



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

JOSÉ CARLOS RODRIGUES MEIRA

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A OCUPAÇÃO DO SOLO E A
QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO
AQUÍFERO GUARANI EM MINEIROS (GO).**

Goiânia
2014

JOSÉ CARLOS RODRIGUES MEIRA

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A OCUPAÇÃO DO SOLO E A
QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO
AQUÍFERO GUARANI EM MINEIROS (GO).**

Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais – Nível Doutorado (CIAMB-UFG).
Área de concentração: Estrutura e Dinâmica
Ambiental, Linha de Pesquisa: Monitoramento e
Análise de Recursos Minerais. Área Temática:
Geoquímica e Impactos Ambientais.

ORIENTADOR: Professor Dr. Leandro Gonçalves Oliveira

GOIÂNIA
2014

JOSÉ CARLOS RODRIGUES MEIRA

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A OCUPAÇÃO DO SOLO E A
QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO
AQUÍFERO GUARANI EM MINEIROS (GO).**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para a obtenção de título de Doutor em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Gonçalves Oliveira



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ATA DA DEFESA PÚBLICA DE TESE Nº 004/2014

Aos dezessete dias do mês de abril do ano de dois mil e quatorze, às 08:30 horas, reuniu-se no Centro de Documentação, Informação e Memória - CEDIM/UFG, a Banca Examinadora composta pelos: Prof. Dr. Leandro Gonçalves Oliveira - CIAMB/UFG, o Prof. Dr. Fausto Miziara - CIAMB/UFG, o Prof. Dr. Nelson Roberto Antoniosi Filho - CIAMB/UFG, a Profa. Dra. Warde Antonieta da Fonseca-Zang - IFG/GO, e o Prof. Dr. Carlos Henrique Hoff Brait - Laboratório Exata para, sob a presidência do primeiro, proceder a Defesa da Tese intitulada: **Avaliação da contaminação do sistema aquífero Guarani por insumos agrícolas no Município de Mineiros, Goiás**, de autoria de José Carlos Rodrigues Meira, discente do Programa de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB), área de concentração em Estrutura e Dinâmica Ambiental. Foi realizada a avaliação oral no sistema de apresentação e defesa de relatório de autoria do discente. Terminada a avaliação oral, a Banca Examinadora reuniu-se emitindo os seguintes pareceres mediante as justificativas e sugestões abaixo:

Membro da Banca	Parecer (Aprovado/Reprovado)	Assinatura
Dr. Leandro Gonçalves Oliveira	Aprovado	
Dr. Fausto Miziara	Aprovado	
Dr. Nelson Roberto Antoniosi Filho	Aprovado	
Dra. Warde Antonieta da Fonseca-Zang	Aprovado	
Dr. Carlos Henrique Hoff Brait	Aprovado	

JUSTIFICATIVAS e SUGESTÕES:

A Banca solicite mudança no título para "Avaliação da Relação entre a ocupação do solo e a qualidade físico-química e microbiológica do aquífero Guarani em Mineiros-GO". Além disso, o estudante fez diversas alterações apontadas pelos avaliadores.

Após a avaliação, o referido candidato foi considerado aprovado na defesa de tese. Às 12h30 horas, o Prof. Dr. Leandro Gonçalves Oliveira, Presidente da Banca Examinadora, deu por encerrada a sessão e, para constar, lavrou-se a presente Ata.

Dr. Dr. Fausto Miziara
Membro Titular

Dra. Warde Antonieta da Fonseca-Zang
Membro Titular

Dr. Nelson Roberto Antoniosi Filho
Membro Titular

Dr. Carlos Henrique Hoff Brait
Membro Titular

Prof. Dr. Leandro Gonçalves Oliveira
Presidente

Agradecimentos

Agradeço às inúmeras pessoas que, de diversas formas contribuíram com esforço, estímulo e amizade na elaboração deste trabalho.

À Universidade Federal de Goiás e ao Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, por terem tornado esse trabalho possível.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás pelo apoio fundamental para a realização dessa pesquisa.

Ao Professor Leandro Gonçalves Oliveira pela orientação e pela oportunidade ímpar de trabalhar juntos nessa jornada.

À professora Selma Simões de Castro pela preciosa orientação na primeira fase dessa pesquisa.

Ao Professor Nelson Roberto Antoniosi Filho e Elieser Viegá Wendt pela colaboração fundamental nas análises realizadas no LAMES – IQ.

Aos professores Danns Pereira Barbosa, Marcus Vinícius Ramos, Ítalo Lacerda Fernandes, Karla Maria Silva de Faria, Elizon Dias Nunes, Giovanni Bárbara Nunes, Paulo de Tarso Ferreira Sales pela colaboração fundamental nas pesquisas.

Ao professor Alfredo Borges de Campos pela orientação e Lindolfo Caetano Pereira Júnior pela colaboração no artigo de oficinas.

A minha esposa Eliane Meira e a minha filha Thaíssa Meira pela ternura e compreensão durante essa longa caminhada.

RESUMO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é uma das mais importantes reservas de água subterrânea do planeta. Situado na América do Sul, nas Bacias do Paraná e Chaco, tem cerca de 70% de sua área de ocorrência no Brasil. Desse total, uma parte situa-se no Estado de Goiás, sendo bastante explorado no município de Mineiros, onde domina sua porção sul. No município de Mineiros predomina o tipo aquífero livre. Economicamente a agroindústria e a agropecuária dominam no município, caracterizando-se pelo uso de grande quantidade de insumos agrícolas, gerando potencial de contaminação, sobretudo nas áreas de recarga. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a relação entre a ocupação do solo e qualidade físico-química e microbiológica do Aquífero Guarani em Mineiros-Goiás. A vulnerabilidade à contaminação foi avaliada através do método GOD, que permitiu identificar as classes: baixa, moderada e alta. Determinou-se que 27,34% da área possui vulnerabilidade alta; 69,20% moderada e 3,46% baixa. Por outro lado, a classificação das fontes potenciais de contaminação antrópica, foi realizada através do método POSH. Nesse método verificou-se que 43% da área não possui potencial contaminante, 44,72% apresenta potencial moderado e 12% elevado potencial contaminante. Também, foram evidenciados nove agrupamentos de extremo perigo à contaminação com área total de 104,93 km² correspondente a 4,03% da área de estudo e 21,9% da área possui alto perigo de contaminação. Quanto ao uso do solo os resultados revelaram que um pouco mais de 22% da área foram convertidas à agropecuária, com ligeiro predomínio da agricultura sobre a pecuária. Entretanto, houve mudanças relevantes em termos de ambiente na área quanto às classes agricultura e remanescentes no período 2005/2010. Os dados relativos à classe agricultura indicaram aumento de 142 mil hectares de área plantada, no entanto, houve redução significativamente para a área remanescentes, perda de 114 mil hectares, ou seja, cerca de 20% de redução. Já, quanto aos fertilizantes, estima-se que no período de 2000 a 2010 tenham sido utilizadas cerca de 395.000 toneladas. Quanto aos teores das concentrações de compostos nitrogenados (N-amoniaco, N-nitrito e N-nitrato), fósforo e potássio, os resultados mostraram que na primeira amostragem, em cerca 25% dos poços, detectou a presença de N-amoniaco, e 53% apresentaram N-nitrato. Quanto ao N-nitrito e fósforo não encontrou nenhum desses compostos. Na segunda amostragem não foi detectada a presença de N-amoniaco e nem N-nitrito. Já quanto ao N-nitrato, em 56% da amostragem detectou a sua presença. Não obstante das características dos terrenos da área de estudo e do histórico do uso de suas terras, as concentrações encontradas estavam bem abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação. Na pesquisa quanto ao consumo humano e a dessedentação de animais, destacaram-se os parâmetros pH e coliformes termotolerantes. Quanto ao pH, cerca de 90% da amostragem foram consideradas impróprias para o consumo humano de acordo com a Portaria MS/2011. Quanto às análises microbiológicas para coliformes termotolerantes, 20% da amostragem estavam em desacordo para o consumo humano CONAMA, 2008. Para o uso na dessedentação de animais, 13,33% da amostragem estavam acima do padrão estabelecido CONAMA, 2008. Para uso na irrigação verificou-se quanto ao perigo de salinidade, 86,17% foram classificadas de excelente qualidade, 13,33% de boa qualidade. Quanto à relação da porcentagem de sódio, 83,33% foram classificadas como pertencentes às classes excelentes. Em relação à dureza total, 96,67% foram classificadas como água doce. Enfim, constatou-se que, em geral, as águas do Aquífero Guarani, no município de Mineiros, são de excelente a boa qualidade para os diversos usos. Por fim, com a interpretação final dos resultados, espera-se fornecer indicadores para subsidiar ações de gestão sustentável e monitoramento de qualidade das águas do aquífero, através de sistemas de gestão ambiental junto às atividades realizadas na área de estudo e do manejo químico do solo.

Palavras-chave: Sistema Aquífero Guarani (SAG), Uso do Solo, Mineiros-GO.

ABSTRACT

The Guarani Aquifer System (GAS) is one of the most important groundwater reserves in the planet. It's situated in South America, in the Chaco and Paraná Bays, having 70 per cent of its area in Brazil. From this total, there is a part that is located in the state of Goiás, being well explored in the municipality of Mineiros, in its south portion. In the municipality of Mineiros, the predominant aquifer is the free one. Economically speaking, the agroindustry and cattle raising are the main activities in the municipality, being characterized by the huge quantity of agricultural inputs which generates contamination, mainly in the recharging areas. This way, the aim of this research was evaluating the relation among soil occupation and Guarani Aquifer physio-chemical and microbiological quality in Mineiros, Goiás. The vulnerability to contamination was evaluated through the GOD method that allowed the setting of the following classes: low, moderate and high. It was determined that 27.34% of the area has high vulnerability, 69.20% has moderate vulnerability and 3.46% has low vulnerability. On the other hand, the anthropic contamination of the potential sources classification was done through the POSH method. Concerning this method, it was verified that 43% of the area does not have contaminant potential, 44.72% presents moderate potential and 12% high contaminant potential. There were also nine groups of extreme danger to contamination with a total area of 104.93 km² corresponding to 4.03% of the studied area and 21.9% of the area has high danger of contamination. Relating the use of the soil, the results revealed that more than 22% of the areas were converted to agroindustry with a certain predominance of the agriculture over cattle raising. However, there were relevant changes in terms of environment in the area concerning the agriculture classes and remanescents in the period from 2005 to 2010. The data related to the class named agriculture indicated raising of 142 thousand hectares of planted area, however there was a significant reduction for the remanescents areas, with a loss of 114 thousand hectares, being 20% of reduction. Mentioning the fertilizers, it is estimated that during the period from 2000 to 2010, about 395 thousand tons were used. Concerning the concentration of the nitrogen compounds (N- amoniacal, N- nitrite, N- nitrate), phosphorus and potassium, the results showed that on the first sample, 25% of the wells, the N- amoniacal was detected and 53% presented N- nitrate. Concerning N- nitrite and phosphorus, none was found. On the second sample, N-amoniacal as well as N- nitrite were not found. N-nitrate was found in 56% of the sample. Besides the soil characteristics and use, the concentration data were below the maximum values permitted by legislation. About the human consume and animal dessedentation, the pH parameters and termolerant coliforms were presented. Concerning the Ph, about 90% of the sample was considered improper for human use according to the Regulatory Ordinance MS-2011. Relating the microbiological analysis for termolerant coliforms, 20% of the sample were not appropriate for human consume vide CONAMA 2008. For animal dessedentation, 13.3% of the sample was over the parameters of CONAMA 2008. For irrigation, salinity danger was identified and the results were the following: 86.17% were classified as having excellent quality, 13.33% as having a good quality. According to the percentage of sodium, 83.33% were classified as being in excellent classes. According to hardness, 96.67% were classified as sweet water. In general the water from the Guarani Aquifer System, in the municipality of Mineiros, are characterized as excellent and having a good quality for many uses. With the final results analysis, it's aimed the presentation of indicators to give support to the sustainable management actions and monitoring of the aquifer water quality, through the environmental management systems in consonance with the activities done in the area of study as well as with the soil chemical management.

Key-words: Guarani Aquifer System, Soil Use, Mineiros – GO

SUMÁRIO

PARTE I

1 – INTRODUÇÃO	02
2 – A PROBLEMÁTICA DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS	04
3 – HIPÓTESE E OBJETIVOS DA PESQUISA	07
4 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA PESQUISA	08
4.1 – A água recurso vital	08
4.2 – Tipos de aquíferos	14
4.3 – O Sistema Aquífero Guarani (SAG)	18
4.4 – A qualidade da água no SAG	23
4.5 – A dinâmica dos aquíferos	26

PARTE II

5 – DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
5.1 – Localização da área de estudo	30
5.2 – O meio físico a cobertura e o uso do solo	31
5.3 – Geologia	31
5.4 – Hipsometria	31
5.5 – Declividade	34
5.6 – Clima	35
5.7 – Solos	35
5.8 – Uso do solo e cobertura vegetal	37
5.9 – SAG na área de estudo	39
6.0 – Localização espacial dos poços	40

REFERÊNCIAS	42
--------------------	----

PARTE III

ARTIGOS CIENTÍFICOS

I – “VULNERABILIDADE NATURAL E PERIGO À CONTAMINAÇÃO DE ZONA DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI.”	46
II – “ESTUDO MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE MINEIROS E POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS.”	68

III – “CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO GUARANI NO MUNICÍPIO DE MINEIROS, NO ESTADO DE GOIÁS, POR N-AMONÍACAL, NITRATO, NITRITO, POTÁSSIO E CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA.”	84
IV – “AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO AQUÍFERO GUARANI, MUNICÍPIO DE MINEIROS-GO PARA CONSUMO HUMANO, DESSEDENTAÇÃO ANIMAL.”	104
“V – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA O USO AGRÍCOLA NO AQUÍFERO GUARANI, MUNICÍPIO DE MINEIROS (GO)-BRASIL.”	127
CONSIDERAÇÕES GERAIS	142
REFERÊNCIAS	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Caracterização esquemática da zona não saturada e saturada no subsolo	11
Figura 2 – Tipos de aquíferos	15
Figura 3 – Tipos de aquíferos quanto à superfície superior	15
Figura 4 – Representação esquemática do nível de pressão nos aquíferos	16
Figura 5 – Localização do Aquífero Guarani na América do Sul	19
Figura 6 – Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani indicando as áreas confinada e aflorantes	21
Figura 7 – Modelo conceitual hidrogeoquímico dos ciclos de recargas e descarga do Sistema Aquífero Guarani	24
Figura 8 – Mapa de localização da área de estudo	30
Figura 9 – Mapa geológico município de Mineiros-GO	32
Figura 10 – Mapa hipsométrico município de Mineiros-GO	33
Figura 11 – Mapa de declividade município de Mineiros-GO	34
Figura 12 – Mapa de solos município de Mineiros-GO	36
Figura 13 – Mapa do uso do solo município de Mineiros, ano 2010	38
Figura 14 – Mapa de localização do SAG no estado de Goiás	40
Figura 15 – mapa de localização dos poços em Mineiros-GO	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de água no mundo	05
Tabela 2 – Características da classificação das classes Hidrogeológicas	17
Tabela 3 - Índices hidrológicos e reservas do Aquífero Guarani	22
Tabela 4 – Uso do solo no município de Mineiros ano 2010	39

LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

BM - Banco Mundial

CSDP - Conselho Superior de Direção do Projeto

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

GEF - Fundo Global para o Meio Ambiente

MERCOSUL - Mercado Comum do Sul

OEA - Organização dos Estados Americanos

POLOCENTRO – Programa de Desenvolvimento do Cerrado

SAG - Sistema Aquífero Guarani

SEMARH-GO - Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recurso Hídricos Goiás

UNEP - Unidade Nacional de Execução do Projeto

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura

PNE - Parque Nacional das Emas

PARTE I

1 – INTRODUÇÃO

O presente trabalho corresponde ao produto final, tese de doutorado, desenvolvida durante o curso de Doutorado em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás. É apresentado em formato de artigos, precedida da Fundamentação Teórica da Pesquisa relativa às questões que pretendem dar suporte quanto à compreensão da abordagem teórica, quanto à dinâmica das águas subterrâneas e à descrição e caracterização da área de estudo.

A parte I apresenta a essência do projeto de pesquisa com foco no Sistema Aquífero Guarani (SAG), que é um dos maiores e mais importantes aquíferos do Brasil e no município de Mineiros (GO), como objeto de estudo de caso, pois é um dos municípios do país e do estado de Goiás com extensas áreas de recarga do SAG, sobre as quais se desenvolvem atividades agroindustriais e agropecuárias, todas com potencial de contaminação das águas subterrâneas. Também, o abastecimento municipal de água de Mineiros é procedente na maior parte desse aquífero. Além da agricultura o município destaca-se pela a bovinocultura extensiva, com mais de 220 mil cabeças de gado e a avicultura intensiva, com produção de aproximadamente 11 milhões de aves/ano, em que as granjas são abastecidas exclusivamente por poços localizados no aquífero. Além disso, o município apresenta grande potencial para a implantação de projetos de irrigação, devido a enorme quantidade de água disponível e de fácil acesso, principalmente, em áreas recentemente ocupadas pelas plantações de cana-de-açúcar, destinadas a abastecer grandes projetos de usinas sucroalcooleiras.

Já, a parte III apresenta resultados da pesquisa na forma de cinco artigos. O primeiro artigo desenvolvido durante a disciplina de Oficinas em Análise Ambiental, desenvolvido com o intuito de avaliar a vulnerabilidade à contaminação e compreender o status do potencial de risco à contaminação no município. A vulnerabilidade à contaminação foi avaliada através do método GOD, que permitiu identificar as classes: baixa, moderada e alta. Através do método POSH foi realizada a classificação das fontes potenciais de contaminação antrópica, definidas como: não existentes, reduzida, moderada e elevada. Já o segundo artigo preocupou-se apresentar os indicadores relacionados ao uso dos solos, visando fornecer subsídios para avaliação da sua influência na qualidade das águas do SAG. O estudo baseou-se em análise multitemporal do uso do solo, utilizando imagens de satélite Landsat TM5 e Sistema de Informação Geográfica. A classificação digital das imagens de satélite possibilitou realizar a análise da evolução do uso do solo no município nos anos de 1990, 2005 e 2010, bem como, análises qualitativas e quantitativas das principais atividades praticadas no município, o uso de insumos utilizados nas principais culturas nas últimas décadas, quando o município passou

por intensas transformações socioeconômicas e ambientais. Ambos tratam de espacializações necessárias à compreensão dessas áreas de recarga. O terceiro artigo ocupou-se em avaliar as variações das concentrações de compostos nitrogenados na forma de N-amoniacal, nitrito e nitrato, bem como, o potássio, considerando como principais fontes desses componentes, os fertilizantes aplicados nas principais culturas agrícolas praticadas no município, com o intuito de fornecer subsídios para a avaliação das implicações decorrentes do uso destes insumos para a qualidade das águas subterrâneas. Além disso, ocupou-se da classificação das águas subterrâneas do Aquífero Guarani na área de estudo devido à relevância desse recurso e em conhecer as classes de águas, sendo que o tema no Brasil, ainda hoje, é pouco conhecido e carente de dados precisos. O quarto artigo preocupou-se em avaliar a qualidade da água para consumo humano, dessedentação animal. Já, o quinto preocupou-se em avaliar qualidade das águas subterrâneas do município para uso agrícola, especificamente na irrigação, fundamentado na teoria de vários autores e nas análises químicas das águas subterrâneas da área de estudo.

2 – A PROBLEMÁTICA DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

A água é essencial ao surgimento e à manutenção da vida em nosso planeta, além de indispensável para o desenvolvimento das diversas atividades humanas. Aproximadamente 69% da água doce do mundo não estão disponíveis para o consumo (MIERZWA; HESPANHOL, 2005) e a maior porção de água doce, quase 30%, encontra-se nos lençóis subterrâneos, cujo consumo vem aumentando rapidamente. No Brasil, os recursos hídricos subterrâneos contribuem com 51% da oferta para o abastecimento humano (ANA, 2010).

Historicamente, com o aumento da população e o incremento industrial pouco mais de três séculos, a água passou a ser cada vez mais utilizada, como se fosse um recurso abundante e infinito (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Como observam Silva et al. (2006), a inquietação com a falta de água ganha mais consistência quando começam a ser apresentadas previsões de falta d'água em países desenvolvidos, tais como os Estados Unidos, a França e a Itália, dentre outros. Em função disso, nas últimas décadas tem se intensificado a exploração de águas subterrâneas, como é o caso do Brasil, onde centenas de núcleos urbanos de porte variado são hoje abastecidos exclusivamente por água subterrânea. Igualmente, inúmeros polos agroindustriais e incontáveis setores agropecuários têm na água subterrânea o manancial prioritário para seu consumo. E essa demanda tende a aumentar nos próximos anos, tanto pelas necessidades decorrentes da concentração demográfica e da expansão econômica, como por suas vantagens relativas sobre as águas superficiais (FOSTER et al., 1988).

Assim, o uso da água subterrânea vem crescendo a cada ano, tanto para abastecimento público e privado como para o uso na irrigação e na indústria (TUNDISI, 2005). Para Hirata (1993) o relativo baixo custo e, na maioria dos casos, a qualidade natural das águas subterrâneas têm sido suficientes para justificar essa crescente exploração.

