiológica) ou à água que entra nas estações de tratamento – onde principalmente o alumínio e o ferro formam compostos utilizados no processo de coagulação (cujo objetivo é a remoção de partículas em suspensão na água que afluí para a estação de tratamento).

Existe, ainda, a possibilidade de que a ação conjunta dos diversos elementos constituintes do clima (como a temperatura do ar, a precipitação pluvial, a insolação e a evaporação), aliada à composição dos tipos de vegetação exercerem grande influência no arranjo dos recursos hídricos disponíveis em cada região estudada na medida em que condicionam características importantes para as águas (sejam elas subterrâneas ou superficiais). Nesse sentido, a manutenção da qualidade das águas de abastecimento público deve ser vista não apenas como o resultado da atuação antrópica, mas também como uma importante variante de todo um conjunto hidrogeológico/geomorfológico.

Uma vez dissolvidos, metais na água são absorvidos pelo organismo humano através do trato gastrointestinal. Esta absorção pode ser afetada pelo pH, pelas taxas de movimentação no trato digestivo e pela presença de outros materiais. Combinações particulares desses fatores podem contribuir para fazer a absorção de metais ser muito alta ou muito baixa. Os efeitos tóxicos dos metais podem expressar-se de forma aguda ou crônica. Dentre os mecanismos de toxicidade mais freqüentes estão incluídas as interações com sistemas enzimáticos, membranas celulares e efeitos específicos sobre certos órgãos e o metabolismo celular em geral (GOYER, 1986).

A contribuição de metais e seus íons na poluição ambiental preocupam principalmente em razão de seus efeitos fisiológicos – mesmo a baixas concentrações. Em alguns casos, os efeitos no comportamento e no sistema nervoso são difíceis de serem detectados no seu estágio inicial. Sendo as concentrações ambientais muito baixas, algumas fontes podem se tornar importantes. Por exemplo, ainda que a quantidade de metais no carvão e no óleo seja pequena, a massa destes materiais (sendo queimada) resulta em quantidades muito grandes de substâncias tóxicas (mercúrio, cádmio, selênio, entre outras) liberadas para o meio ambiente (PORTO, 1991).

Ressalta-se a importância deste estudo como um instrumento no estabelecimento de prioridades e estratégias para melhorar a política de saúde das regionais analisadas. O presente trabalho propõe a educação continuada, a divulgação das informações utilizando geoprocessamento, à incorporação de novos recursos tecnológicos/humanos/logísticos e o desenvolvimento de uma política de captação de recursos financeiros e materiais para a efetiva descentralização das ações de saúde no Estado de Goiás.

Se gerados de forma regular e dinâmica, os indicadores geoquímicos constituem uma ferramenta fundamental na gestão e avaliação da situação de saúde fornecendo instrumentos de aprimoramento para o planejamento e alocação de recursos de maneira a permitir a definição de prioridades de intervenção coerentes com as necessidades da população – em todos os níveis de atendimento e assistência.

## 6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que a metodologia empregada para a obtenção, tratamento e representação dos dados, mostrou-se eficiente na espacialização da distribuição de elementos químicos e na interpretação dos relacionamentos destes com o ambiente natural e com os processos antrópicos. A compartimentação do território investigado com base nos dados geoquímicos mostrou-se coerente com o conhecimento do meio físico, das condições de uso e ocupação do solo e do stress a que está submetido o ambiente natural. A aplicação da geoquímica com uma visão sistêmica (buscando identificar os reflexos do ambiente natural e das alterações antropogênicas super-impostas), provou ser adequada como método de investigação.

É imperativo que o conhecimento de um território se utilize de investigações que busquem estabelecer as paisagens geoquímicas e as linhas de referência da abundância e carências de elementos químicos. Essa abordagem deve ter uma abrangência completa sob o ponto de vista da quantidade de elementos analisados, já que as relações entre os seres vivos e o ambiente natural ou o alterado pelo homem, devem emergir da complexidade da base de dados disponível. Além disso, a investigação combinada da cadeia composta por rocha, solo, água e ciclo biológico, deve ser realizada com base na especificação dos elementos. Investigações dessa natureza devem sempre abordar o meio físico com uma ótica sistêmica, com a interação de profissionais de diversas especialidades e com o aporte de conhecimentos, de modo a compor um quadro o mais completo possível – evitando interpretações baseadas apenas em uma especialidade.