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura (UNESCO) evidenciaram que atualmente cerca de 54% da água doce contida em rios, lagos e aquíferos já estejam sendo utilizados pela sociedade. Em termos globais, 69% dessa água destinam-se à irrigação das lavouras, 23% são usados pela indústria e 8% destinam-se aos diversos usos domésticos (CARDOSO, 2012). Ainda Cardoso (2012) ressalta que sua oferta e seu uso não são uniformes nem entre continentes e países, nem no interior de um mesmo país ou região (Tabela 1).

Tabela 1 – Consumo de água no mundo

<i>Consumo</i>	<i>Mundo (%)</i>	<i>Am. NC (%)</i>	<i>Am. Sul (%)</i>	<i>África (%)</i>	<i>Ásia (%)</i>	<i>Europa (%)</i>
Doméstico	8	8	14	7	6	13
Indústria	23	41	24	5	8	54
Agrícola	69	51	58	88	86	33

Fonte: Cardoso, 2012.

Dentre os sistemas aquíferos brasileiros com boa qualidade de água destaca-se o SAG, por possuir volume, posição geográfica, acessibilidade e qualidade que lhe conferem uma notável importância social e econômica, sendo um dos maiores reservatórios mundiais de águas subterrâneas conhecidas. Segundo Gomes (2008) em sua área de ocorrência vivem mais de 30 milhões de pessoas e nas áreas de recarga ou afloramento a população soma aproximadamente 3,7 milhões de habitantes. É importante ressaltar que esse manancial tem potencial para abastecer toda a população brasileira atual por cerca de 2.500 anos. Nas últimas décadas, a modernização da agricultura no país vem crescendo vertiginosamente. O uso de insumos e defensivos agrícolas e pecuários tem sido um dos fatores importantes para esse crescimento, mas paralelamente, tem produzido impactos ambientais negativos e até cumulativos sobre o meio ambiente.

No Brasil, segundo Gomes (2008) com frequência não há conformidade entre o uso do solo e sua aptidão agrícola, tampouco são considerados aspectos agroclimáticos, importante na implantação de sistemas agrícolas mais produtivos e ambientalmente mais equilibrados. Tal comportamento, além de ter sido responsável pela conversão de áreas frágeis ao sistema produtivo, economicamente problemáticas, do ponto de vista ambiental, tem forçado a busca de recursos hídricos suplementares, como dos aquíferos subterrâneos, principalmente onde se encontram em profundidades menores e, portanto, estão mais acessíveis à exploração.

Recentemente, com o avanço da cana-de-açúcar desde 2008, segundo Castro et al. (2004) a fertirrigação com vinhaça vem sendo utilizada com frequência, e que pode também afetar a qualidade de água do SAG, pois é fonte de contaminação por potássio, principalmente em solos arenosos, comuns no município de Mineiros, de rápida infiltração e percolação. Barbalho e Campos (2009) estimando o potencial de contaminação por vinhaça em Goiás atribuem classes de risco elevado para a região sudoeste do estado, incluindo Mineiros, devido presença importante de topografia aplainada (Serra de Caiapó, Morro Vermelho e zonas rebaixadas circundantes), solos arenosos e pouca profundidade dos níveis freáticos e dos aquíferos. Alves e Castro (2009) ao avaliarem o risco de contaminação do SAG na sua área de recarga situada nessa mesma região goiana também indicaram alto

risco/vulnerabilidade, especialmente nessas áreas, significativamente extensas na zona sul de Mineiros.

Dentre os principais contaminantes relacionados ao manejo agropecuário dos solos, os fertilizantes destacam-se no contexto dos insumos agrícolas. Em geral correspondem aos compostos como nitrogenados, fosfatados, potássicos entre outros, que podem penetrar nos solos com as águas infiltradas, principalmente nos solos porosos das áreas de recarga, como é o caso do SAG em Mineiros. São ainda conhecidos pelos teores de elementos potencialmente tóxicos das impurezas dos fertilizantes, oriundos do uso de adubação química.

A expansão agropecuária em Mineiros vem se intensificando, sobretudo a partir de 1970, favorecida por políticas públicas que visaram à incorporação das terras do Cerrado ao sistema produtivo nacional, em especial o POLOCENTRO – Programa de Desenvolvimento do Cerrado. Essa expansão, inspirada na *Revolução Verde*, caracterizou-se pelo uso maciço de insumos e defensivos agrícolas para corrigir a acidez dos solos e melhorar sua fertilidade, de modo a aumentar a produtividade e ganhar competitividade na produção de *commodities*.

Também, caracterizou-se pela conversão rápida e muitas vezes indiscriminada das coberturas vegetais originais do Cerrado, dominante na região Centro-Oeste, a essas práticas, cujas consequências são já bastante conhecidas, como a perda de biodiversidade, os processos erosivos hídricos e de assoreamento, particularmente concentrados na área sustentada pelos arenitos eólicos Triássicos da Formação Botucatu, dominantes no centro-sul de Mineiros. Essa área foi intensamente convertida à agropecuária e é afetada por maior concentração de índices pluviais no estado (ALMEIDA et al., 2006), onde dominam solos arenosos finos (Neossolos Quartzarênicos), de alta capacidade de erosão (CASTRO, 2005).

Estudo específico desenvolvido por Alves e Castro (2010) mostrou que a Formação Botucatu é a principal alojante do SAG na América do Sul, e que ocorre tanto aflorante como pouco profundo no município de Mineiros, onde é um recurso hídrico de elevado consumo, no qual numerosos poços tubulares foram instalados e que podem representar um potencial de contaminação, além da sobreexploração.

3 – HIPÓTESE E OBJETIVOS DA PESQUISA

Pelo exposto da problemática descrita previamente, a hipótese desta pesquisa considera que a expansão agropecuária pode ser ou não um potencial importante de contaminação do SAG no município de Mineiros (GO), sobretudo por fertilizantes, em relação ao uso intensivo destes insumos, dada as características de sua área de ocorrência nesse município e o histórico de uso do solo e manejo agrícola de suas terras.

Assim, o objetivo geral desta pesquisa e tese foi identificar os potenciais contaminantes provenientes de origem natural e de diversas atividades antrópicas, sobretudo os nitrogenados, fosfatados, potássicos, e suas respectivas fontes em termos de potencial de contaminação do SAG, nos limites municipais de Mineiros (GO), tendo por base os níveis de tolerância adotados pela legislação.

Para tanto, são objetivos específicos:

- a) Avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação, o risco à contaminação das águas subterrâneas, através dos métodos GOD e POSH;
- b) Analisar a evolução de uso do solo em série multitemporal, desde o ano de 1990 a 2010, relacionando-a ao uso de insumos agrícolas;
- c) Realizar análises físico-químicas para caracterizar os níveis de contaminação da água subterrânea no município, em relação aos principais insumos de uso na área de estudo e sua classificação hidroquímica;
- d) Avaliar a qualidade das águas subterrâneas do município para consumo humano, dessedentação animal e para uso na irrigação.

4 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA PESQUISA

Alguns conceitos e respectivas considerações teóricas mostraram-se relevantes nesta pesquisa, tais como a água e seu comportamento, os solos e o relevo, a geologia e os aquíferos, o clima e os contaminantes associados às práticas agropecuárias e agroindustriais. Assim, para entender a localização, a dimensão, a constituição, a qualidade original das águas, o tipo e comportamento do SAG e quais os modelos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos conceituais, que poderiam auxiliar no entendimento de seu potencial de contaminação induzido pelo uso do solo. Dessa forma, foram realizados estudos imprescindíveis a essa pesquisa, com base na relevância desses conceitos e respectivos modelos processuais que advêm, e de sua importância como componentes ou como fatores intervenientes no comportamento e qualidade das águas dos aquíferos. Nesse contexto foram enfatizados e comentados tópicos fundamentais para a pesquisa e que são priorizados a seguir.

4.1 - A água, recurso vital.

Segundo Borghetti (2010) cerca de 70% da superfície da Terra encontram-se coberto pelas águas, num volume de aproximadamente $1.385.984.610 \text{ km}^3$. Desse total, apenas 2,5% em água doce. Do total do volume de água doce do planeta, que constitui cerca $34,6$ milhões km^3 , apenas $10,5$ milhões de km^3 podem ser utilizados para a vida vegetal e animal nas terras emersas, o restante encontra-se como reservatórios indisponíveis nas calotas polares, geleiras e solos gelados.

O Brasil é o país que apresenta a maior abundância de recursos hídricos no mundo, por conter aproximadamente 12% de toda a água doce do planeta, associada ao seu domínio territorial e ainda um dos maiores potenciais hídricos subterrâneos, com cerca 112.311 km^3 de água, o que corresponde a 1,1% de todo o volume dos aquíferos existentes no planeta (GOMES, 2008). Ainda, Almeida (2006) evidencia que essa abundância não está distribuída de forma homogênea por todo território mundial, nem brasileiro. A Região Centro-Oeste em particular é a segunda mais rica em disponibilidade de recursos hídricos, com 15%, sendo que o Estado de Goiás é contemplado com cerca de 5% de toda a água doce disponível para uso no Brasil. Em Goiás, a principal atividade produtiva consumidora de água é a agricultura, com uma participação de 84% de toda a água consumida, seguida por abastecimento humano, 9%, e indústria com 7%. (ALMEIDA, 2006).

Há muito tempo o crescimento populacional no planeta é motivo de preocupação. As questões associadas ao crescimento demográfico parecem intermináveis, dentre elas a

demanda por água doce, tanto para o consumo próprio quanto para atividades agrícolas e industriais. A sobreexploração e a contaminação dos mananciais são duas importantes realidades enfrentadas pelas diferentes populações do planeta, situação essa que remete à emergência de uma gestão sustentável deste recurso. Neste aspecto, Almeida (2006) ressalta que as águas subterrâneas assumem um papel estratégico e relevante na sociedade quanto à sua sobrevivência e sustentabilidade, que serão assegurados tão somente por meio de uma gestão que tenha como suporte a responsabilidade na produção e aplicação correta do conhecimento científico e tecnológico, envolvendo as dimensões desse recurso, as formas de seu aproveitamento e a sua indispensável proteção. Ainda, evidencia que a hidrogeologia é uma área interdisciplinar reconhecidamente imprescindível e preponderante para trabalhar essa gestão.

De acordo com Giampá e Gonçalves (2006) as águas subterrâneas representam a parcela da hidrosfera que ocorre na subsuperfície da Terra, procedente de três origens principais: meteórica, conata e juvenil, sendo que a de origem meteórica é, de longe, a mais importante, em termos práticos, à medida que constitui próximo de 97% dos estoques de água doce que ocorrem no estado líquido nos continentes, sendo que o mecanismo de recarga é produto da infiltração de uma fração das águas atmosféricas que caem nos domínios emersos da Terra, principalmente sob a forma de chuva e neve, e que esse mecanismo de recarga forma reserva de água doce no estado líquido, acessíveis pelos meios tecnológicos e financeiros e disponíveis para abastecimento doméstico, industrial e para a irrigação.

As águas conatas representam um volume de água subterrânea – estimado em 53 milhões de quilômetros cúbicos – estocados na litosfera, em regra geral, a profundidades superiores aos quatro mil metros. Essas águas ficam retidas nos sedimentos desde a época das suas deposições e são, por isso, também denominadas de “águas de formação”. Essas águas apresentam altos teores salinos, característicos dos paleoambientes de formação dos depósitos sedimentares associados, da ausência de recarga e dos longos períodos de interações água/matriz rochosa.

Por essas razões, as reservas de água subterrânea são classificadas, em termos práticos, em renováveis, pouco renováveis e não renováveis ou fósseis. Contudo, essa classificação é de certa forma artificial, pois, em absoluto, não há água subterrânea desconectada do ciclo hidrológico. Essa parcela integra-se ao gigantesco mecanismo de circulação das águas na Terra, tendo em vista os mecanismos geológicos relacionados com a Tectônica de Placas. Portanto, toda forma de extração de água subterrânea afeta os gradientes hidráulicos naturais,

alterando os sistemas de fluxos subterrâneos e induzindo recarga direta ou indireta em setores aquíferos praticamente realimentados nas condições naturais de ocorrência.

No entanto, a quantidade de água de origem juvenil, ou seja, que é gerada pelos processos magmáticos da Terra apresenta uma estimativa de apenas $0,3 \text{ km}^3/\text{ano}$. Essa parcela integra-se ao citado gigantesco mecanismo de circulação das águas na Terra, por meio dos mecanismos geológicos de circulação de massas e energia relacionadas com a Tectônica de Placas. Por outro lado, a quantidade de água de origem juvenil torna-se, praticamente irrisória, em relação aos volumes de água subterrânea de origem meteórica em jogo no ciclo hidrológico (GIAMPÁ; GONÇALVES, 2006).

A constante mudança de estado físico da água na natureza é denominada de ciclo hidrológico ou ciclo da água, onde o calor do sol, grande motor deste ciclo, aquece a água dos oceanos e da superfície terrestre, que se evapora, passando a formar parte da atmosfera, por onde circula até que se condensa e precipita sobre os oceanos e continentes alimentando rios, lagos aquíferos, glaciares. É pertinente ressaltar que esse fenômeno está associado também à força de gravidade do planeta e à rotação terrestre. Anualmente o ciclo hidrológico envolve um volume total de 577.000 km^3 de água, sendo que o volume envolvido na evaporação é igual ao envolvido na precipitação (BORGHETTI et al., 2010).

Cerca de 40% da água que precipita nos continentes, escoar pela superfície terrestre alimentando rios, lagos e nascentes e cerca de metade infiltra nos solos e rochas. Portanto, as águas subterrâneas representam a fração de água que, após a precipitação, infiltra e ocupa os espaços vazios existentes tanto nos solos quanto nas rochas. As mesmas desempenham papel fundamental na manutenção da umidade do solo e na perenização de rios e nascentes.

O solo é um sistema complexo, constituído de materiais sólidos, líquidos e gasosos. As partículas sólidas formam um arranjo poroso que tem a capacidade de armazenar líquidos e gases. A parte líquida do solo constitui-se essencialmente de água, contendo elementos minerais dissolvidos e matéria orgânica solúvel (REICHARDT, 1987). Parte da água que precipita nos continentes se infiltra e percola no interior do subsolo, durante períodos de tempo extremamente variáveis, em decorrência de muitos fatores, sobretudo da textura, estrutura e porosidade do solo e do subsolo (rochas); da presença e do tipo de cobertura vegetal, da declividade do terreno, do tipo de chuva em termos de volume, distribuição, intensidade e duração. Entretanto, a presença de argila no solo provoca a redução de sua permeabilidade, sobretudo quando dispersa, não favorecendo a infiltração. Porém, um solo coberto por vegetação é mais permeável de que um solo desmatado devido à ação das raízes e

da matéria orgânica humificada e incorporada, ambas promovendo agregação e consequentemente melhoria da porosidade e da permeabilidade. Assim, a dinâmica da água nos terrenos cobertos leva a uma retenção pela vegetação, diminuindo escoamento superficial e aumentando a infiltração. Em declividades acentuadas a água escoar mais do que infiltra, dando-se o inverso em áreas aplainadas. As chuvas intensas, por sua vez, saturam rapidamente a superfície do solo, dificultando sua infiltração, ao passo que chuvas finas e demoradas têm mais tempo para se infiltrarem. Durante a infiltração, uma parcela da água sob a ação da força de adesão e de capilaridade fica retida nas porções mais próximas da superfície do solo, constituindo a zona não saturada. Outra parcela, sob a ação da gravidade, atinge as zonas mais profundas do subsolo, constituindo a zona saturada (Figura 1).

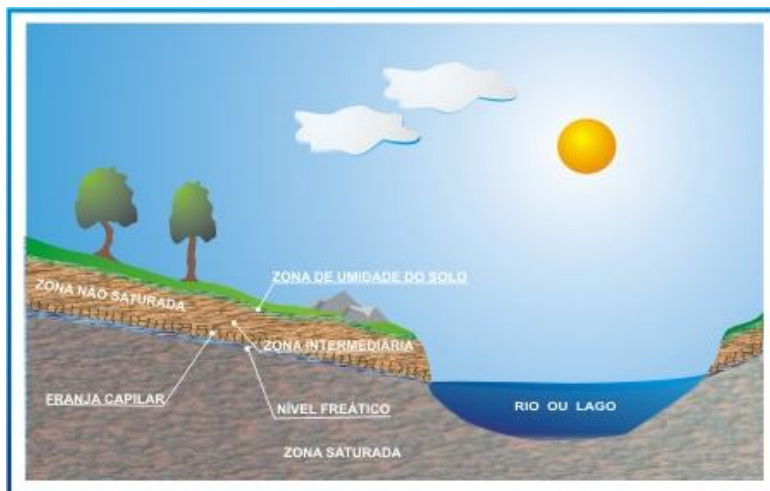


Figura 1 – Caracterização esquemática da zona não saturada e saturada no subsolo.
Fonte: Borghetti et al. (2004).

Conforme Reichardt (1987), a água é retida no solo em seus poros, devido à capilaridade e a adsorção. A capilaridade está ligada à afinidade entre as partículas sólidas do solo e a água. Porém, há a necessidade de interface água-ar. Esta interface água-ar, denominada de menisco, apresenta uma curvatura projetada para o centro do poro, que é tanto maior quanto menor for o diâmetro do poro. A curvatura determina o estado de energia da água e, por isso, diz-se que quanto menor o poro, mais retida se encontra a água. Assim, para esvaziar um poro grande, é necessário aplicar menos energia do que para esvaziar um poro pequeno. Porém, como o solo possui uma variedade imensa de poros, tanto em forma como em dimensões, quando se aplica uma dada energia ao solo – por exemplo, através de uma sucção – esvaziam-se inicialmente os poros maiores e aumentando-se a energia aplicada,

esvaziam-se cada vez os poros menores. Assim, a água que se infiltra no solo está submetida a duas forças fundamentais: a gravidade e a força de adesão de suas moléculas às superfícies das partículas do solo (força de capilaridade).

As águas subterrâneas, por sua vez, armazenam-se em poros dos materiais geológicos (rochas), caracterizados por constituírem espaços intergranulares ou por espaços abertos pelo fraturamento ou fissuramento das rochas além de espaços gerados pela dissolução de minerais. Conforme Rebouças et al. (2006) a rocha que tem porosidade e permeabilidade é chamada de “aquífera”, independente de estar ou não saturada. Quando a camada aquífera apresenta grande espessura saturada, a sua função principal poderá ser de produção de água, a qual poderá ser extraída por meio de poços tubulares escavados, túneis ou qualquer obra de captação. E ainda Rebouças et al. (2006) ressaltam que as condições de ocorrência das águas subterrâneas numa região resultam em variadas condições, à medida que dependem da interação de fatores climáticos – muito irregulares no espaço e no tempo – e de fatores geológicos, cuja variabilidade também é muito grande e depende de escala do estudo da área em apreço.

Logo, os materiais geológicos que apresentam porosidade intercomunicável que compõem os aquíferos correspondem a reservatórios subterrâneos naturais. Suas dimensões podem variar em área desde dezenas de m² até milhares de km² e em espessura, de poucos a centenas de metros (REBOUÇAS et al., 2006). O volume depende dessas duas dimensões, portanto é variável também.

Para Almeida (2006) a natureza geológica constitui o principal componente da dinâmica dos processos relacionados às águas subterrâneas na superfície terrestre. O autor ainda destaca a litologia (tipos de rochas e suas variações), a estratigrafia (empilhamento das diversas unidades), a tectônica e estruturação (deformações por dobramentos e fraturamentos), a sedimentologia (ambientes de formação das rochas supracrustais) e a geoquímica (composição química das diferentes rochas), sendo que a própria composição química de uma determinada rocha pode ser fonte de contaminação do aquífero. A arquitetura (arcabouço geológico) e a idade são também fatores importantes para a constituição de reservatórios subterrâneos. Assim, as características químicas da água subterrânea são fundamentalmente determinadas pelas suas interações com os constituintes mineralógicos do meio aquífero, através dos quais sofrem lixiviação mais ou menos longamente, nesse caso, o conhecimento dos aspectos de geologia física e histórica da área considerada torna-se cada vez mais importante. As rochas sedimentares e porosas são mais produtivas em termos de

aquíferos do que as cristalinas e ocupam quase a metade da área do país, onde estão localizados os melhores aquíferos nacionais (BORGHETTI et al., 2010). Na área de estudos o SAG é sedimentar e é composto por arenitos eólicos da Formação Botucatu.

Segundo Giampá e Gonçalves (2006) a necessidade de proteção do binômio solo *versus* água subterrânea exigiu que a hidrogeologia evoluísse de uma abordagem físico-hidráulica para uma geoquímico-bioquímica, para o que é necessário o conhecimento do perfil hidrogeológico do subsolo. Além disso, as atividades humanas realizadas nas áreas de ocorrência dos aquíferos podem alterar as características químicas do solo, subsolo, ar e água subterrânea, como a contaminação, e em caso mais grave, podendo chegar à poluição.

No caso do Sudoeste Goiano, área de interesse desta pesquisa, destaca-se a Bacia Sedimentar do Paraná que contém a mais importante província hidrogeológica do Brasil, com 45% das reservas de água subterrânea do território nacional, considerada a segunda bacia mais importante da América do Sul. A porção que se encontra em território brasileiro ocupa um milhão de quilômetros quadrados e tem uma espessura máxima de seis mil metros. O registro desta bacia inclui rochas sedimentares e vulcânicas, ultrapassando 700 metros de espessura no depocentro (DECOUD; ROCHA, 2000), compondo uma sequência de rochas que vão desde o Paleozóico até o Cenozóico (ROCHA, 1997). As formações paleozóicas apresentam baixa permeabilidade e constituem sistemas aquíferos poucos produtivos, com problemas de qualidade das águas. Já as formações triássicas-jurássicas que se encontram separadas por um pacote basáltico de grande extensão lateral, sendo composta pelas Formações Botucatu e Pirambóia, que contem o SAG, um dos principais sistemas aquíferos do Brasil (BORGHETTI et al., 2004).

No que se refere ao SAG, trata-se de um pacote de camadas arenosas que se depositaram na bacia sedimentar do Paraná e foram perturbadas por derrames basálticos no Mesozóico (períodos Triássico, Jurássico) – entre 200 e 132 milhões de anos em ambiente essencialmente desértico, que é constituído pelas formações geológicas Pirambóia e Botucatu (ROCHA, 1997).

Os arenitos Botucatu são originados de dunas, em que a granulação é fina, quartzosa, com grãos quartzosos bem arredondados e teor de argila inferior a 10%. As várias camadas de dunas são estratificadas de forma assimétrica e formam um pacote de 150 metros de espessura média. Já os arenitos Pirambóia, subjacentes ao Botucatu, são de ambiente fluvio-lacustre, de granulação muito fina, denominada por quartzo, mas que difere da anterior por apresentar do topo para a base, teores de argila acima de 20%. Em âmbito regional, o terço superior da

formação, com espessura da ordem de 100 metros, tem características hidráulicas similares às da formação Botucatu e, em conjunto, constituem o SAG.

Deve-se ressaltar que no início do período Cretáceo, sucessivos derrames de lavas basálticas recobriram quase todo o deserto Botucatu, chegando a atingir cerca de 1.500m de espessura em algumas áreas. O vulcanismo foi acompanhado por perturbações tectônicas na bacia, gerando extensos falhamentos, soerguimento das bordas e arqueamento, o que modela sua estrutura atual. Durante o Cretáceo Superior foram depositados sobre os basaltos sequências de arenitos calcíferos (Grupos Caiuá e Bauru) na porção setentrional da bacia, sendo que esses depósitos constituem uma sobrecapa do pacote confinante do Aquífero, na escala regional (ROCHA, 1997).

4.2 – Tipos de aquíferos

Segundo Borghetti et al. (2010) a litologia é que determina os diferentes tipos de aquíferos. A litologia de um aquífero, ou seja, a sua constituição geológica (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, bem como, a qualidade dessa água como reservatório. A litologia é decorrente da sua origem geológica, que pode ser fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânicas (rochas fraturadas) e metamórficas (sobretudo rochas calcárias).

Quanto à porosidade, os aquíferos podem ser classificados em poroso, fissural e cárstico (Figura 2). Esses três tipos são descritos por Borghetti et al., (2010), sendo que o primeiro, de maior interesse desta pesquisa, é o aquífero poroso ou sedimentar, ou seja, formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos. Nesse tipo de aquífero a circulação da água se faz através dos poros formados entre os grãos de areia, silte e mesmo argila. Constituem os mais importantes aquíferos, em função do grande volume de água armazenada, e também pela sua ocorrência em grandes áreas. Podem ser encontrados nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumulam sedimentos arenosos. Sua porosidade é quase sempre distribuída de forma homogênea, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática, propriedade essa conhecida como isotropia.

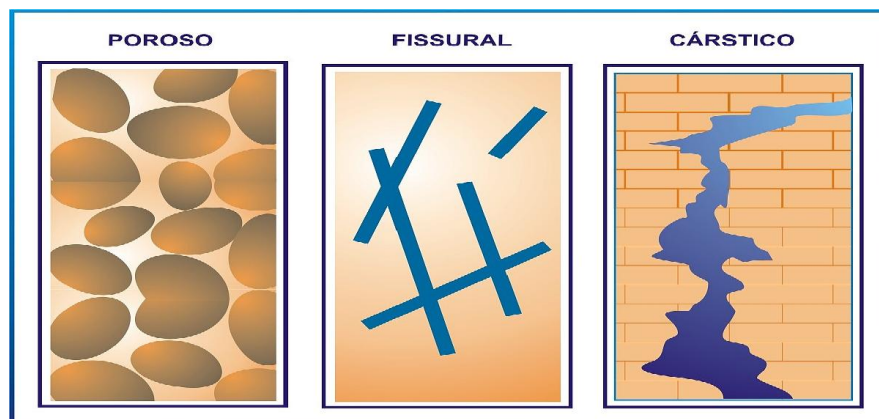


Figura 2 – Tipos de aquíferos. Fonte: Boscardin e Borghetti et al. (2004).

De acordo com Borghetti et al. (2004) os aquíferos quanto à superfície superior podem ser classificados em livre e confinado, conforme Figura 3. O aquífero livre ou freático é aquele constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável.

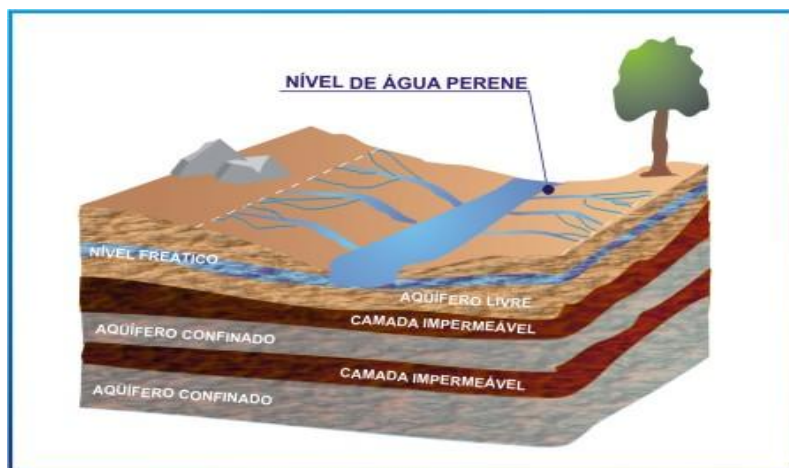


Figura 3 – Tipos de aquíferos quanto à superfície superior
Fonte: Borghetti et al. (2004).

A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Nos aquíferos livres a superfície livre do lençol não é estacionária, está se movendo periodicamente para cima quando a zona de saturação recebe mais água de infiltração vertical e para baixo, nos períodos de estiagem, quando a água armazenada previamente flui para as nascentes, cursos d'água, poços e outros pontos de descarga da água subterrânea. São os aquíferos mais comuns e mais explorados pela população. Também, são os que apresentam maiores problemas de contaminação.

O aquífero confinado ou artesiano já apresenta uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água ascenda no poço para além da zona aquífera. O seu reabastecimento ou recarga dá-se através das chuvas, preferencialmente nos locais onde a formação aflora à superfície. Neles o nível da água encontra-se sobre pressão, podendo causar artesianismo nos poços que captam suas águas.

Os aquíferos confinados têm a chamada recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas (bacias sedimentares). Em perfuração de um aquífero confinado, a água subirá devido à pressão exercida pelo peso das camadas confinantes sobrejacentes. A altura a que a água sobe chama-se nível potenciométrico e o furo é artesiano. Numa perfuração de um aquífero livre, o nível da água não varia, porque corresponde ao nível da água no aquífero, isto é, a água está à mesma pressão que a pressão atmosférica. O nível da água é designado então de nível freático (Figura 4).

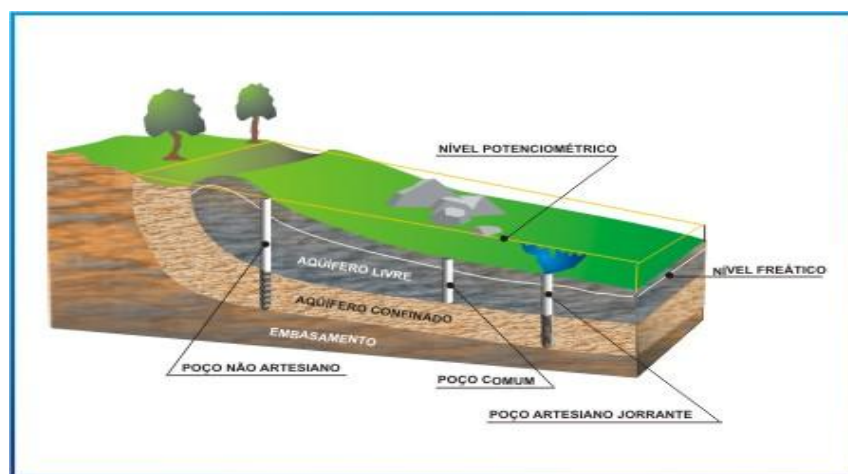


Figura 4 – Representação esquemática do nível de pressão nos aquíferos.
Fonte: Boscardin et al. (2004).

Além do termo aquífero, são designados outros termos que evidenciam a capacidade do meio na circulação da água, tais como: aquícludos, aquíardos e aquífugos. Cabral et al. (2001) definem os aquícludos como porosos muitas vezes saturados, mas não permitem a sua circulação, porque as rochas são argilosas onde dominam os microporos de circulação praticamente nula. Já os aquíardos são estratos semipermeáveis que armazenam quantidades significativas de água e permitem a circulação de forma muito lenta, correspondentes às

argilas siltosas ou arenosas. Por fim, os aquífugos são materiais impermeáveis com baixíssima porosidade que tanto não contem como não transmitem água. Giampá e Gonçalves (2006) caracterizam as classes hidrogeológicas de acordo com condutividade hidráulica, porosidade específica e litologias, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Características da Classificação das classes hidrogeológicas.

<i>Classes Hidrogeológicas</i>	<i>Condutividade Hidráulica (cm/s)</i>	<i>Porosidade Específica (%)</i>	Litologias Características
Aquíferas	$(1 - 10^{-3})$	(5-27)	Areias, arenitos, rochas muito fraturadas/alteradas.
Aquitardes	$(10^{-4} - 10^{-5})$	(3-5)	Siltos, areias argilosas, argilas arenosas, rochas pouco fraturada/alterada.
Aquicludes	$(10^{-6} - 10^{-9})$	(2-3)	Argilas, folhelhos, rochas muito pouco fraturadas/alteradas.
Aquífugos	$(< 10^{-9})$	(< 1)	Rochas compactas não fraturadas/alteradas.

Fonte: Giampá e Gonçalves, (2006).

Entretanto, um aquífero apresenta uma reserva permanente de água e uma reserva ativa ou reguladora de água que são continuamente abastecidas através da infiltração da chuva e de outras fontes de águas subterrâneas. As reservas reguladoras ou ativas correspondem ao escoamento de base dos rios, sendo que a área por onde ocorre o abastecimento do aquífero é chamada zona de recarga, que pode ser direta ou indireta. O escoamento da parte da água do aquífero ocorre na zona de descarga (BORGHETTI et al., 2004).

Na zona de recarga, a infiltração das águas da chuva ocorre diretamente no aquífero, através de suas áreas de afloramento e fissuras de rochas sobrejacentes. Sendo assim, a recarga sempre é direta nos aquíferos livres, ocorrendo em toda a superfície acima do lençol freático. Nos aquíferos confinados, o reabastecimento ocorre preferencialmente nos locais onde a formação portadora de água aflora à superfície. Já na zona de recarga indireta o abastecimento do aquífero se dá a partir da drenagem (filtração vertical) superficial das águas e do fluxo subterrâneo indireto, ao longo do pacote confinante sobrejacente, nas áreas onde a carga potenciométrica favorece os fluxos descendentes.

Há condições que favorecem a recarga do aquífero, como o relevo, sendo que as maiores taxas de recarga ocorrem nas regiões planas, bem arborizadas e nos aquíferos livres. Por outro lado, nas regiões de relevo acidentado, desprovidas de cobertura vegetal e sujeitas a práticas de uso e ocupação que favorecem a erosão, a recarga ocorre mais lentamente e de maneira limitada. Já a zona de descarga é aquela por onde as águas emergem do sistema,

alimentando rios, nesse caso trata-se de um processo natural. Também pode ser explorada através de bombas nos aquíferos livres e jorrando com pressão por poços artesianos, nesses casos, devemos considerar que não se tratam de processo natural (REBOUÇAS et al., 2006).

Rebouças et al. (2006) ainda ressaltam que ao se considerar certas condições naturais, apenas parte dessas reservas reguladoras é passível de exploração, constituindo o potencial ou reserva explorável. Em geral, esta parcela é estimada entre 25% e 50% das reservas reguladoras. Esse volume de exploração pode aumentar em função das condições de ocorrência e recarga, bem como da disponibilidade dos recursos técnicos e financeiros disponíveis, também deve considerar que a soma das extrações com as descargas naturais do aquífero para os rios e oceanos, não pode ser superior à recarga natural do aquífero.

A caracterização do potencial de um aquífero é determinada por fatores geológicos, associados com clima, relevo e solo. A associação destes fatores caracteriza e define regiões com o mesmo potencial de armazenamento, circulação e qualidade das águas. Estas regiões são denominadas Províncias Hidrogeológicas.

4.3 – O Sistema Aquífero Guarani (SAG)

Segundo Souza (2009) há 30 anos o Aquífero Guarani era praticamente desconhecido, a ponto de receber apenas uma menção de passagem, quando uma equipe técnica da OEA elaborou o relatório que serviu de base para o plano de aproveitamento integral da Bacia do Rio Prata em 1969, que a partir dos anos 70, especificamente na sua porção brasileira, no estado de São Paulo, iniciou um surto exploratório, tanto nas bordas da bacia, quanto em áreas mais profundas.

A denominação de Sistema Aquífero Guarani (SAG) resulta do fato de que se trata de um conjunto heterogêneo de “unidades hidroestratigráficas”, que podem conter muita, pouca ou nenhuma água. Para Hirata et al. (2009) o Guarani não é contínuo e homogêneo, com a mesma disponibilidade de água potável em toda sua extensão. Essa é uma ideia que surgiu por causa das características do aquífero no Estado de São Paulo, onde é bem conhecido e bastante aproveitado.

O SAG abrange cerca de 1.195.500 km² e situa-se na porção centro-leste do continente sul-americano subjacente a quatro países do Cone Sul (Figura 5), membros do MERCOSUL, porém, com a maior parte no território brasileiro (838.800 km²), seguindo-se a Argentina (225.500 km²), o Paraguai (71.700 km²) e parte no Uruguai (58.500 km²).



MAPA 3.1 - LOCALIZAÇÃO DO AQUÍFERO GUARANI

Figura 5 – Localização do Sistema Aquífero Guaraní na América do Sul.
Fonte: Borgetti et al. (2010).

As áreas de recargas do SAG em território brasileiro estão em quatro regiões hidrográficas: Paraguai, Tocantins-Araguaia, Paraná e Atlântico sul. O volume aproveitável de água deste manancial é de $40 \text{ km}^3/\text{ano}$ correspondente a 25% do potencial de recarga, estimado em função da área do aquífero e do balanço hídrico médio em toda sua extensão (BORGHETTI et al., 2004).

No Brasil o SAG encontra-se disperso ao longo de oito estados: Mato Grosso do Sul, com uma área de 213.200 km^2 ; Rio Grande do Sul, com área de 157.600 km^2 ; São Paulo, com 155.800 km^2 ; Paraná, com 131.300 km^2 ; Goiás, com 55.000 km^2 ; Minas Gerais, com 52.800 km^2 ; Santa Catarina, com 49.200 ; e Mato Grosso, com 26.400 km^2 (BORGHETTI et al., 2004). Entretanto, segundo Machado (2006) ainda não existem estudos detalhados sobre toda a sua área de ocorrência.

Segundo Rebouças et al. (2006) o aquífero é confinado pelos basaltos de Formação Serra Geral (Cretáceo) e por sedimentos permo-triássicos de baixa permeabilidade. O tempo de renovação de suas águas é de 300 anos, contra 20 mil anos na Grande Bacia Artesiana da Austrália, por exemplo. As águas são de excelente qualidade para o consumo doméstico, industrial e irrigação e, em função das temperaturas serem superiores a 30°C em todo o domínio confinado, vêm sendo muito utilizado para desenvolvimento de balneários. Sobre

cerca de 70% da área de ocorrência, onde as cotas topográficas são inferiores aos quinhentos metros, onde há possibilidade de serem jorrantes.

A alimentação do aquífero se dá pela a infiltração direta das águas de chuva nas áreas de recarga, e pela infiltração vertical ao longo de descontinuidades nas áreas de confinamento, sendo esse último um processo mais lento. As áreas de recarga direta ou de afloramento representam regiões onde o aquífero encontra-se mais vulnerável. Dessa forma, o mau uso dos solos dessas áreas, pode comprometer a médio e longo prazo, a qualidade da água subterrânea (GOMES, 2008).

A Figura 6 mostra o mapa do Aquífero Guarani, destacando as áreas confinadas e as áreas de afloramento ou recarga. Nota-se que nem todas as regiões são beneficiadas pelas bordas de afloramento e seus arredores, onde as águas costumam ser de boa qualidade. As maiores extensões das áreas privilegiadas no Brasil ficam em São Paulo, Rio Grande do Sul e no Mato Grosso do Sul. Os estados de Goiás, Mato Grosso, Paraná e Santa Catarina apresentam áreas de afloramentos ou recarga. No Estado de Minas Gerais, o aquífero é todo confinado. Entre os outros três países do MERCOSUL que abriga o aquífero, o Paraguai destaca-se com grandes áreas de afloramento ou recarga. O Uruguai contribui com uma área de afloramento muito pequena se comparado aos outros países. Já na Argentina o aquífero é todo confinado. Conforme Gomes (2008) as águas do SAG são de excelente qualidade em diversos locais, principalmente nas áreas de afloramento e próximo a elas, sendo remota a possibilidade de seu enriquecimento em sais e em outros compostos químicos de origem não antrópica.

Segundo Rocha (1997), nas áreas de afloramentos existe várias cidades e polos agroindustriais cujos efluentes urbanos e rurais são lançados no solo e nos cursos de águas superficiais sem nenhum tratamento. Ainda Rocha (1997) adverte sobre o cuidado de estabelecer restrições à utilização de produtos químicos tóxicos e persistentes, utilizados nas atividades agrícolas, que dependem da aplicação de grande quantidade de fertilizantes e agrotóxicos, em solos altamente vulneráveis à poluição.



Figura 6 – Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani indicando as áreas confinadas e aflorantes. Fonte: adaptado de Borghetti et al. (2004).

Conforme Rocha (1997), os principais parâmetros associados ao balanço hídrico permitem uma estimativa preliminar dos volumes de água estocados no reservatório subterrâneo. No caso do SAG, as reservas de água acumuladas ao longo do tempo são da ordem de 46 mil km³ e correspondem à somatória do volume de água de saturação do Aquífero mais o volume de água sobre pressão, são as reservas permanentes. Já as reservas ativas (ou reguladoras) do Aquífero correspondem à recarga natural (média plurianual) e foram calculadas em 160 km³/ano, representando o potencial renovável de água que circula no Aquífero Guaraní. Para efeito de planejamento é estabelecido um índice de referência para o potencial explorável do Aquífero, correspondente a uma parcela da reserva ativa, no caso 25%, ou seja, o volume de água disponível para exploração é da ordem de 40 km³/ano (Tabela 3).

Tabela 3 – Índices hidrológicos e reservas do Aquífero Guaraní

• Área total	1.195.000 km ²
• Área de recarga	150.000 km ²
• Área confinada	1.045.000 km ²
• Espessura média	228 m
Índices hidrológicos	
• Chuva média	1.500 mm
• Recarga natural	160 km ³ /ano
• Permeabilidade	3 m/dia
• Porosidade eficaz	15%
• Coeficiente de armazenamento	10 ⁻⁴
Reservas	
• Volume estocado	46 mil km ³
• Reserva ativa	160 km ³ /ano
• Potencial explorável	40 km ³ /ano

Fonte: Rocha, (1997).

A maior área de recarga do aquífero está localizada no Paraguai (Figura 6), nos Departamentos de Caaguazú e Alto Paraná onde a água é de excelente qualidade, por isso, tem despertado o interesse de diversas empresas de vários países em explorar e até mesmo a superexploração dessas áreas. Conforme afirma Achucarro (2004) as 4716 empresas registradas em seu país (Paraguai) para explorar e comercializar água se distribuem entre empresas norte-americanas, mexicanas, argentinas e brasileiras, sendo que somente 3% são paraguaias. A maioria delas tem interesse em utilizar a água em processos que exigem água

de boa qualidade, como a indústria de alimentos e bebidas, nesse caso, inclui o comércio de água mineral, bem como a indústria de cerveja, que é conhecida por utilizar água de qualidade excelente.

4.4 - A qualidade da Água do SAG

A composição química das águas do SAG é muito variável, principalmente nas zonas confinadas, seja por efeito de variação da litologia, seja por influência de misturas induzidas por fraturas ativas nas rochas. A esses fatores, marcantes nas zonas confinadas, pode se acrescentar os condicionantes da ação antrópica nas áreas de afloramento, naturalmente mais vulneráveis (BORGHETTI et al., 2004).