Sugere-se enunciar algumas recomendações que subsidiem trabalhos de pesquisa que busquem investigar com maior profundidade e detalhamento alguns dos resultados obtidos:

1. Investigação geoquímica com uma maior resolução nos municípios que compõem a microrregião sudoeste do Estado de Goiás pela adoção de redes de amostragem mais densas – suportada por técnicas analíticas adequadas aos baixos teores que ocorrem nas águas de suas bacias

hidrográficas. Os resultados analíticos devem ser calibrados com os que foram aqui apresentados viabilizando compará-los e compatibilizá-los às séries de dados.

2. Investigação da distribuição dos elementos presentes na água de abastecimento público detalhando a proporção bio-disponível e a indisponível.

3. Investigação da amplitude geográfica e da intensidade da contaminação por ferro e nitrato, mais especificamente no município de Jataí, e os efeitos dessa contaminação na biota.

4. Investigação detalhada da origem hidrogeoquímica e os efeitos na saúde humana nos habitantes dos municípios de Aparecida do Rio Doce, Aporé, Castelândia, Chapadão do Céu, Doverlândia, Mineiros, Palestina de Goiás, Portelândia, Santo Antônio da Barra e Serranópolis (Tabela 15), visando determinar a conseqüência da ingestão continuada de Al, B, Ba, Ca, Li, Mg, Mn, Sr, Zn, F, Cl, NO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub> e SO<sub>4</sub> que, apesar de menores que as doses de referência, distinguem-se dos outros ambientes naturais.

5. Detalhamento epidemiológico e geoquímico dos resultados que vinculam teores elevados de Fe e NO<sub>3</sub> no município de Jataí aos resíduos de pesticidas, com as culturas de soja, milho, algodão, girassol e cana-de-açúcar e com a elevação das taxas de mortalidade por carcinogênese. Outras moléstias graves como neoplasias de pâncreas e de vesícula biliar, e má-formações congênitas (como fissura palatina e lábio leporino, mielomeningocele e anencefalia) devem ser incluídas na investigação, já que sua ocorrência pode estar relacionada ao impacto dos pesticidas.

6. Investigação do montante da acumulação dos resíduos de insumos agrícolas (pesticidas, fungicidas, fertilizantes e calcários magnesianos) e os efeitos destes na biota aquática nos municípios de Aparecida do Rio Doce, Aporé, Castelândia, Chapadão do Céu, Doverlândia, Mineiros, Palestina de Goiás, Portelândia, Santo Antônio da Barra e Serranópolis.

7. Investigação geoquímica com uma maior resolução nos municípios de Rio Verde e Santa Helena pela adoção de redes de amostragem mais densas – suportada por técnicas analíticas adequadas aos baixos teores que ocorrem nas águas de suas bacias hidrográficas. Os resultados devem ser calibrados com os aqui apresentados visando determinar a real origem das moléstias que acometem estas comunidades (Tabela 15).

Tabela 15 – Municípios de Rio Verde e Santa Helena. Aspectos relacionados à morbidade hospitalar.

<b>DOENÇAS</b>	<b>Rio Verde</b>	<b>Santa Helena</b>
Neoplasias (tumores)	19	3
Doenças de sangue, órg., hemat., e transt. Imunitárias	1	1
Doenças endócr., metaból. e nutricionais	8	6
Doenças do sist. nervoso	3	1
Doenças do aparelho circulatório	72	14
Doenças do aparelho digestivo	17	7
Doenças do aparelho respiratório	60	6
Doenças do aparelho geniturinário	17	3
Doenças do sist. osteomusc. e tec. Conjuntivo	3	1
Doenças da pele e do tec. Subcutâneo	4	-
Lesões por envenenamento	19	4

Fonte: Ministério da Saúde – Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS)/ 2005.