Conforme Rocha (1997) as águas subterrâneas do SAG em geral são fracamente salinas, com teor de resíduo seco inferior a 300 mg L^{-1} em sua maior parte. A partir das áreas de recarga direta em direção à calha da bacia, há tendência à alcalinização das águas no sentido do fluxo subterrâneo acompanhada pelo aumento gradual do teor salino, pH e da temperatura. Essa evolução hidroquímica regional é comandada pelo grau de confinamento do aquífero, velocidade de circulação e também pelo tempo.

Na área de recarga e ao longo de uma faixa de cerca de 60 km de distância a ela adjacente, as águas são bicarbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas, com teores de resíduos seco inferiores a 200 mg L^{-1} e pH ácido inferior a sete. Na zona francamente confinada do Aquífero as águas tornam-se bicarbonatadas sódicas evoluindo para cloro-sulfatadas sódicas junto à calha da bacia; o pH é alcalino e os valores de resíduo seco variam de 200 a 600 mg L^{-1} (ROCHA, 1997).

O modelo conceitual hidrogeoquímico, conforme Figura 7, proposto por Machado (2006), oferece uma visão ampla e geral dos mecanismos integrantes do funcionamento dos ciclos de recarga e descarga do SAG. Este modelo conceitual hidrogeoquímico mostra seus ciclos de recarga e descarga em que grande parte da camada de arenito que contém a água é confinada e nesses locais a água precisa atravessar a camada de basalto para chegar ao Aquífero. Quanto maior à distância percorrida no subsolo, mais íons de sais ela absorve (percolação), conseqüentemente a concentração desses sais aumenta e a sua qualidade vai sendo prejudicada. Já nas áreas de afloramento do SAG e proximidades, as águas tendem a possuir melhor qualidade, devido à recarga direta ou pequena faixa de subsolo percorrida pelas recargas. Em áreas muito profundas, por causa da grande pressão exercida pelo peso da terra, são mais comuns áreas de descarga ascendente. Essas águas profundas são sódicas e

podem evoluir de bicarbonatadas para sulfatadas e cloretadas, de qualidade inferior. O cloreto e o sulfato podem penetrar no Guarani a partir de descargas do Aquífero Permiano, onde este sofre muita pressão.

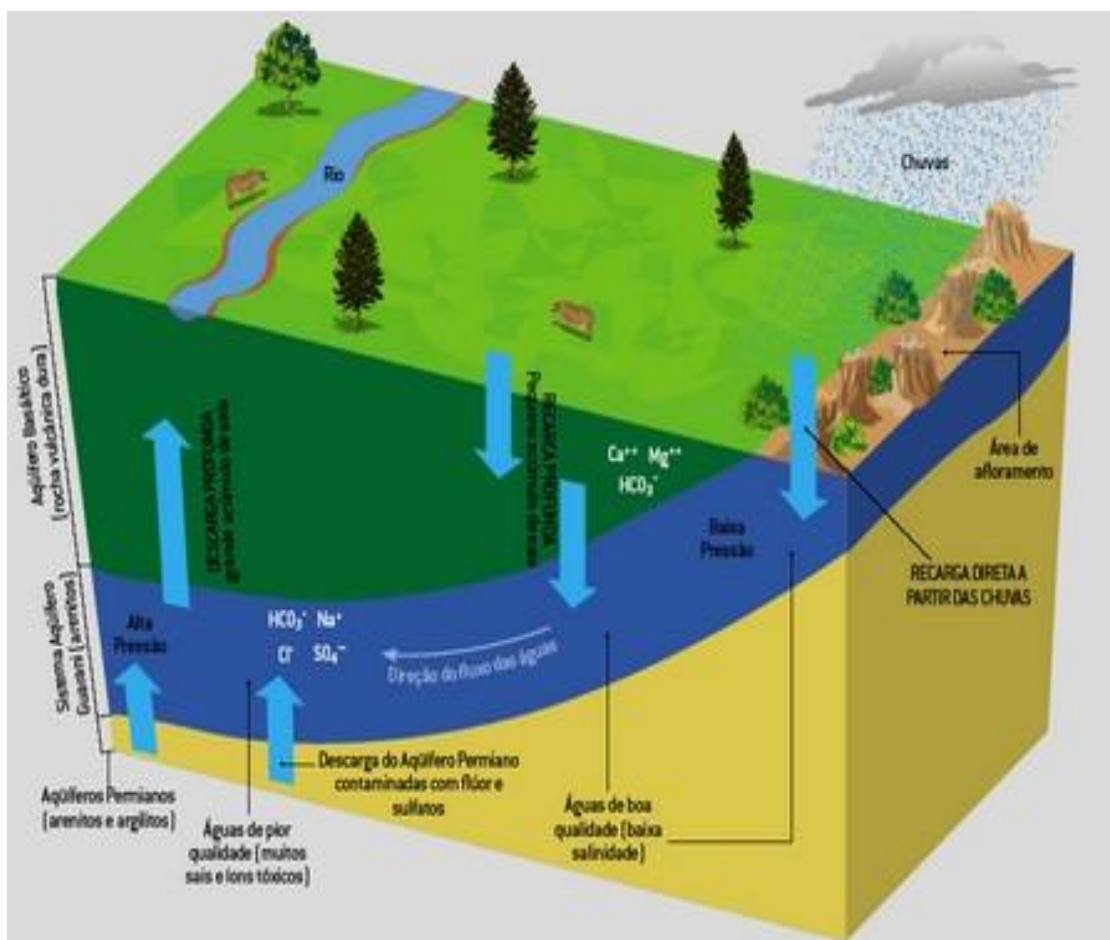


Figura 7 – Modelo conceitual hidrogeoquímico dos ciclos de recarga e descarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Fonte: Machado, (2006).

Entretanto, outro fenômeno relacionado às águas subterrâneas e que merece estudo é o hidrotermalismo. No caso do SAG, a temperatura das águas aumenta gradativamente das áreas de recarga para a calha da bacia em função do grau geotérmico natural de 1 °C para cada 35 metros. Medidas efetuadas na boca dos poços indicam valores de 22 a 25 °C nos afloramentos e de 25 a 30 °C nas faixas adjacentes de baixo confinamento, já na maior parte da área a temperatura está entre 30 e 80 °C. Por outro lado, as temperaturas elevadas podem ser um fator econômico para as indústrias que se instalaram em sua área de abrangência, pois as águas quentes podem ser utilizadas em seus sistemas de aquecimento e nas caldeiras, com uma economia significativa de energia em seus processos de produção. Também podem ser

fonte de renda se aproveitada em complexos hidrotermais, atraindo muitos turistas, como exemplo as cidades de Jataí e Quirinópolis, localizadas na Região Sudoeste do Estado de Goiás, entre outras cidades que já exploram essa categoria de atividade.

Mas, essas mesmas águas de temperaturas elevadas do SAG podem tornar-se um problema para o meio ambiente. Segundo Souza (2009), um dos problemas que mais preocupa, em termos ambientais, é o fato de que boa parte da água extraída do SAG chega à superfície com temperaturas de 40 °C até 80 °C, comparativamente elevada em relação à temperatura ambiente que varia de 21 °C a 25 °C na maior parte da área. Desta forma, se águas que são extraídas dos poços do SAG, se depois de usadas nas instalações geotermiais hidroterápicas, indústrias e outras atividades, forem lançadas nos rios ainda relativamente quentes, podem engendrar sérios impactos na fauna e flora.

Todavia, segundo Rebouças et al. (2006) a utilização e/ou reutilização de águas subterrâneas aquecidas vem sendo uma alternativa energética muito empregada nos Estados Unidos, Japão, Rússia. E ainda ressalta que o hidrotermalismo do Brasil é uma fonte potencial de energia de grande importância no contexto das fontes de energia não convencionais, tendo em vista que cerca de cem mil km³ de águas quentes estão estocadas nas nossas bacias sedimentares e ao alcance dos meios tecnológicos de exploração. A água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal pode ser utilizada como fonte de energia elétrica ou termal.

Para Rocha (1997) a valorização dos recursos hídricos do SAG se estabeleceu como parte estratégica de aproveitamento dos recursos hídricos totais para a região do Cone Sul. As águas superficiais dos rios Paraná e Uruguai continuariam tendo por função principal o aproveitamento para a navegação, irrigação e energia hidrelétrica. As águas subterrâneas seriam utilizadas preferencialmente para o abastecimento das populações. Portanto, fica clara a necessidade de um programa específico de desenvolvimento das potencialidades do manancial e a consequente integração dos organismos e entidades dos países da região.

Conforme Souza (2009), embora o SAG se encontre em quatro países do MERCOSUL e compartilhado por todos eles, ainda não existe qualquer tratado internacional entre eles regulamentando a utilização de suas águas. Há somente um acordo de cooperação mútua, objetivando a realização de estudo e pesquisa para o conhecimento dessa importante reserva hídrica, porém devido à sua localização, tornou-se uma área estratégica para os países em que essas reservas estão sob seus domínios.

4.5 – A dinâmica dos aquíferos

Em estudos hidrogeológicos, a análise dos elementos climáticos é fundamental, uma vez que, em associação com os diversos tipos de solos, rochas, relevo (geomorfologia) e vegetação, agem de forma integrada a manter o equilíbrio do meio ambiente. Nesse sentido, para Almeida (2006) os elementos climáticos como a temperatura do ar, a precipitação pluvial, a insolação e a evaporação, exercem grande influência na quantificação dos recursos hídricos disponíveis e, podem ser definidos como grandezas que quantificam e qualificam o clima, ao longo dos anos.

Assim, o conhecimento destes parâmetros climáticos possibilita a delineamento de estratégias no planejamento direcionado, com a finalidade de minimizar os riscos oriundos da ocorrência das alterações nos eventos climáticos extremos, de modo a contribuir para o desenvolvimento da pesquisa e planejamento adequado de uma região, podendo ser decisivo na melhoria da qualidade ambiental, uma vez que a interação entre o homem e o meio ambiente possa ser realizada de modo racional.

Em regiões tropicais e subtropicais a principal forma de precipitação é a pluvial. Para Reichardt (1987) essa é a forma principal pela qual a água retorna da atmosfera para as culturas agrícolas e para o solo. A chuva ao atingir uma cultura pode ser diretamente absorvida pelas folhas, ramos e caules, mas, geralmente, a maior quantidade termina atingindo a superfície do solo. Esta é chamada de chuva efetiva. Dependendo da intensidade da chuva, da declividade do terreno e do tipo de solo, parte da chuva efetiva não penetra no solo e escorre sobre sua superfície, constituindo a enxurrada, ou escoamento superficial. A parte que se infiltra, geralmente, movimenta-se na vertical, devido ao gradiente de potencial gravitacional e acaba abastecendo o reservatório de água constituído pelos poros do solo.

Para compreender melhor a evolução dos processos hidrológicos, Almeida (2006) sugere que é imprescindível a utilização de séries longas de dados e de alta densidade de pontos para possibilitar um melhor entendimento sobre a distribuição espacial e temporal da precipitação pluvial de uma região.

O conhecimento dos valores de precipitação pluviométrica é muito importante para avaliar o potencial de infiltração e recarga dos aquíferos, sobretudo, quando acompanhados com dados relativos quanto à intensidade e a duração das chuvas, pois chuvas intensas saturam rapidamente o solo, ao passo que chuvas finas e demoradas têm mais tempo para se infiltrarem. Também a determinação do período chuvoso e do período de estiagem tem uma

importância significativa, principalmente para a agricultura. Por outro lado, os dados de uma série histórica são úteis para projeções de comportamentos nos regimes de chuvas, bem como, para estudar as mudanças climáticas que vem ocorrendo em várias partes do mundo. Assim, os dados referentes aos tipos de chuvas e suas frequências são importantes nas interpretações meteorológicas, pois a intensidade e a duração das chuvas contêm informações, que permitirá avaliar os níveis de infiltração de água no solo e na determinação do excedente ou déficit hídrico de uma região.

Para Almeida et al.(2006) a temperatura do ar desempenha um papel muito importante dentre os fatores que condicionam o meio ambiente e também tem influência na infiltração de água no solo, pois o escoamento da água no solo é laminar em função da viscosidade da água e quanto maior a temperatura maior a infiltração de água no solo.

Na área de estudo a temperatura máxima do ar (média anual) apresenta valores entre 29 °C e 30 °C. A análise do comportamento da média da temperatura máxima do ar no período chuvoso, comparada com a média da temperatura máxima do ar no período seco permite constatar que não há alterações significativas, sendo que os valores do período chuvoso ocorrem entre 30 °C e 31 °C e para o período seco os valores se encontram entre 29 °C e 30 °C. Já o comportamento da temperatura mínima do ar apresenta-se diferente no período seco onde se encontram valores abaixo de 15 °C. Quanto ao período chuvoso a temperatura mínima para a região de Mineiros apresenta índices acima de 19 °C (ALMEIDA et al., 2006).

Segundo Almeida (2006) por subtrair uma fração dos recursos hídricos disponíveis, a quantificação da água transferida por evaporação para a atmosfera é de suma importância para se determinar o balanço hídrico de uma área. Para Oliveira (2005) há várias causas externas e internas que atuam na evaporação da água, como a temperatura do ar, a umidade do ar, a velocidade de deslocamento das massas de ar, a radiação solar (Intensidade e duração).

A atmosfera é uma mistura gasosa, cuja composição volumétrica média, quando seca, é de aproximadamente 78% de nitrogênio (N_2), 21% de oxigênio (O_2), 1% de argônio (Ar) e 0,03% de gás carbônico (CO_2). Outros gases estão presentes em proporções muito menores, da ordem de partes por milhões (ppm), sendo os principais: neônio, hélio, criptônio, hidrogênio, metano e ozônio. Ainda há outros gases que fazem parte da atmosfera em pequenas quantidades e em proporções variáveis, também em parte por milhão, como o N_2O , NO, SO_2 , CO, etc. Esta mistura, chamada de ar seco, pode ter vapor d'água em diferentes proporções, chegando até um máximo de 4% (ponto de saturação, que depende da temperatura).

A umidade relativa do ar é consequente de uma das fases do ciclo hidrológico, ou seja, o processo de evaporação da água. Segundo Almeida (2006) o mês de dezembro é o período mais úmido, caracterizado com índices entre 80 e 82% de umidade relativa do ar em cerca de 50% da área do estado de Goiás. Já, o mês de agosto é o mais seco, que apresenta valores médios em torno de 48 a 52% em quase toda área do estado, com extremos que podem chegar a 13%. No Município de Mineiros no período chuvoso, a umidade relativa do ar apresenta uma média de 76 a 78%. Já, no período seco, a média reduz para 60 a 62% (ALMEIDA, 2006).

Assim, a evaporação, umidade relativa do ar e precipitação são parâmetros que estão intimamente relacionados, pois, quanto maior a umidade menor é a evaporação e maior a possibilidade de ocorrer precipitação pluvial.

Dessa forma, o Ciclo Hidrológico tem uma interação direta com os aspectos climáticos de uma determinada região, pois condiciona características importantes para as águas subterrâneas como a determinação de excedentes ou déficits hídricos.

PARTE II

5 – DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Mineiros se localiza na região Sudoeste do estado de Goiás. Sua população é um pouco mais de 63 mil habitantes e leva este nome em homenagem aos fazendeiros do Triângulo Mineiro que se estabeleceram por lá no final do século dezenove. As principais fontes de renda da região são agricultura, bovinocultura e recentemente tem-se destacado pela grande quantidade de granjas de criação de perus, que abastecem um frigorífico gigantesco e é fonte de geração de emprego para 10% da população ativa do município, além da cana-de-açúcar que vem se instalando desde 2007.

5.1 – Localização da área de estudo

O município de Mineiros está localizado no Sudoeste Goiano (Figura 8), com área de 8.896 km². O município apresenta precipitação média anual de 1853 mm e temperatura entre 18 °C e 20 °C, tendo clima definido basicamente por duas estações, uma seca, com temperaturas amenas, e a outra chuvosa, com temperaturas elevadas.

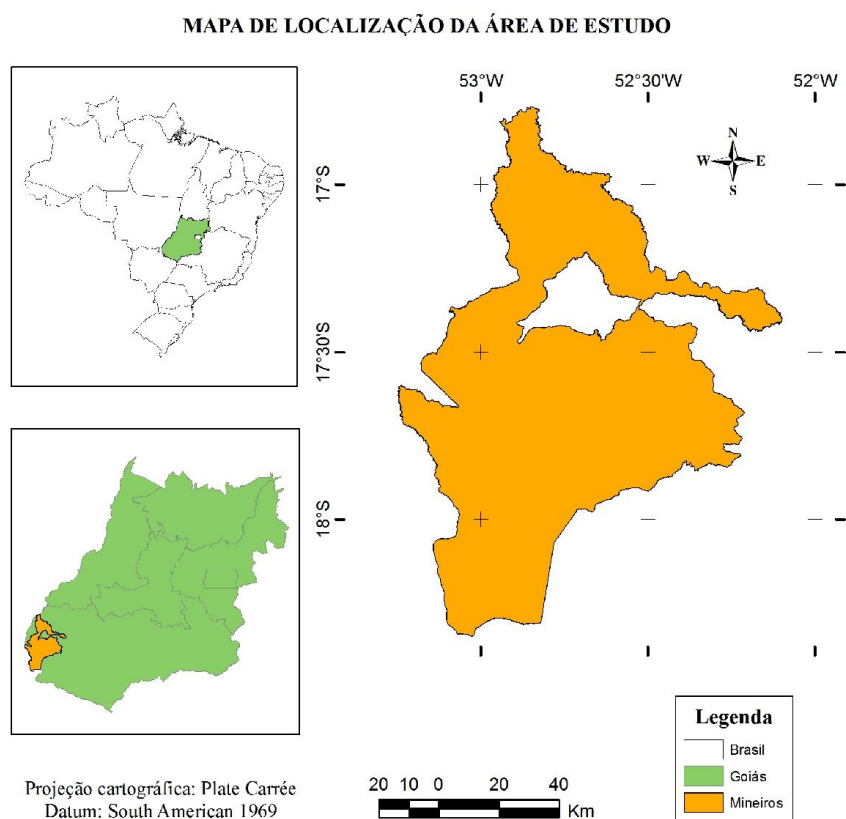


Figura 8 – Mapa de localização da área de estudo.

5.2 – O meio físico a cobertura e uso do solo

Os diversos compartimentos geomorfológicos controlam as condições de circulação das águas subterrâneas e influenciam nas condições de recarga e descarga dos aquíferos. Assim, as questões relativas ao padrão de relevo, densidade de drenagem, hipsometria, assimetria dos vales, tipos de coberturas de regolitos e demais aspectos geomorfológicos influem nas recargas dos aquíferos. Dessa forma, os compartimentos de relevo são condicionantes de controle do potencial dos aquíferos (ALMEIDA et al., 2006).

Segundo Veroslavsky et al. (2008) na região Sul de Goiás, o SAG está distribuído em uma área de 39.367,72 km². A área de afloramento do Aquífero Guarani no estado de Goiás possui próximo de 12.257 km². Grande parte dessa área está distribuída ao longo da região que compreende as nascentes do Rio Araguaia, na divisa dos estados de Goiás e Mato Grosso. Envolve, principalmente, os municípios de Mineiros, Jataí, Chapadão do Céu, Portelândia e Perolândia (OLIVEIRA, 2010).

5.3 – Geologia

O município de Mineiros abrange grandes áreas em faixas de afloramentos e recargas do SAG, com predominância da Formação Botucatu (Figura 9), sendo que os afloramentos ocorrem nas áreas drenadas pelos afluentes da margem direita do Rio Araguaia, e ainda nos afluentes do Ribeirão Ferro e Rio Verde.

Esta formação é composta por arenitos eólicos, formado por arenito fino, constituído por grãos de quartzo bem selecionados, arredondados, com bimodalidade granulométrica com elevada maturidade textural e mineralógica. A estrutura é representada por estratificações cruzadas de grande porte, estratificação plano-paralela e lâminas bimodais com intercalação de laminações de areia avermelhada em tons claros e escuros. Os arenitos eólicos apresentam-se em fácies de campos de dunas, interdunas e lagos de *playa* subordinados.

Secundariamente ocorre em menor área a Formação Cachoeirinha. Os litotipos são representados por material intemperizado, depósitos aluviais, predominando as fácies conglomeráticas constituídas por calhaus, seixos e arenitos em meio a matriz argilosa, podendo ocorrer lamitos subordinadamente.

5.4 – Hipsometria

O município se situa geograficamente em altitudes que variam entre 770 metros a 1.005 metros (Figura 10), sendo que essas altitudes elevadas, associadas à baixa declividade

dos terrenos, podem contribuir para a recarga do aquífero. No caso de Mineiros, as principais culturas agrícolas, como a soja, o milho e atualmente a cana-de-açúcar, encontram-se localizadas em áreas de maiores altitudes e de baixas declividades.

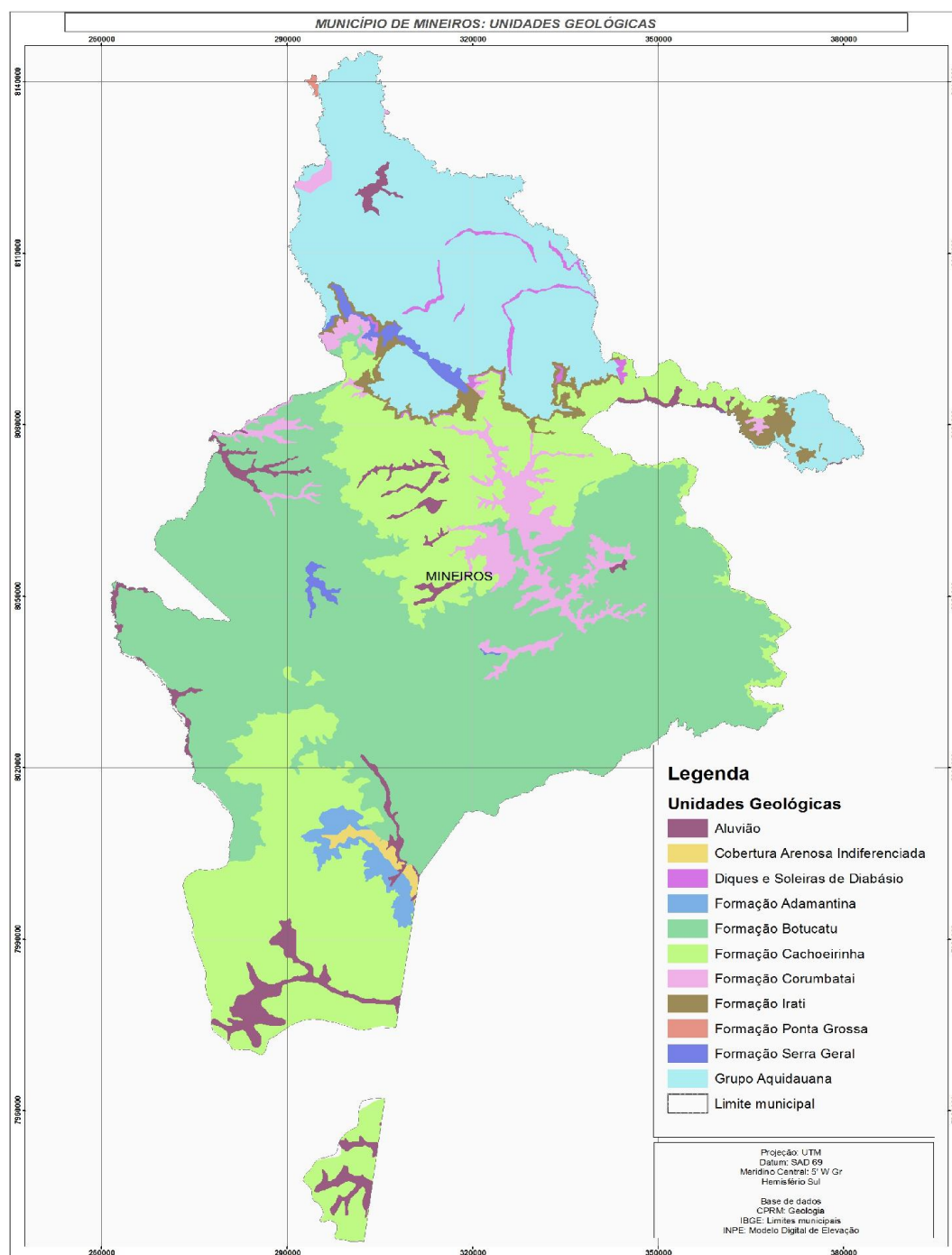


Figura 9 – Mapa geológico município de Mineiros-GO.

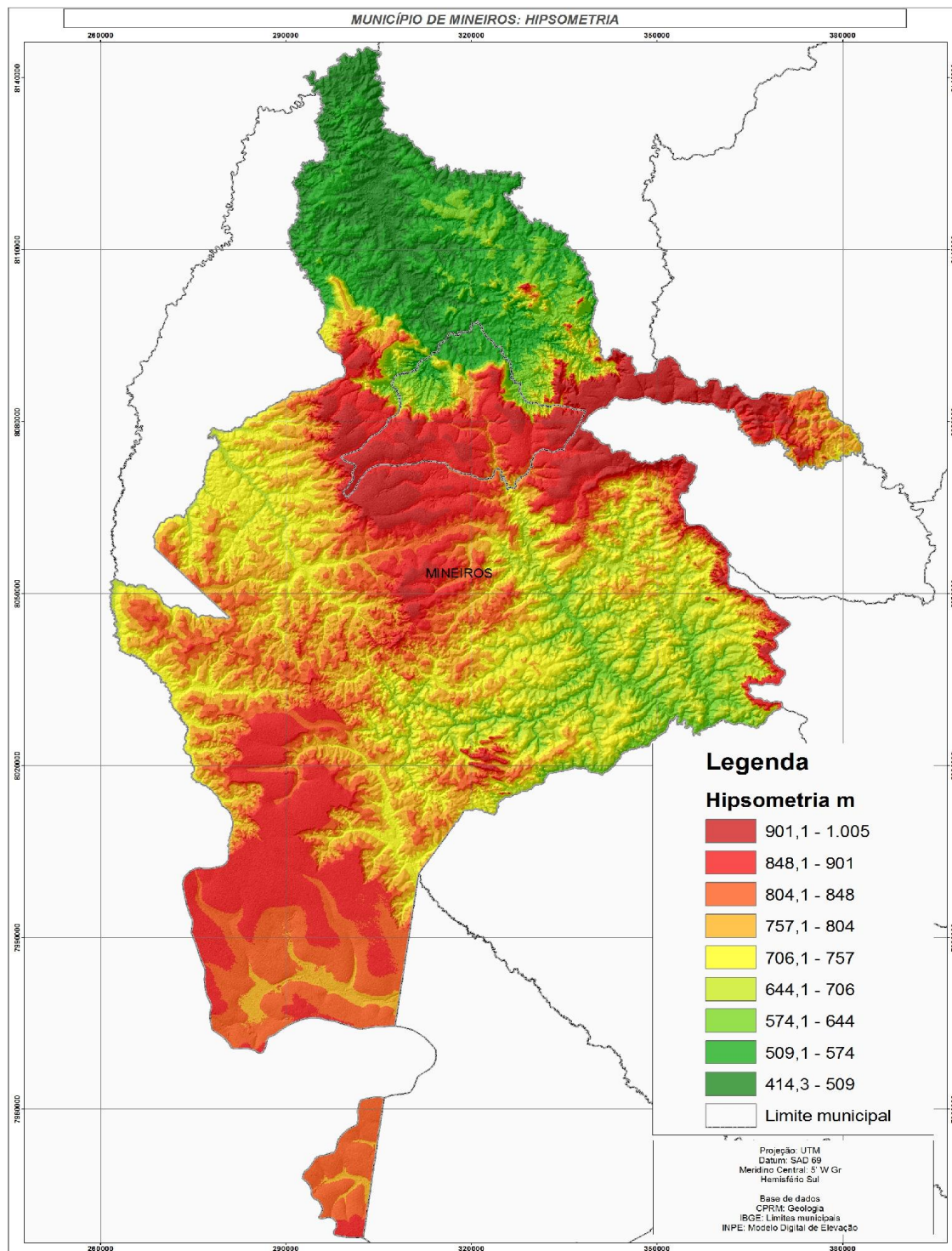


Figura 10 – Mapa hipsométrico município de Mineiros.

5.5 – Declividade

O município de Mineiros apresenta uma topografia favorável à recarga do aquífero, ou seja, com baixa declividade, grande porção com menos de 9% (Figura 11), que favorece as práticas agrícolas, que segundo Santos e Miziara (2008), no estado de Goiás, a modernização da agropecuária está associada ao processo de expansão da fronteira agrícola, a qual é caracterizada, em geral, pela marcante transformação na utilização das terras e no padrão tecnológico empregado, tanto em áreas de agricultura – correção do solo e novas técnicas de plantio que depende da topografia do solo –, como em áreas de pecuária, caracterizada pela substituição das pastagens naturais por pastagem plantadas.

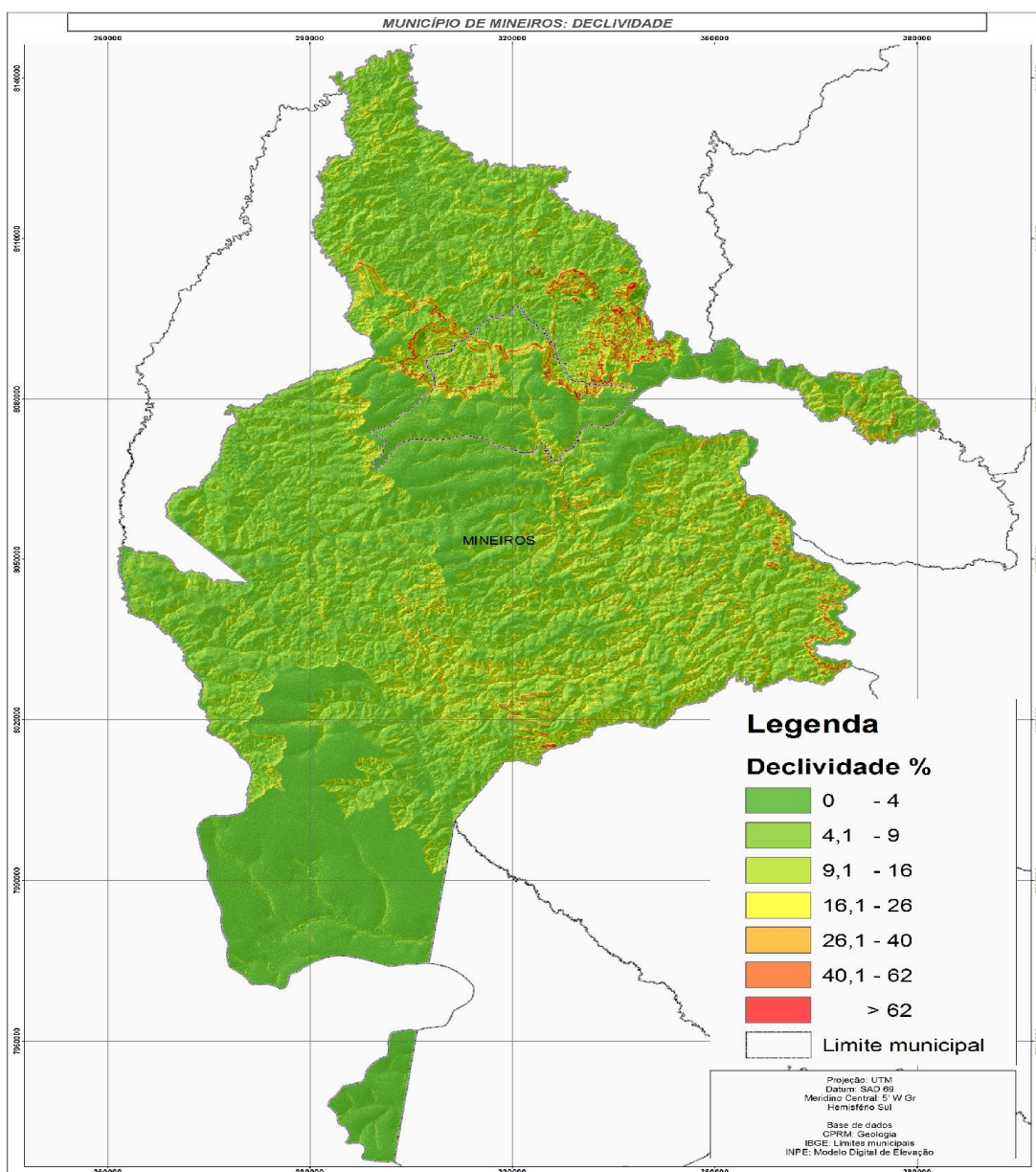


Figura 11 – Mapa de declividade município de Mineiros-GO.

Ainda ressaltam os mesmos autores, que esse processo é fortemente influenciado pelos fatores naturais, como tipo de solo e topografia. Nesse caso, o município de Mineiros é privilegiado pela baixa declividade de seus terrenos, o que facilita a utilização de maquinários. Assim, as áreas antropizadas vêm aumentando graças à atividade agrícola intensa do município. A agricultura, grosso modo, vem se expandindo sobre áreas de pastagens que, por sua vez, tendem a ocupar áreas de vegetação nativa, ou seja, gerando novos desmatamentos.

5.6 – Clima

Estudo realizado por Almeida et al. (2006) com a utilização de 114 estações pluviométricas, propiciou caracterizar no Estado de Goiás, um período chuvoso (outubro a abril) e outro seco (maio a setembro), além do índice pluviométrico médio anual, cujo valor está em torno de 1532 milímetros/ano. Ainda, permitiu constatar que o Sul goiano, onde se situa a área de Mineiros e o SAG no Estado, recebe mais chuvas do que suas regiões ao centro e ao norte. No período chuvoso no município de Mineiros observa-se uma precipitação pluvial de 1600-1700 milímetros. Essa característica é favorável à recarga do aquífero. Já o período seco é caracterizado por precipitações de 150-175, para a maior parte do estado, não ultrapassa 100 milímetros nesse período. Assim, os valores de precipitação pluviométrica são muito importantes para avaliar o potencial de infiltração e recarga dos aquíferos.

5.7 – Solos

Na hidrogeologia os solos representam a matriz por onde os processos de recarga dos aquíferos se iniciam. Eles desempenham três funções vitais para os aquíferos: de filtro, regulador e de recarga. Solos porosos facilitam a infiltração e percolação das águas pluviais e de textura média, não. Por outro lado, solos argilosos bem estruturados (estrutura estável) podem apresentar taxas de infiltração tão altas quanto às dos solos arenosos, e apresentam, seguramente, taxas de infiltração maiores do que os solos argilosos com estrutura instável (BRANDÃO et al., 2007).

As classes de solos encontradas no município são Latossolos, Neossolos, Argissolos, Gleissolos e Cambissolos (Figura 12). Segundo Castro (2005) nas condições climáticas da Alta bacia do rio Araguaia os geoquímicos geram solos profundos, muito evoluídos, empobrecidos em elementos altamente solúveis (Na, Ca, K, Mg) e enriquecidos em elementos menos solúveis e resistentes ao intemperismo (Fe, Al, Si). Assim, os solos que predominam

na região são os Latossolos Vermelhos-Amarelo e Vermelho (EMBRAPA, 2006) com textura a variar de média a argilosa, comumente associados a Solos Concrecionários, e Neossolos Quartzarênicos (Castro, 2005).

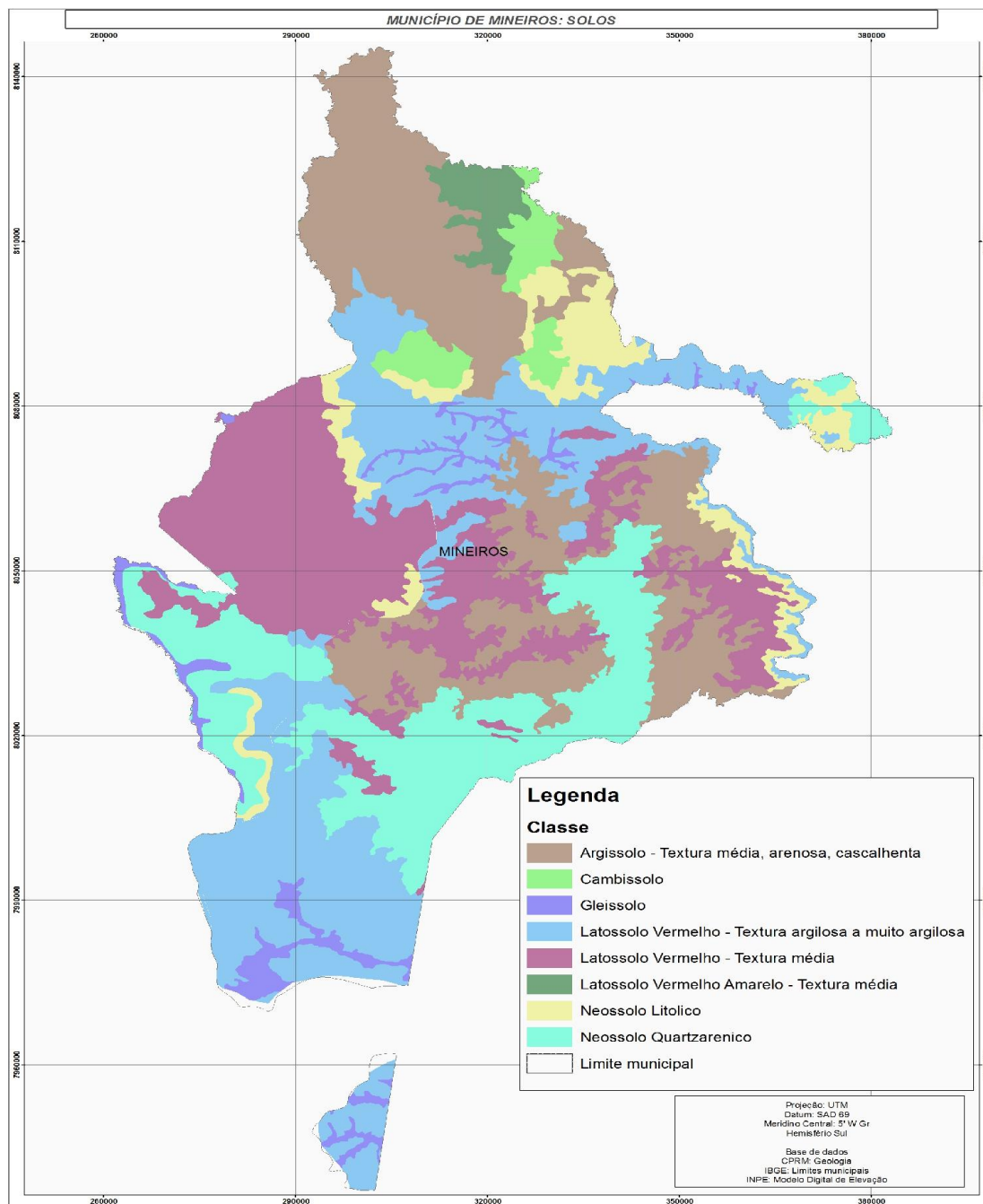


Figura 12 – Mapa de solos município de Mineiros. Nunes, 2012.

Os Neossolos Quartzarênicos apresentam textura arenosa, composição granulométrica dominada pelas classes areia ou areia franca. São solos bastante suscetíveis à erosão, sobretudo quando sujeitos a fluxo de água concentrado, que pode provocar a instalação de extensas e profundas voçorocas. São solos muitos permeáveis, excessivamente drenados e geralmente sem estrutura desenvolvida (CASTRO, 2005). É comum observar-se um ligeiro aumento de argila em profundidade (ALMEIDA, et al., 2006). Na área de estudo os Neossolos Quartzarênicos ocorrem associados aos arenitos das Formações Botucatu, sendo considerados como dela derivados.

Os Latossolos de textura média a argilosa com estrutura granular ou grumosa ocupam uma área significativa do município, sobretudo sua porção central, mais elevada e mais aplainada. O alto teor de areia e/ou a estrutura granular e grumosa¹ contribuem para uma maior porosidade efetiva, e conseqüentemente boa condutividade hidráulica, que facilita a recarga do aquífero. Em geral são distróficos, com moderada capacidade de troca catiônica, o que resulta em baixa fertilidade natural (ALMEIDA et al., 2006).

Os Argissolos são solos de profundidade variável, com horizontes bastante contrastados, arenosos em superfície e argilosos em subsuperfície e, por isso, podem apresentar drenagem desde muito a pouco eficiente, respectivamente, o que pode induzir formação de lençóis suspensos causando hidromorfia. Costumam ser de fraca a moderadamente ácidos. Além dessas características que os diferenciam dos Latossolos, acrescenta-se a maior facilidade de desenvolvimento de estrutura média a grossa nos horizontes argilosos. Em função disso a argila em subsuperfície se constitui numa barreira à recarga dos aquíferos, bem como, numa defesa à contaminação, devido sua elevada capacidade de retenção hidrogéocímica. Eles se situam em topografia mais rebaixada que a dos Latossolos e em declividades mais acentuadas, também, dificultando a recarga do aquífero (OLIVEIRA, 2009).

5.8 – O Uso do solo e cobertura vegetal

A segmentação das imagens do mapa do uso do solo no município foi realizada no software ArcGis. No processo de classificação definiu-se 30 classes, que posteriormente foram convertidas em formato raster e reclassificadas manualmente com base na interpretação das imagens. Após considerar os parâmetros espaciais e espectrais das imagens (cor, textura, forma e relevo), optou-se por agrupar os resultados em quatro classes: Remanescentes

¹ Textura compostas de agregado arredondados e porosos (CURI, 1993).

(englobando as fitofisionomias do Bioma Cerrado residuais); Áreas Urbanas, Pastagens e Agricultura. Assim, pode constatar-se que em 2010 o uso do solo em Mineiros, apresentava metade de sua área total transformada em uso agropecuário, com ligeira dominância da agricultura (~28%) sobre a pecuária (~22%), o que significa quase 500 mil em pouco mais de 900 mil ha. Considerando-se que a pecuária é extensiva, utilizando poucos insumos, deduz que os corretivos e defensivos se concentraram em 250 mil ha de área agrícola, conforme Tabela 4 e Figura 13.