Enfim, as sete sugestões acima enunciadas são apenas algumas linhas de pesquisa de um grande leque de possibilidades que investigarão o relacionamento da geoquímica de superfície com diversas áreas do conhecimento tais como a exploração mineral, o monitoramento de impactos ambientais e a epidemiologia.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHN J, KOO SI. *Effects of zinc and essential fatty acid deficiencies on the lymphatic absorption of vitamin A and secretion of phospholipids*. J Nutr Biochem. 1995; 6:595-603.
2. ALMEIDA, L. de.; RESENDE, L.; RODRIGUES, A. P.; CAMPOS, J. E. G. GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. *Hidrogeologia do Estado de Goiás*. Goiânia, 2006.
3. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 17a ed. Washington, 1992. p. 4 - 75/ 4 – 93.
4. ANDERSEN T. W. *Sudden death and ischemic heart disease correlation with hardness of local water supply*. New Engl J Med 280(15). 1969. 805-807.
5. ARAÚJO, E. S. *Hidrogeoquímica no entorno de Goiânia (Rios Meia Ponte, João Leite e Santo Antonio): Um estudo comparativo da qualidade da água*. Gazeta Tecnológica, Informativo do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA-GO), Goiânia, v. 8, n. 1 p. 2-8, 2001.
6. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. 4a ed. New York, McGraw Hill, 1990.
7. BIGAZZI, P. E. *Autoimmunity induced by metals*. In: Toxicology of Metals. MA USA, CRC Press, 1996. p. 835 - 852.
8. BIORCK, G. *On the relationship between water hardness and death rate in cardiovascular diseases*. Acta Med Scand 178. 1965. 239-251.

9. BOKONBAEV, K. J.; KOSTENKO, L. S.; BOKONBAEV, S. J. *Ecological geochemistry of Kemin Mining Complex of Kyrgystan*. In : INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS (30 : 1996 : Beijing). Documents of the 30th Internat. Geol. Cong. Beijing. 1996. CD-ROM.
10. BOUCHARD, D. C.; WILLIAMS, M. K.; SURAMPALLI, R. Y. *Nitrate contamination of ground water: sources and po-tencial health effects*. *J. Am. Water Works Ass.*, 84: 85-90,1992.
11. BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Mapa Hidrogeológico do Brasil. (Escala 1:5.000.000). Brasília: DNPM/CPRM, 1983.
12. CHRISTIAN, P.; WEST K. P. Jr. *Interactions between zinc and vitamin A: an update*. *Am J Clin Nutr.* 1998; 68 (2 Suppl): 435 S - 41 S.
13. CORDANI, U. G. *A formação do geólogo brasileiro numa sociedade em transformação – a proposta da Universidade de São Paulo*. *A Terra em Revista*, Belo Horizonte. v. 3, n. 3., 1997.
14. CORTECCI, G. *Geologia e Saúde*. Tradução Wilson Scarpelli. São Paulo, 2003.
15. CRAWFORD, M. D. *Mortality and hardness of water supplies*. *Lancet* 1. 1968. 827-831.
16. CROUNSE, R. G.; PORIES, W. J.; BRAY, J. T.; MAUGER, R. L. *Geochemistry and man; health and disease; 2, Elements possibly essential, those toxic and others*. In: THORNTON, I. (ed.). *Applied environmental geochemistry*. New York : Acad. Press, 1983. p. 309-333. (Academic Press Geology series).
17. DARNLEY, A. G.; BJÖRKLUND, A.; BØLVIKEN, B.; GUSTAVSSON, N.; KOVAL, P. V.; PLANT, J.A.; STEENFELT, A.; TAUCHID, M.; XUEJING,



- X. *A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management* : Recommendations for International Geochemical Mapping. Paris : UNESCO, 1995. Final Report of IGCP Project 259.
18. DATASUS. Departamento de informática do SUS. Disponível em: < <http://www.datasus.gov.br> >. Acessado em: 10 de janeiro de 2009.
19. DISSANAYAKE, C. B. *Water quality and dental health in the dry zone of Sri Lanka*. In : ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HEALTH IN DEVELOPING COUNTRIES (1993 : London). Abstracts... London : The Geological Society, 1993. p. 12-13.
20. DUGGAN C, FAWZI W. *Micronutrients and child health: studies in international nutrition and HIV infection*. Nutr Rev. 2001; 59:358-69.
21. ECRR. Recomendaciones Del Comité Europeo sobre los Riesgos de la Radiación. *Los efectos de la exposición a radiación ionizante a bajas dosis sobre la salud co aplicaciones sobre la protección radiactiva*. AMC. Madrid, 2004.
22. GOIÂNIA. Prefeitura Municipal. *Dados Gerais da Cidade de Goiânia*. Disponível em: < <http://www.goiania.go.gov.br> >. Acessado em: 20 de dezembro de 2008.
23. IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Dados sobre Domicílios no Estado de Goiás*. Anuário Estatístico do Brasil, Goiás: IBGE, 2007.
24. GOYER, R. A. *Toxic effects of metals*. In: *Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons* (L. J. Casarett, C. D. Klaassen, K. Klaassen & J. Watkins, ed.), pp. 582 - 635, New York: Macmillan Publishing Company, 1986.