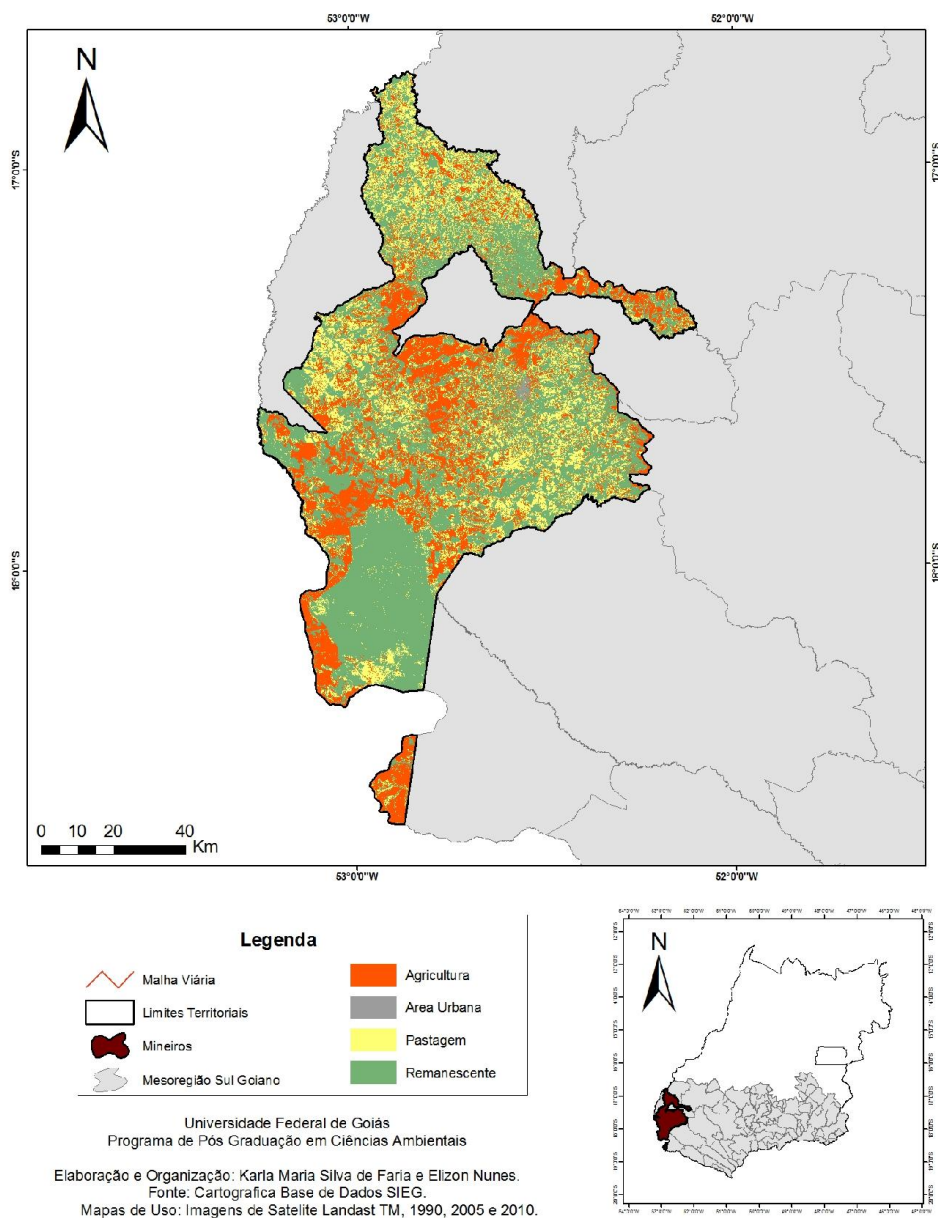


Figura 13 – Mapa do uso do solo no município de Mineiros (GO), 2010, mesorregião Sul Goiano.

Tabela 4 – Uso do solo no Município de Mineiros ano de 2010.

<i>USOS</i>	Ano de 2010	
	Área (ha)	%
Remanescentes	453.810,99	50,18
Agricultura	249.736,48	27,61
Área urbana	1.344,48	0,15
Pastagem	199.561,47	22,06
total	904.453,71	100

Fonte: Imagens Landsat, 2010.

5.9 – O SAG na área de estudo

No município são encontradas inúmeras nascentes d'água, muitas relacionadas ao afloramento do SAG, que drenam para vários rios, como os rios Araguaia, Verde, Formoso e Jacuba, sendo que os dois últimos drenam áreas do Parque Nacional das Emas. No Município de Mineiros, o SAG alimenta duas importantes bacias hidrográficas, a Alta Bacia do Rio Araguaia e a Alta Bacia do Rio Paranaíba. Essa última faz parte de uma das bacias mais importantes do Brasil, a Bacia do Sedimentar Rio Paraná.

No estado de Goiás, o SAG está distribuído por uma área de 44.718 km² (Figura 14). A área de ocorrência compreende três zonas aflorantes, que juntas somam 9.580 km² e a porção confinada com 35.138 km². A zona de afloramento mais representativa, com 8.832 km², está localizada na região de Mineiros, que se estende desde o município de Santa Rita do Araguaia até o município de Serranópolis. A segunda área mais expressiva de afloramento, com área de 705 km², localiza-se no município de Jataí (OLIVEIRA e VIEIRA, 2011).

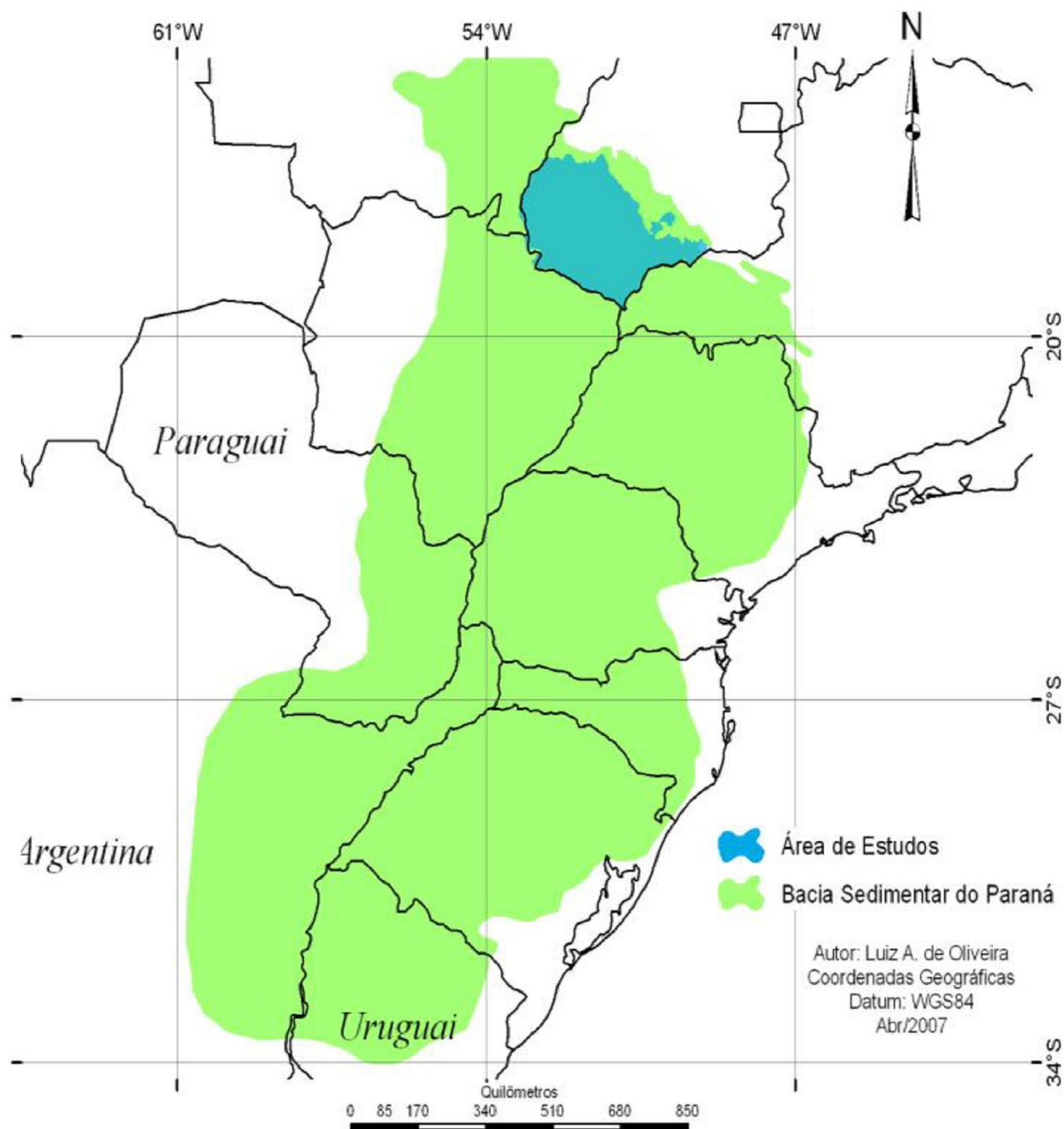


Figura 14 – Mapa de localização do SAG no estado de Goiás.
Fonte: Oliveira e Vieira, (2010).

6.0 – Localização espacial dos poços

A localização dos poços foi realizada junto à Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recurso Hídricos Goiás (SEMARH-GO, 1969). No momento da pesquisa a SEMARH-GO possuía o registro de pré-outorga de 163 poços no município (Figura 15). Assim, o estudo de espacialização e definição dos poços a serem feitas as coletas foi realizado com esses dados disponíveis para a elaboração do plano de amostragem.

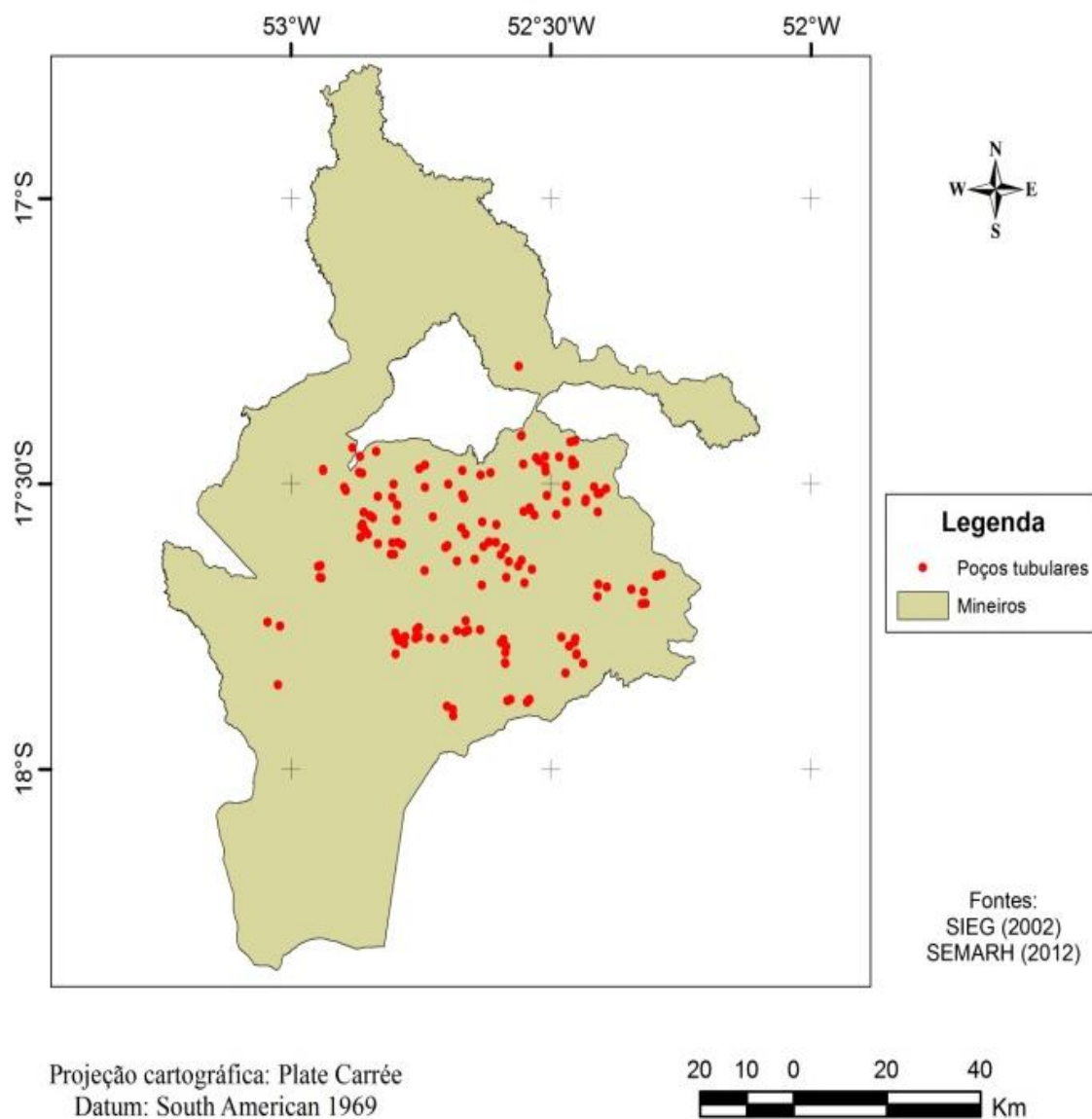


Figura 15 – Mapa de localização dos poços em Mineiros-GO.

REFERÊNCIAS:

- ACHUCARRO, W. C. Mais de quatro mil empresas se cadastram para explorar o Aquífero Guarani. **Revista digital Aguaonline**. Ed. 185. Disponível em: <http://www.aguaonline.com.br>. Acesso em: 22 nov. 2011.
- ALMEIDA, L. de; RESENDE, L.; RODRIGUES, A. P.; CAMPOS, J. E. G. **Hidrogeologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Série Geologia e Mineração**. Governo do Estado de Goiás. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia-Goiás. 2006, 232p
- ALVES, T. M.; CASTRO, S. S. de. Vulnerabilidade e Risco à Contaminação dos Solos da Área de Recarga do Aquífero Guarani no Estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 29, nº1, 2009, p.135-150.
- ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional/**Agência Nacional de Águas**; Engencorps/Cobraque, Brasília, 2010, 68p.
- BARBALHO, M. G. da S.; CAMPOS, A. B. de. Vulnerabilidade natural dos solos e águas do estado de Goiás à contaminação por vinhaça utilizada na fertirrigação da culutra de cana-de-açúcar. **Boletim Goiano.geogr**, Goiânia, v. 30, jan/jun. 2010, p.155-170.
- BORGUETTI, B. R. N.; BORGHETTI, R. J.; ROSA FILHO, E. F. **O Aquífero Guarani**. 2010. Disponível em: < www.oaquiferoguarani.com.br >. Acesso em: 05 de abril de 2011.
- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Fundação Roberto Marinho. Curitiba, 2004, 214 p.
- BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A. PRUSKI, F. F.; SCHERFER, C. E. G. R., MARTINEZ, M. A. Perda de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Eng. Agríc.** V. 27, no. 1 , Jaboticabal, 2007, p.129-138.
- CABRAL, J. et al. **Recursos Hídricos Subterrâneos**. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre. ABRH. 2001, p. 237-277.
- CARDOSO, A. **Água na medida certa: a hidrometria no Brasil**. Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília, 2012, 72p.
- CASTRO, S. S. Water erosion in upper Araguaia river basin; distribution, controls, origin and actual dynamic. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 17, 2005, p.38-60.
- CASTRO, S. S. de; XAVIER L. S. de; BARBALHO, M. G. S. da (Orgs.). **Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha**: condicionantes dos processos erosivos lineares. Goiânia: SEMARH, 2004. 74p.
- CURI, N. **Vocabulário de Ciência do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993, 90p.

DECOUD, P.; ROCHA, L. 2000. Aportes a la hidráulica subterránea del Acuífero Guarani en el NW del Uruguay. *In: 1st Joint World Congress on Groundwater*, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABS – Fortaleza, 2000, 16p.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2ª ed. EMBRAPA-SPI, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006, 306 p.

FOSTER, E. S.D.; HIRATA, R. C.; ROCHA, A. Riscos de Poluição de Águas Subterrâneas; uma Paulo: 2000, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 1 CD.

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALVES, V. G.. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. São Paulo, Signus Editora, 1ª Edição, 2006, 502p.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A.; PERIERA, A. S. **Caracterização das Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil – base para uma proposta de gestão sustentável**. EMBRAPA, Jaguariúna-SP, 2006, 23p.

HIRATA, R. et al. Sistema Aquífero Guarani: gestão e sustentabilidade de um grande recurso. *In: RIBEIRO, W. C. (Org). Governança da água no Brasil*. São Paulo, ed. Anablume, 2009.

HIRATA, L. M.; SILVA, E.F. Os Recursos Hídricos subterrâneos e as Novas Exigências Ambientais. **Revista IG**. v.14, n.1, 1993, p.39-42.

MACHADO, J. L. F. A redescoberta do Aquífero Guarani. **Scientific American Brasil**, São Paulo, n. 47, 2006, p.33-39.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: uso racional e reúso**. Oficina de Textos. São Paulo, 2005, 293p.

OLIVEIRA, L. A. **Aspectos Hidrológicos das Sequências Pré-Cenozóicas nas Regiões Sul e Sudoeste do Estado de Goiás**. Monografia de Seminário II – Instituto de Geociências Universidade de Brasília, 2005, 25p.

OLIVEIRA, L. A. **Sistema Aquífero Guarani no Estado de Goiás: Distribuição, Caracterização, Hidrodinâmica, Hidroquímica, Composição Isotópica e CFCs**. Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Brasília – DF, 2009.

OLIVEIRA, L. A. de; VIEIRA, A. S. Estado da Arte do Sistema Aquífero Guarani. *Caminhos de Geografia – Revista on line*. **Instituto de Geografia UFU**. V.11, n.34, p.174-189, 2011.

MIZIARA, F. Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no cerrado: o caso de Goiás. *In: Guimarães, L. D. A; SILVA, M. A. D; ANACLETO, T. C. (Org.). Natureza Viva Cerrado: Caracterização e conservação*. Cap. VII, 1ª ed., Goiânia: Editora UCG, 2006, p.169-196.

ROCHA, G. A. O grande manancial do Cone Sul. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 30, 1997, p. 191-212.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª edição, São Paulo, Escrituras Editoras, 2006, 748p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. 1ª Edição, Editora Manole Ltda, São Paulo, 1987, 188p.

SALATI, E.; LEMOS, H. M. de; SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. In: **Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**, 3ª Edição, São Paulo, Escrituras Editoras, 2006, 748p.

SANTOS, R. P.; MIZIARA, F. A. A expansão da Fronteira Agrícola em Goiás: análise da influência das características “naturais” do espaço. In: IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, Brasília, *Anais do IV encontro nacional da Anppas*, 2008, p.1-12.

SILVA, J. B.; RAMALHO, D. S.; GUERRA, L. D.; VASCONCELOS, C. R. P. de. As concepções da escassez de recursos hídricos no Brasil e no mundo: a saída é a cobrança? **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v. 7, n. 12, 2006, p.153-164.

SOUZA, L. C. de. **Águas subterrâneas e a legislação brasileira**. Curitiba, editora Juruá, 2009, 236p.

TUDSISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. Rima/IIE, 2003, 248p.

VEROSLAVSKY, G.; LÓPEZ, F.; GUILLO, V. A.; CASACCIA, J. L.; ROSSI, V. Avanços no Conhecimento do Sistema Aquífero Guarani. Projeto de Proteção Ambiental de Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. **Consórcio Guarani**, Rio Claro, 2008, 120p.

PARTE III

VULNERABILIDADE NATURAL E PERIGO À CONTAMINAÇÃO DE ZONA DE RECARGA DO AQUIFERO GUARANI.

NATURAL VULNERABILITY AND DANGER OF CONTAMINATION OF THE RECHARGE ZONE OF THE GUARANI AQUIFER IN BRAZIL.

José Carlos Rodrigues MEIRA, Alfredo Borges de CAMPOS, Lindolfo CAETANO Pereira Júnior.

Resumo

Este estudo foi realizado na alta bacia do Rio Paranaíba (área 2.606 km²), no Município de Mineiros, estado de Goiás. Consistiu na avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação da área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG) em que está restrito à formação Botucatu. A vulnerabilidade à contaminação foi avaliada através do método GOD, que permitiu identificar as classes: baixa, moderada e alta. Determinou-se que 27,34% da área possui vulnerabilidade alta; 69,20% moderada e 3,46% baixa. Através do método POSH (Pollutant Origin Surcharge Hydraulically) foi realizada a classificação das fontes potenciais de contaminação antrópica, definidas como: não existente, reduzida, moderada e elevada. Verificou-se que 43% da área não possui potencial contaminante, 44,72% apresenta potencial moderado e 12% elevado potencial contaminante. Não foi mapeada área com reduzido potencial. Ficou evidente que a região a oeste da área de estudos apresenta um maior perigo à contaminação do aquífero. Também, evidenciou nove agrupamentos de extremo perigo à contaminação com área total de 104,93 km² correspondente a 4,03% da área de estudo e 21,9% da área possui alto perigo de contaminação. Os dados obtidos demonstram que existem áreas que requerem atenção. Por isso a gestão deste aquífero inspira cuidados, sobretudo preventivos, com desenvolvimento apropriado de atividades agroindustriais, e adequação de tipos de uso, manejo e conservação dos solos às características do aquífero na área de estudo.

Palavras-chave: GOD, POSH, Aquífero Guarani, vulnerabilidade e perigo à contaminação.

ABSTRACT

This study aimed assessing the vulnerability and danger of contamination of the recharge area of the Guarani Aquifer System (SAG), which is restricted to the Botucatu formation, located in the high basin of the Rio Paranaíba (2606 km² area) in the municipality of Mineiros, state of Goiás. The methodology for assessing vulnerability to groundwater contamination was

performed by the GOD method, which allowed the identification of classes : low, moderate and high . The results indicated that 27.34 % of the area has high vulnerability; 69.20% moderate and 3.46 % low. The POSH (Pollutant Origin Surcharge Hidraulically) method was used to rank the potential sources of anthropogenic contamination as nonexistent, low, moderate and high. It was found that 43.00 % of the area had no contaminant potential, 44.72 % had moderate potential and 12.00% showed high contaminant potential. There was not a mapped area with low potential. It was evident that the west region of the area of study showed a greater danger to the contamination of the aquifer. It was also possible to notice nine clusters of extreme danger to the contamination with a total area of 104.93 km², which corresponded to 4.03 % of the area of study and 21.9 % of the total area had a high risk of contamination. Thus, the data showed that there were areas that require further environmental control. Therefore, the management of this aquifer requires care to maintain groundwater quality, especially preventive initiatives, which should be connected to the appropriate development of agrobusiness activities and suitable types of use, management and conservation of soil characteristics of the aquifer in the area of study.

Keywords: GOD, POSH, Guarani Aquifer, vulnerability, danger to the contamination.

INTRODUÇÃO

As reservas hídricas subterrâneas respondem por aproximadamente 97% de toda água doce disponível para uso. Entretanto, em função de se tratar de um recurso não facilmente observável, não raro, é uma fonte desconsiderada pela população. Ambientalistas, Governantes e outros formadores de opinião não dispensam a devida atenção a essas reservas hídricas. Na literatura sobre meio ambiente utilizada no ensino brasileiro, verifica-se que a água subterrânea ocupa um espaço ínfimo, sendo o foco principal as águas superficiais (PEDROSA; CAETANO, 2002).

Tal fato aliado ao consumo hídrico no planeta implicará notadamente em uma pressão sobre essa reserva vital para manutenção do equilíbrio ambiental terrestre. Segundo Ribeiro (2008) as águas subterrâneas se distribuem irregularmente no interior da superfície terrestre e não respeitam os territórios político administrativo, e ainda Ribeiro (2008) é mais um elemento a ser considerado quando se pensa na gestão dos recursos hídricos subterrâneos em escala internacional.

Rebouças et al. (2006) alerta para as formas desordenadas de extração de águas subterrâneas, onde poços mal projetados ou abandonados, sem qualquer medida de proteção, constituem os principais focos de poluição do manancial subterrâneo no meio urbano. Nesse contexto, Hirata (2003) ressalta que se consumada a contaminação dos recursos, pode haver limitação da oferta de água, encarecendo a sua utilização e causando problemas à saúde humana e danos ambientais. Numa tentativa de apontar soluções para o problema da contaminação da água, Souza (2009) deixa claro que se aplicada a doutrina da prevenção e da precaução, princípios basilares do direito ambiental, pode-se garantir não só água de boa qualidade e em quantidade suficiente, mas também saúde à população.

O mapeamento de áreas suscetíveis à contaminação por fontes antropogênicas, através da avaliação de vulnerabilidade, risco e perigo à contaminação, empregando métodos diferentes, vem sendo utilizado em vários trabalhos: Al-Adamat et al. (2003); Aller et al. (1985); Antonakos e Lambrakis (2007); Babiker et al. (2005); Caldwell et al. (1981); Canter et al. (1987); Foster e Hirata (1988); Hagerty et al. (1973); Kulfs (1980); Le Grand (1964); Neukum e Rahman (2008), Nobre et al. (2007); Taltasse (1972). Esses métodos tornaram-se ferramentas importantes para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Assim, adoção de medidas preventivas demanda certo conhecimento das características intrínsecas que determinam a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos. Ela é consequência das propriedades naturais dos estratos que o separam da superfície da terra, ou seja, está diretamente ligada às particularidades do meio físico que definem uma região, enquanto o potencial à contaminação trata-se da carga contaminante que é, será ou poderá ser aplicada no meio como resultado da atividade antrópica. Neste contexto, a abordagem mais lógica para definição do perigo de contaminação da água subterrânea é considerá-lo como a interação entre a vulnerabilidade e o potencial à contaminação (FOSTER et al., 2006).

A expressão perigo à contaminação é definida como a probabilidade de que a água de um aquífero atinja níveis inaceitáveis de contaminação em decorrência das atividades antrópicas que se realizam na porção imediatamente acima da superfície do solo (ADAMS; FOSTER, 1992; FOSTER; HIRATA, 1988). Sua avaliação tem como efeito prático a melhor definição de ações mitigadoras aos resultados da ação humana sobre as reservas subterrâneas.

Nesse contexto a utilização de métodos para definição da vulnerabilidade, potencial e perigo à contaminação dos aquíferos torna-se fundamental ao exercício de gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Vale ressaltar que no Brasil, as bases cartográficas são bastante insipientes, sobre tudo no Centro-oeste, Norte e Nordeste do país. Segundo dados do

CONCAR (2013), apenas 1% do território nacional encontra-se mapeado em escala 1:100.000, tal fato evidencia as dificuldades de obtenção dos insumos necessários a estudos mais acurados de qualidade das águas subterrâneas. Como forma de contornar tal situação a aplicação de métodos que demandem apenas a utilização de dados de fácil acesso e de simples obtenção tornam possíveis tais análises.

Os métodos GOD e POSH (Pollutant Origin Surcharge Hydraulically) possuem a simplicidade conceitual e também demandam bases que são, até certo ponto, acessíveis. Desse modo a utilização de tais métodos permite uma avaliação da situação natural, do potencial e do perigo à contaminação existente em uma dada região.

O método GOD, segundo Foster et al. (2002), é amplamente aplicado nos países da América Latina em virtude do seu bom desempenho, menor custo e maior facilidade de obtenção das informações nele utilizadas. O método avalia a vulnerabilidade do aquífero à contaminação que é consequência das características naturais dos estratos que o separam da superfície da terra, utilizando três parâmetros: tipo de aquífero (G), a litologia e grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes (O) e a profundidade do nível freático do aquífero (D).

O método POSH refere-se à possibilidade de geração de uma carga poluidora identificado as substâncias tóxicas armazenadas e/ou manipuladas e a existência de carga hidráulica associada à essas substâncias no processo ou no destino final dessas substâncias. Basicamente, este método ampara-se nos seguintes aspectos: localização da atividade poluidora, início e fim do funcionamento, tipo e tamanho da atividade e uso ou disponibilidade de água (FOSTER; HIRATA, 1988).

Cutrim e Campos (2010) alertam que é necessária cautela e também ponderações, para as interpretações e utilização dos resultados, pois a elaboração do mapa de vulnerabilidade envolve muitas simplificações geológicas e hidrogeológicas. Além disso, os mapas de vulnerabilidade são elaborados com base nos dados disponíveis no ato de sua construção e alguns desses dados podem variar temporal e espacialmente. Assim, estes mapas deverão ser atualizados periodicamente para melhor cumprir as suas finalidades.

Devido à importância da proteção das águas subterrâneas, o Aquífero Guarani foi escolhido para aplicação dos métodos GOD e POSH em sua zona de recarga localizada no município de Mineiros, Estado de Goiás. Segundo Veroslavsky et. al (2008), o SAG representa um típico exemplo de aquífero transfronteiriço, estendendo-se por 1.087.879,15 km²,

assim distribuídos: na Argentina, ocupa área de 228.255,26 km²; no Brasil, 735.917,75 km²; no Paraguai, área de 87.535,63 km²; e no Uruguai, 36.170,51 km².

Rocha (1997) ainda ressalta que esse manancial dispõe de um volume aproveitável de água da ordem de 40 km³/ano. Isso corresponde a mais de 30 vezes a demanda por água de toda a população existente em sua área de ocorrência. O mesmo autor informa que seus recursos hídricos são em geral de excelente qualidade e aplicáveis a todos os fins em quase toda a área.

Assim, o objetivo desse estudo foi mapear a vulnerabilidade natural à contaminação através do método GOD e o risco à contaminação pelo método POSH da alta bacia do Rio Paranaíba no município de Mineiros no estado de Goiás.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Mineiros está localizado no sudoeste Goiano, com área de 8.896 km², situa-se geograficamente em terras como altitudes que variam entre 770 a 1100 metros. A precipitação média anual é de 1853 mm, temperatura entre 18 e 20 °C e clima definido basicamente por duas estações: uma seca, com temperaturas amenas e a outra chuvosa, com temperaturas elevadas. O cerrado é a vegetação predominante, que tem sido em grande parte, substituída por pecuária extensiva e pelas culturas de soja, milho, sorgo e recentemente pela cana-de-açúcar. No município são encontradas inúmeras nascentes d'água, muitas relacionadas ao afloramento do aquífero, que abastecem vários rios, como Araguaia, Verde, Formoso e Jacuba, os dois últimos, drenam áreas do Parque Nacional das Emas.

Em Mineiros, o Aquífero Guarani encontra-se interligado a duas bacias hidrográficas: Alta Bacia do Rio Araguaia (norte) e a Alta Bacia do Rio Paranaíba (Sul). Este estudo focou a porção do Aquífero Guarani presente no domínio da Bacia do Rio Paranaíba, cuja área é de 2.606 km² (Figura 1). Segundo Campos (1996), o SAG engloba unidades geológicas confinadas, sotopostas aos basaltos, compostas por arenitos e lamitos, com aumento da proporção de argilas em direção à base do pacote sedimentar. Para Decoud e Rocha (2000), a porção confinada está sotoposta a espessos derrames basálticos correspondentes as Formações Serra Geral (Brasil). Essa condição geológica faz com que aproximadamente 90% do SAG estejam confinados e o restante ocupa áreas em faixas de afloramento e recarga (ARAÚJO et al., 1995).

Na região Sul de Goiás, o SAG está restrito a Formação Botucatu e distribuído em uma área de 39.367,72 km² (VEROSLAVSKY et al., 2008). A área de ocorrência compreende três

zonas aflorantes e a porção confinada. A zona de afloramento mais representativa, com 8.832 km², está localizada na região de Mineiros, que se estende desde o município de Santa Rita do Araguaia até o município de Serranópolis (OLIVEIRA, 2009).

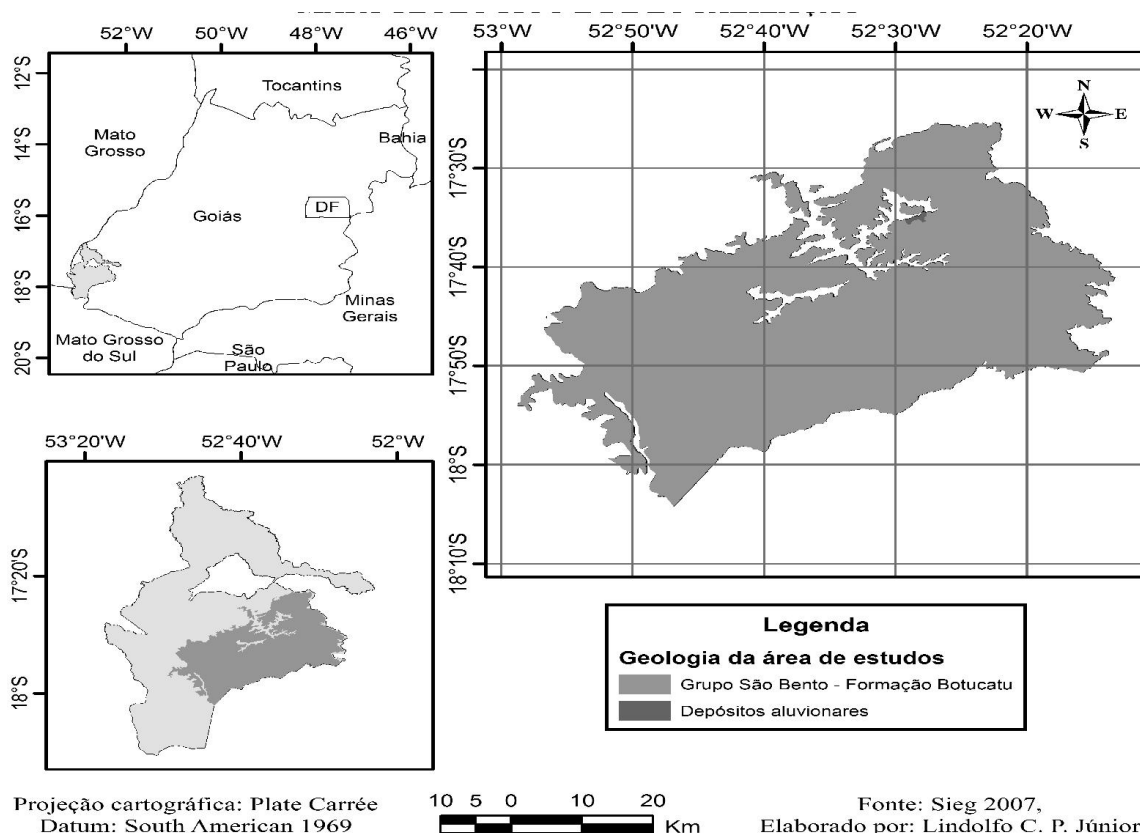


Figura 1 – Mapas Geológico e de localização.

A formação Botucatu é composta por arenitos eólicos, constituídos predominantemente por minerais de quartzo, arredondados (peito-de-pomba), granulação fina a média em meio a cimento de sílica, carbonato e ou limonita. Os arenitos estão dispostos em formas de dunas, interdunas e intertrapes entre derrames de rochas basálticas e ainda apresentam estruturas laminares, estratificadas plano-paralelas e estratificações cruzadas de baixo e alto grau e acanaladas. O contato superior com os basaltos da Formação Serra Geral é concordante, sendo comum a intercalação entre camadas de arenitos e basaltos (OLIVEIRA; VIEIRA, 2010). Segundo Oliveira (2009) de todas as unidades geológicas que compõem o SAG em território brasileiro, os arenitos da Formação Botucatu são os de maior distribuição espacial, ocorrendo em todos os locais de abrangência da Bacia Sedimentar do Paraná.

Segundo Gomes et al. (2008) a região onde se insere a área de estudo faz parte de uma das cinco regiões de recarga do Aquífero Guarani identificadas no Brasil, Paraguai e Uruguai em que predominam aquíferos do tipo livre, ou seja, mais susceptíveis à contaminação (Figura 2).



Figura 2 – Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani.

Fonte: adaptado de Borghetti et al., (2004).

As unidades de solos selecionadas para a aplicação do método GOD foram determinadas a partir do mapa de solos elaborado pela Superintendência de Geologia e Mineração da Secretaria de Estado de Indústria e Comércio de Goiás (2005), em escala 1:250.000. As classes de solos encontradas foram Latossolos Vermelhos, Neossolos quartzarênicos,

Argissolos e Neossolos Litólicos. A partir dessas classes predominantes chegou-se a três unidades de solos representativas para a aplicação do método GOD (Figura 3).

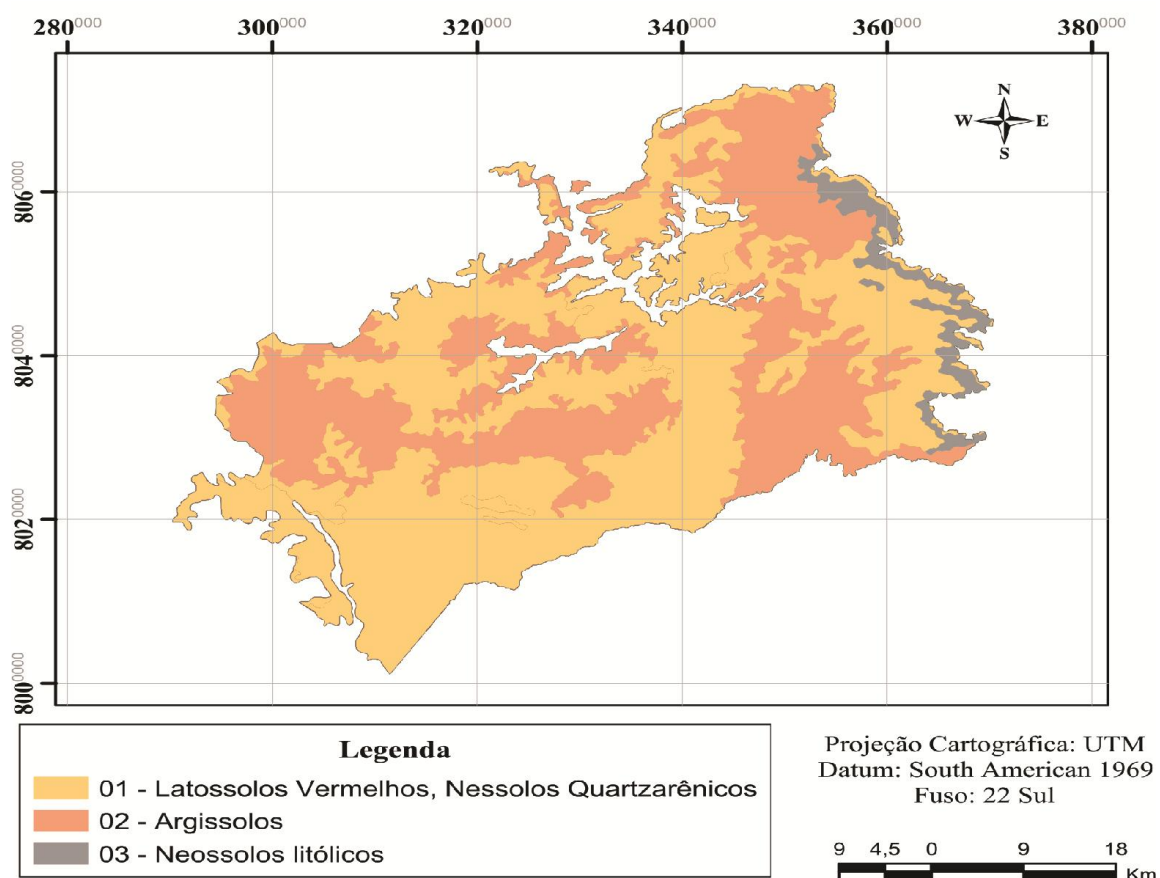


Figura 3 - Mapa das Unidades de solos. Fonte: SIEG - 2007.

A unidade 1 é composta por Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos, que dominam a região perfazendo aproximadamente 59% da área de estudo. Tais solos apresentam alta porosidade efetiva e consequentemente boa condutividade hidráulica, conferindo características de zonas de recarga do Aquífero Guarani subjacente. A unidade 2, composta por Argissolos que apresentam condutividade hidráulica moderada, representa 37% da área. Os Neossolos Litólicos ocupam menos de 4% da área e apresentam baixa condutividade hidráulica (Tabela 1).

Tabela 1 - Unidades de solos por área e porcentagem de distribuição na área.

<i>Unidades de solos</i>	<i>Classes de solos</i>	<i>Área (Km²)</i>	<i>Porcentagem</i>
1	Neossolos Litólicos	90,46	3,47%
2	Argissolos	964,7	37,01%
3	Latossolos Vermelhos, Neossolos Quartzarênicos.	1551,4	59,52%

MATERIAIS E MÉTODOS

Método GOD

No método GOD os três parâmetros: tipo de aquífero (G), litologia e grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes (O) e profundidade do nível freático do aquífero (D) recebem pesos que variam de 0 a 1. O produto da multiplicação destes três parâmetros determinará a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, como pode ser observado na Figura 4.