25. JIE, T.; NIANFENG, L. *Some problems of ecological environmental geology in arid and semiarid areas of China*. Environmental Geology, Berlin, v. 26, n. 1, p. 64-67, 1995.
26. LÅG, J. *General survey of geomedicine*. In : LÅG, J. Geomedicine. Boca Raton : CRC Press, 1990. p. 1-23.
27. LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Metodologia científica*. São Paulo : Ed. Atlas, 1983.
28. LATRUBESSE, E. M. *Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás*. Relatório Final. Goiânia: SIC/SGM/FUNMINERAL, 2005. 85p.
29. LICHT, O. A. B.; MORITA, M. C.; TARVAINEN, T. *A utilização de dados de prospecção geoquímica de fluorita no primeiro planalto paranense, na identificação de áreas de interesse para a saúde pública. - Uma abordagem preliminar*. Geochimica Brasiliensis, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 57-69, 1996.
30. LICHT, O. A. B. *Geoquímica Multielementar na Gestão Ambiental. Identificação e Caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil*. Curitiba: UFP, 2001. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, 2001.
31. LINDH, U. *Medical Geology: Impacts of the natural environment on public health*. Amsterdam: Elsevier, 2005. p.115 -156.
32. MASIRONI, R. *Geochemical environments, trace elements and cardiovascular disease*. Bull WHO 101(1). 1972. 139-150.
33. MASSRY S. G, GOLDSTEIN D. A. *Role of parathyroid hormone in uremic toxicity*. Kidney Int 1988; 8 (Supl): S 39 - S 42.

34. MATO, A. P. *Determinação de nitratos, nitritos e prováveis fontes de contaminação em águas de poços e sua influência na metemoglobinemia infantil*. São Paulo, 1996. [Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Saneamento Ambiental, Universidade Mackenzie].
35. MILLS, C. F. *Geochemical aspects of the aethiology of trace element-related diseases. A review of pathways of trace elements into the food chain*. In : ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HEALTH IN DEVELOPING COUNTRIES. (1993 : London). Abstracts... London : AGID : SG : SEGH, 1993. p. 30-31.
36. MOREIRA F. R.; MOREIRA J. C. *Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde*. Rev Panam Salud Pública 2004; 15: 119 - 29.
37. MORRIS, J. N. *Hardness of local water supplies and mortality from cardiovascular disease in the county boroughs of England and Wales*. Lancet 1. 1961. 860-862.
38. OLIVEIRA, J. J. V.; VALLILO, M. I.; PEDRO, N. A. R.; ZENEBON, O. *Estudo comparativo de métodos para determinação de nitrato em águas naturais*. Rev. Inst. Adolfo Lutz, 47: 25 - 30, 1987.
39. PATHAK, S. P.; KUMAR, S.; RAMTEKE, P. W.; MURTHY, R. C.; BHATTACHERJEE, J. W. & GOPAL, K. *Potability of water sources in relation to metal and bacterial contamination in some northern and northern-eastern districts of India*. Environmental Monitoring and Assessment, 1994, 33: 151 - 160.
40. PLANT, J. A.; BALDOCK, J. W.; SMITH, B. *The role of geochemistry in environmental and epidemiological studies in developing countries*. In : ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HEALTH IN DEVELOPING

- COUNTRIES. (1993 : London). Abstracts... London : AGID : SG : SEGH, 1993. p. 73-74.
41. PORTARIA N. 518 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE de 25 de março de 2004. Publicada no Diário Oficial da União n.º 59, de 26 de março de 2004, seção 1, p. 266-270.
42. PORTO, R. L. L. (Org). *Hidrologia Ambiental*. São Paulo. USP, 1991.
43. POWELL, L. W. *Diagnosis of hemochromatosis*. Semin. Gastrointest. Dis. 2002; 13 (2): 80 - 8.
44. RAMAKRISHNAN U. *Prevalence of micronutrient malnutrition worldwide*. Nutr Rev. 2002; 60 (5 Pt 2): S 46-52.
45. RAO D. S, SHIH M. S, MOHINI R. *Effect of serum parathyroid hormone and bone marrow fibrosis on the response to erythropoetin in uremia*. N Engl J Med 1993; 328:171-5.
46. RAYNAUT, C. *O desenvolvimento e as lógicas da mudança: a necessidade de uma abordagem holística*. In : RAYNAUT, C.; ZANONI, M. (ed.). Desenvolvimento e Meio ambiente. Curitiba : Ed. UFPR : GRID. n. 1. 1994. p. 81-103.
47. SAMPAIO, F. C. *Prevalência de cárie e fluorose dentária em cidades da Paraíba com teores residuais de fluoretos na água de abastecimento*. Ciência, Cultura e Saúde, João Pessoa, v. 12, n. 2, p 11-19, 1993.
48. SCHROEDER, H. A. *Trace Elements and Human*. Beijing: Science Publishing House. 1979. 27-87.
49. SCISLEWSKI, G.; ARAÚJO, V. A. (Orgs.). *Programa de Informações para Gestão Territorial*. Projeto Sudoeste de Goiás. Área Piloto de Rio Verde – GO. Goiânia: CPRM, 1998. 47 p.

50. SEPLAN – GO, 2008. Disponível em: < <http://www.seplan.go.gov.br> >. Acessado em: julho de 2008.
51. SHEN X, WU S, YAN C. *Impacts of low-level lead exposure on development of children: recent studies in China*. Clin Chim Acta 2001; 313: 217 - 20.
52. SILVA, S. C. da.; SANTANA, MN. M. P. de.; PELEGRINI, J. C. GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. *Caracterização Climática do Estado de Goiás*. Goiânia, 2006.
53. SLATOPOLSKY, E.; BRICKER, N. S. *The role of phosphorus restriction in the prevention of secondary hyperparathyroidism in chronic renal diseases*. Kidney Int 1993; 4: 141 - 5.
54. SOUZA, J. L. *Anomalias aerogamaespectrométricas (K, U e Th) na quadrícula de araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados*. Curitiba: UFPR, 1998. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória) – Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná.
55. STIGSON, B. *Sustainable business: performing against the triple bottom line*. Newsletter of the International Council on Metals and the Environment. London, v. 6, n. 3, p. 1-2, 1998.
56. TANNER R. L. *Measurements in support of air quality improvement: some historical insights*. Atm Environ 2003; 37: 1271 - 6.
57. VINOGRADOV, A. P. *The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils*. 2 ed. New York : Consult. Bureau, 1959.

58. WARREN, H. V.; DELAVault, R. E. *Pathfinding elements in geochemical prospectin*. In: CONGRESO GEOLOGICO INTERNACIONAL (20 : 1958 : Ciudad de Mexico). SIMPOSIO DE EXPLORACION GEOQUIMICA (1958 : Ciudad de Mexico). Anais ... Ciudad de Mexico, 1958. v. 1, p. 255-260.
59. WEBB, J. S. Environmental problems and the exploration geochemist. In : ELLIOT, I. L.; FLETCHER, W. K. (ed.) *Geochemical Exploration 1974*. Amsterdam : Elsevier, 1975. p 5-17. (Developments in Economic Geology, 1).
60. WIERINGA FT, DIJKHUIZEN MA, WEST CE, NORTHROP-CLEWES CA, MUHILAL. *Estimation of the effect of the acute phase response of indicators of micronutrient status in Indonesian Infants*. J Nutr.2002;132:3061-6.

**ANEXOS**

## Anexo A – Tabela de Referência, Sintomatologia e Ação dos Elementos Químicos.

Elemento Químico	Concentração Normal-USRDA	Sintomatologia	Observação
Cobre	100mg –150mg	(B): anemia; (A); complicações hepato-renais, cirrose hepática.	Uso de sulfato de cobre na agricultura
Iodo	150ug	(B): papeira, creatinismo.	Solo lixiviado. Alimentação
Fluor	0,5 mg–1,5mg	(B): não evita carie; (A): Fluorose dental, esquelética.	Rochas magmáticas
Selênio	0,04mg –0,1mg	(A): câncer, distrofia muscular, degeneração do músculo cardíaco.	Síndrome de Keshan (China)
Arsênio	10ppb–50ppb	(A): conjuntivite, queratose, tumores na bexiga, fígado e pulmões.	China, México e região de mineração.
Mercúrio		(A): tonteira, cegueira, surdez e distúrbios na fala, paralisia cerebral.	Baía de Minamata no Japão.
Cádmio		(A): amolecimento dos ossos, danos nos rins, enfisema pulmonar.	Usado em produtos industrializados, corantes.
Manganês	2mg–5mg	(A): oclusões coronárias, artrite reumatóide, alucinações.	Loucura mangânica.
Zinco	12mg–15mg	(B): perda de cabelo, inapetência, disfunções sexuais e congênia	Alimentação: carne, ovos, leite e integrais.
Chumbo		(A): encefalopatia, cancerígenos.	Gases de descargas de automóveis e gasolina.
Alumínio		(A): Doença de Alzheimer, problemas renais, distrofia óssea.	Alumínio liga ao DNA.
Cálcio	800mg –1200mg	(N): Fortalecimento dos ossos e dentes; coagulação sanguínea.	Decarconização de ligas ferrosas e não ferrosas.
Cromo	50µg –200µg	(N):Metabolismo açúcar (B)resistência a insulina (A): lesões cerebrais, mutagênico.	Produção de aço e curtimento de couros.
Ferro	10mg –15mg	(N) Constituinte da hemoglobina (B) anemia (A) ferritina	Ferramentas industriais e utensílios domésticos.
Magnésio	280mg–350mg	(N) Contração muscular e presença em enzimas.	Material refratário e fornos de ferro e aço
Molibdênio	75µg–250µg	(N) enzimas que participam das reações de óxido-redução.	Oxidação de aldeídos.
Fósforo	800mg–1200mg	(N) Saúde dos ossos e produção de energia.	Participam das reações químicas.
Potássio	2000mg–3500mg	(N) Atua nas contrações musculares e transmissão de impulsos nervosos.	
Sódio	500mg–2400mg	(N) Manutenção do equilíbrio hidrossalino e contração muscular.	Transmissão de Impulsos nervosos.
Cobalto		(N) Promove o crescimento e desenvolvimento de animais e atua nos processos biológicos.	Produção de aço, usos químicos e cerâmicos.
Níquel		(A) Alterações cardíacas, neurológicas e musculares; câncer de pulmões.	Indústria automotiva, aços inoxidáveis.
Bário		(A) Hipertensão arterial, diminuição dos reflexos nervosos e destruição do cérebro e fígado.	É usado nas indústrias, na combustão de carbono e óleos.
Boro		(A) diarreia, vômitos, hipotensão e coma.	Reduz a excreção urinária de cálcio e magnésio.
Estrôncio		(A) Mutagênico	O Estrôncio 90 é radiativo, reações nucleares e arma.
Tálio		(A) Destruição do sistema respiratório e digestivo.	Usado em veneno de rato e indústrias eletrônicas.
Titânio		(A) Tetracloreto de titânio é irritante para a pele e sistema respiratório.	Tintas domésticas e industriais e indústria automotiva.
Vanádio		(N) Contração de fibras musculares cardíacas e bomba de sódio.	Usado como aditivo de aços, indústria de cerâmica
Antimônio		(A) Destruição do sistema respiratório	Usado em placas de baterias, revestimento de cabos.
Estanho		(A) Câncer de pulmões	É adicionado ao cigarro, usado no PVC.
Césio		(A) Provoca queimaduras, vômitos, diarreia e até a morte	Altamente radiativo.

FONTE: Cortecci, 2003; Miranda, 2005.

(A): Alto nível de concentração (B): Baixo nível de concentração (N): Normal



**Anexo B – MINISTÉRIO DA SAÚDE. Fragmento da Portaria n° 518, de 25 de março de 2004, que apresenta os valores máximos permitidos de substâncias químicas presentes na água que representam risco à saúde humana.**

---

<b>Compostos Inorgânicos</b>	<b>Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde humana – Valores Máximos Permitidos* (mg/L).</b>
<b>Al</b>	0,2
<b>As</b>	0,01
<b>Ba</b>	0,7
<b>Cd</b>	0,005
<b>Cr</b>	0,05
<b>Cu</b>	2
<b>Fe</b>	0,3
<b>Mn</b>	0,1
<b>Pb</b>	0,01
<b>Se</b>	0,01
<b>Zn</b>	5,0
<b>F</b>	1,5
<b>Cl</b>	250
<b>NO<sub>2</sub></b>	1,0
<b>NO<sub>3</sub></b>	10
<b>SO<sub>4</sub></b>	250

---

\* Classe 1 – Águas Doces