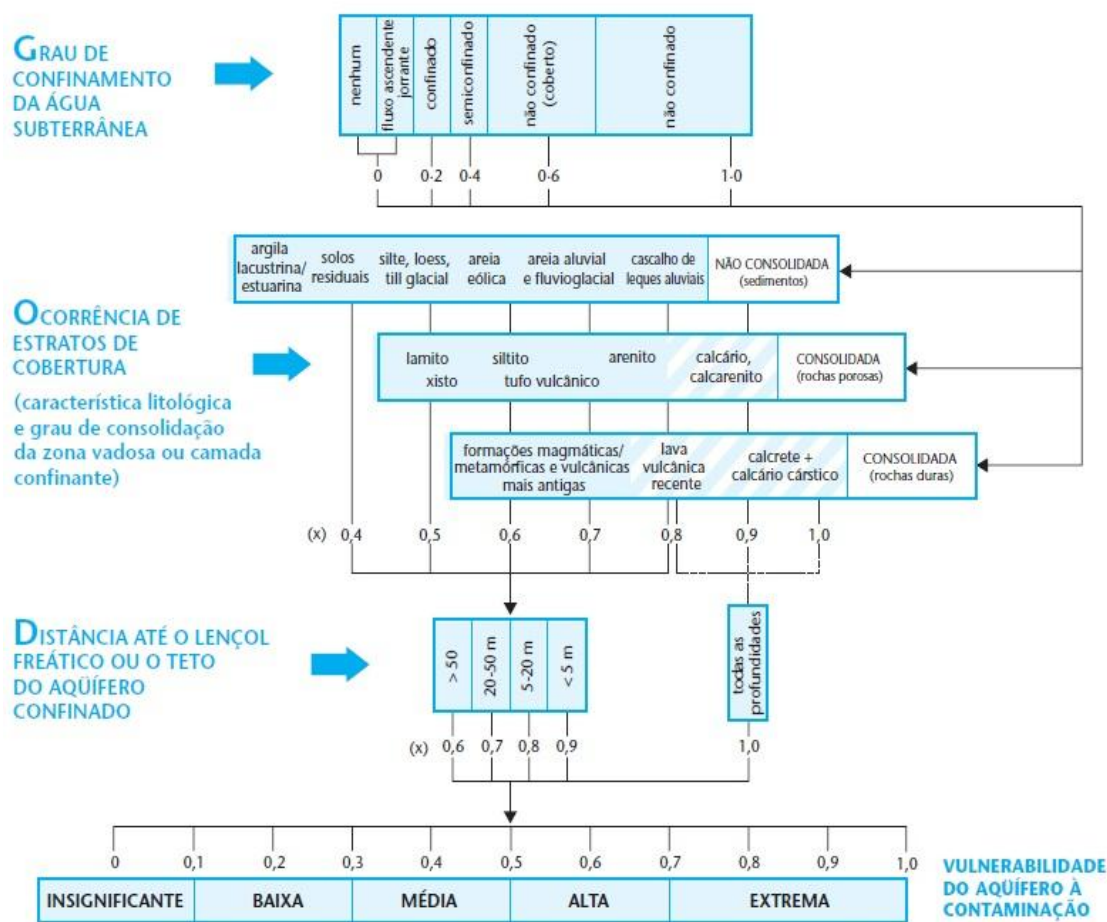


Figura 4 – Método GOD de avaliação de vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos. Fonte: Foster et al., (2006).

Nesse método é possível determinar as áreas mais suscetíveis à problemas de contaminação, possibilitando o direcionamento das ações preventivas às regiões prioritárias. Dessa forma pode-se atuar dentro dos princípios da prevenção e da precaução. Sendo este último uma referência indispensável em todas as abordagens relativas aos riscos ambientais (SOUZA, 2009).

Para a definição do parâmetro “G”, o valor 1,0 foi atribuído para toda área de estudo, pois em toda sua extensão o aquífero encontra-se na forma de aquífero livre, ou seja, constituído por uma formação geológica permeável e superficial e limitado na base por uma camada impermeável.

O solo e a litologia situados acima da zona saturada do aquífero condicionam o tempo de deslocamento dos contaminantes e os vários processos de sua atenuação. Dessa forma um solo ou uma rocha de granulometria grossa tem menor capacidade de atenuação do que um solo ou uma rocha de granulometria fina. Nesse contexto o parâmetro “O”, considera o tipo de solo ou litologia e recebe peso que varia de 0,4 a 1,0 (Figura 4) e seus resultados são representados em um mapa do parâmetro “O”.

A profundidade do nível do aquífero, parâmetro “D”, corresponde à distância que o contaminante terá de percorrer para alcançar a zona saturada do aquífero. Neste trabalho, “D” foi obtido através de dados de nível estático dos poços tubulares situados na área de estudo, que constam nos laudos de outorga. A partir desses, foram determinados os pesos de acordo com método GOD, ou seja, valores que variam de 0,6 a 1,0. Os poços com nível freático maior que 50 metros receberam peso 0,6, entre 20 e 50 metros receberam peso 0,7 e entre 5 e 20 metros receberam peso 0,8. Esses dados permitiram a interpolação, utilizando a ponderação pelo inverso da distância.

Método POSH

A análise do potencial contaminante foi realizada após a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo obtido com base na interpretação das imagens de satélite Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*), do ano de 2010. Estas possuem resolução espacial de 30 metros, resolução espectral de 0,45-0,90 μm , discriminados nos seguintes intervalos: azul - 0,45 μm , verde - 0,52-0,60 μm , vermelho - 0,63-0,69 μm e Infravermelho próximo - 0,76-0,90, adotando-se, portanto, a composição colorida 5, 4, 3 (RGB).

A segmentação das imagens foi realizada no programa ArcGis, através de processo de classificação não supervisionada, seguida de aplicação de filtro, visando eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança possibilitando dessa forma a obtenção uma imagem classificada com aparência menos ruidosa. No processamento foram definidas trinta classes, convertidas posteriormente para o formato vetorial e reclassificadas manualmente com base na interpretação das imagens. Após considerar os parâmetros espaciais e espectrais das imagens (cor, textura, forma e relevo), optou-se por agrupar os resultados em quatro classes: Remanescentes (englobando todas as fitofisionomias do Bioma Cerrado residuais); Áreas Urbanas, Pastagens, Agricultura e granjas (Figura 5).

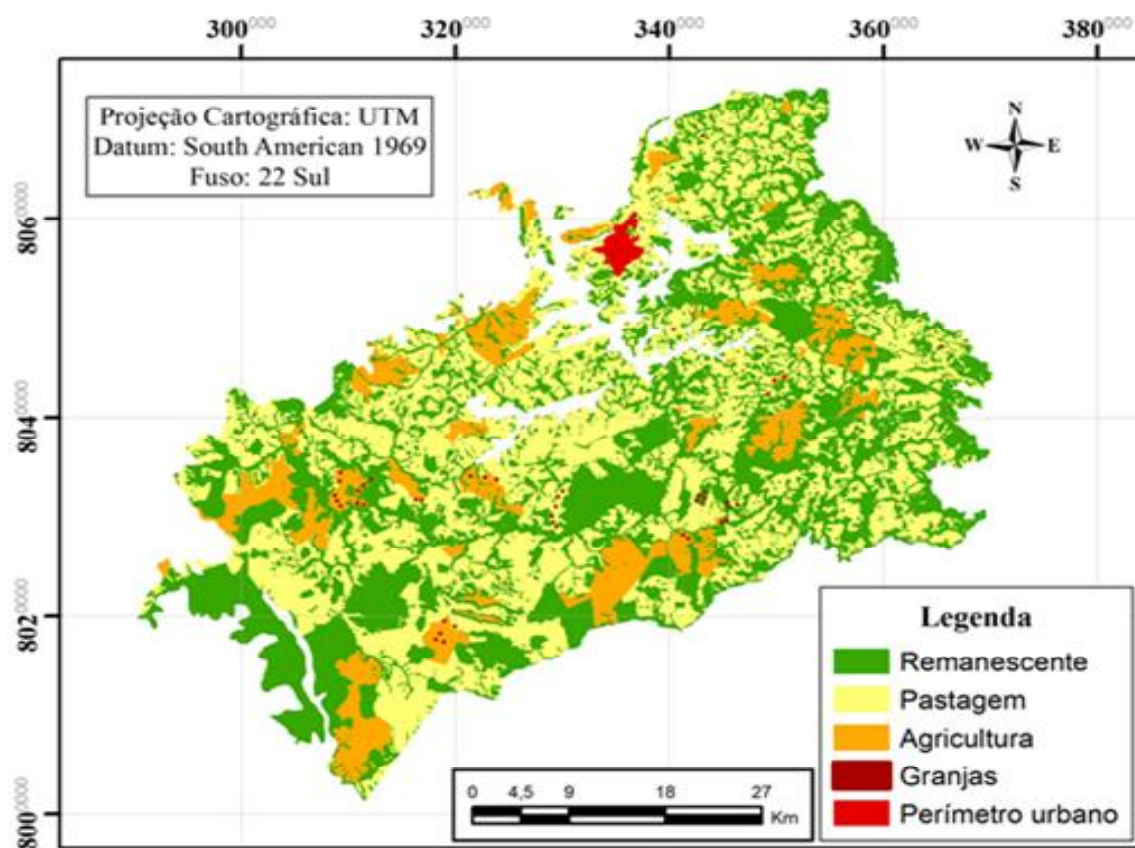


Figura 5 – Mapa do uso e ocupação do solo.

Através do mapa de uso do solo, foram delimitadas as áreas de pastagens 43,28%, agricultura 11,24%, área urbana 0,53%, perímetro das granjas 0,22% e as áreas de vegetação remanescente 43,3%. As fontes potenciais foram classificadas de acordo com o método POSH (Foster et al., 2002). Este as classifica em três níveis qualitativos de geração de carga

contaminante: reduzido, moderado e elevado. Levando em consideração o tipo de atividade antrópica na área de estudo e sua capacidade geradora de contaminante (Tabela 2).

Tabela 2 – Determinação do potencial contaminante, método POSH.

Uso e ocupação do solo	Potencial contaminante	Área Km ²	Porcentagem
Remanescente	Não existe	1128,2	43,28%
Pastagem	Moderado	1165,6	44,72%
Granjas, Perímetro urbano, Agricultura.	Elevado	312,76	12,00%
TOTAL		2.606,56	

A rede de esgotamento sanitário do município encontra-se bem desenvolvida, sendo que 87% da população da cidade conta com esse serviço (SAEE, 2012). Entretanto, na área urbana existem diversos poços tubulares profundos, mini-poços (Poços de pequena profundidade que captam água apenas do lençol freático, não atingindo aquíferos em formações rochosas) e cisternas que representam fontes potenciais de contaminação. Isso ocorre sobretudo pela manutenção precária de vários desses poços, conforme evidenciado em vistorias realizadas pela equipe da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás. Nesse sentido, o perímetro urbano foi considerado como zona de risco elevado. Além disso, existem os postos de combustíveis e as agroindústrias nessa área.

Nas áreas onde existem granjas, foi considerado um raio de 50 metros a partir de cada complexo para determinação de área de elevado potencial contaminante. Além desse tipo de atividade gerar carga de dejetos no ciclo de produção, nas áreas circunvizinhas geralmente ocorre a prática de culturas comerciais intensivas destinadas à produção de ração, sendo que essa atividade utiliza-se de grandes quantidades de insumos, como fertilizantes e agrotóxicos.

Perigo à contaminação

Foster et al. (2002) definem que o perigo à contaminação é resultado do cruzamento entre o potencial contaminante e a vulnerabilidade natural do aquífero, ou seja, trata-se da análise de sobreposição dos resultados obtidos pela aplicação dos métodos GOD e POSH. Nesse contexto o perigo pode ser definido como a interação entre as características naturais do sistema aquífero e as atividades antrópicas que são realizadas sobre ele.

Diante do exposto o perigo à contaminação na área de estudo foi definido a partir da classificação proposta por Foster et al. (2002), conforme Tabela 3. Tal procedimento foi realizado em ambiente de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) possibilitando a obtenção do mapa de perigo à contaminação.

Tabela 3– Matriz de determinação do perigo à contaminação.

		GOD		
		Baixa	Média	Alta
POSH	Não possui	Muito baixo	Baixo	Baixo
	Moderado	Baixo	Moderado	Alta
	Elevado	Moderado	Alto	Extremo

Adaptado de Foster et. al. (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Método GOD

Conforme já mencionado, para a definição do parâmetro “G”, o valor 1,0 foi atribuído para toda área de estudo, pois em toda sua extensão o aquífero é do tipo livre, ou seja, constituído por uma formação geológica permeável e superficial e limitado na base por uma camada impermeável. Na área predominam rochas arenosas pertencentes à Formação Botucatu e solos com condutividade hidráulica variável. Desta forma, foram atribuídos três unidades de classes de valores para o parâmetro “O”, relativos a sedimentos não consolidados e rochas porosas (Figura 6).

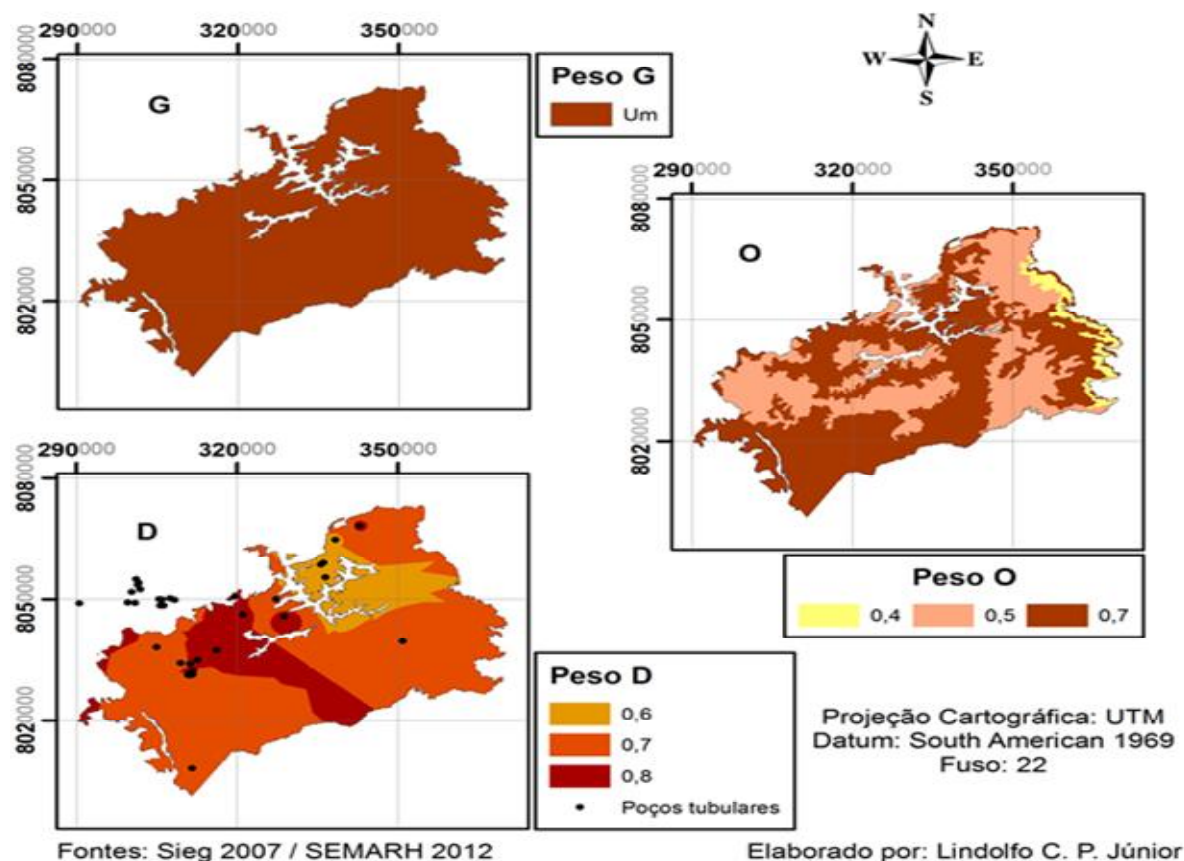


Figura 6 – Mapas de distribuições dos parâmetros GOD.

Considerando as 3 unidades do parâmetro D, a unidade 1 é composta de Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos e recebeu valor 0,7 pois essas classes de solos apresentam boa condutividade hidráulica, sendo a unidade dominante na área de estudo. A unidade 2, representada por Argissolos com condutividade hidráulica moderada, foi atribuído valor 0,5 e constitui a segunda com maior representação na área de estudo, enquanto a unidade 3 constituída de Neossolos Litólicos, com baixa condutividade hidráulica, recebeu valor 0,4 e ocorre somente na porção nordeste da área. A Figura 6 mostra a distribuição do parâmetro “O”.

O mapa do parâmetro “D” e sua porcentagem de distribuição na área de estudo são apresentados na Figura 6 e Tabela 4. Observa-se que em cerca de 2/3 da área o aquífero possui profundidade do nível freático entre 5 e 20 m, ou seja, são aquíferos rasos com nível freático próximos da superfície. Não foi identificado na área de estudos regiões com nível menor que 5 metros de profundidade.

Tabela 4 – Distribuição das classes do parâmetro “D” em área e porcentagem.

Classe do parâmetro “D”	Área (Km²)	Porcentagem
5 - 20	1569,8	60,22
20 - 50	1036,71	39,77
> 50	0,05	0,002
Total	2606,56	100

O mapa do índice GOD de vulnerabilidade natural à contaminação, gerado através do produto dos três parâmetros, é mostrado na Figura 7. Constatou-se que somente uma pequena porção da área mapeada apresentou baixa vulnerabilidade natural à contaminação. Esse resultado demonstra a potencialidade desta área de recarga do Aquífero Guarani, a contaminação, caso não haja uma política adequada de uso e manejo do solo. Observa-se um predomínio da classe de vulnerabilidade moderada, que é encontrada em cerca de 2/3 da área de estudo, onde ocorrem os Argissolos e o nível freático está mais profundo (Tabela 5). A classe de vulnerabilidade alta está presente em cerca de 1/3 da área sendo a segunda classe mais expressiva. Essa se relaciona a locais onde o lençol freático está pouco profundo e os solos predominantes são Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos com boa condutividade hidráulica.

Tabela 5 – Distribuição em área e porcentagens de classes de vulnerabilidade natural à contaminação (GOD).

<i>Classe de Vulnerabilidade</i>	<i>Área (Km²)</i>	<i>Porcentagem</i>
Baixa	90,12	3,46 %
Moderada	1803,7	69,20 %
Alta	712,74	27,34 %
Total	2606,56	

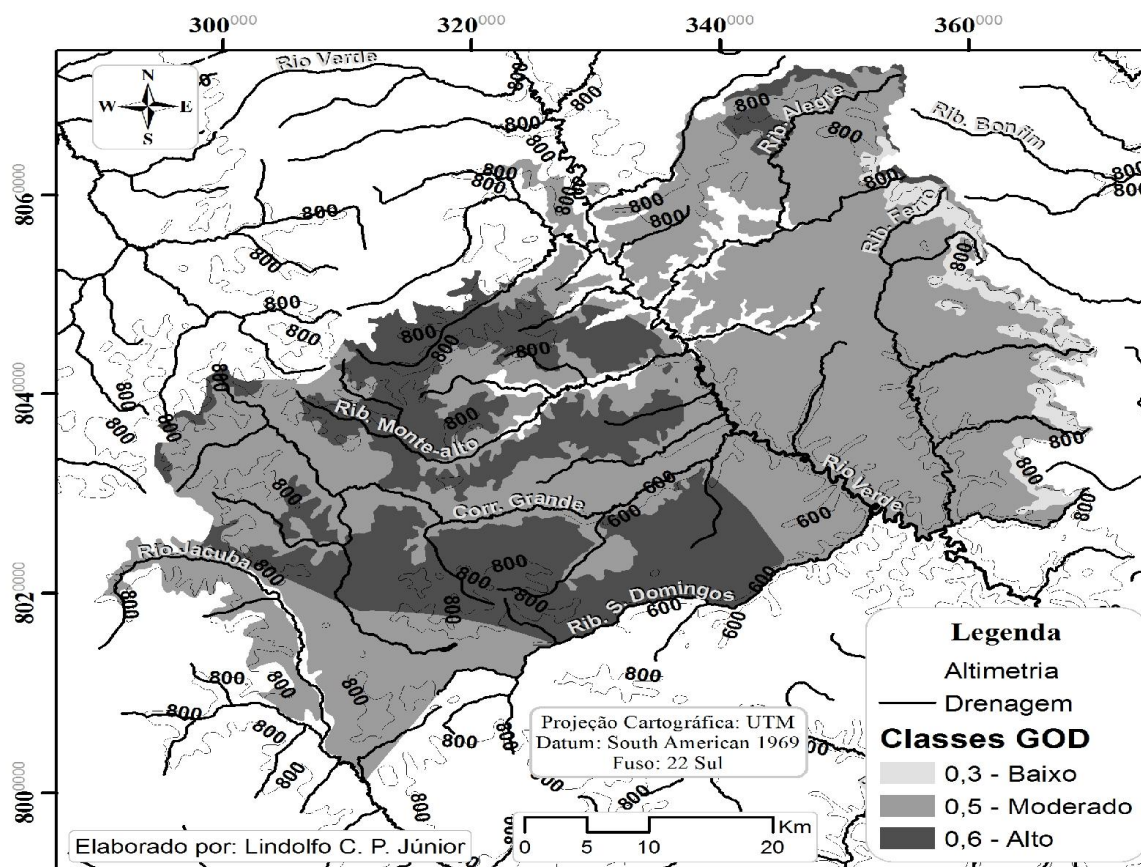


Figura 7 – Mapa de Vulnerabilidade natural à contaminação.

Entretanto, assinala-se que o resultado obtido para a classe moderada (69,2%) não reflete as características dos locais de maior potencial para recarga do aquífero, as quais em geral se posicionam nas áreas de vulnerabilidade alta, onde as declividades são baixas e favorecem a infiltração vertical de contaminantes.

Análise do potencial contaminante (POSH)

A partir da análise pelo método POSH foi possível encontrar dois níveis potenciais de contaminação, além de elevada área sem potencial contaminante, por ser composta de remanescentes de cerrado (Tabela 6) observa-se a predominância de moderado potencial contaminante (Figura 8), sobretudo em função da maior área dedicada a pastagens.

Tabela 6 – Distribuição em área e porcentagem do potencial contaminante (POSH).

Potencial	área Km ²	Porcentagem
Não possui	1130,47	43,37%
Moderado	1163,51	44,64%
Elevado	312,58	11,99%
TOTAL	2.606,56	

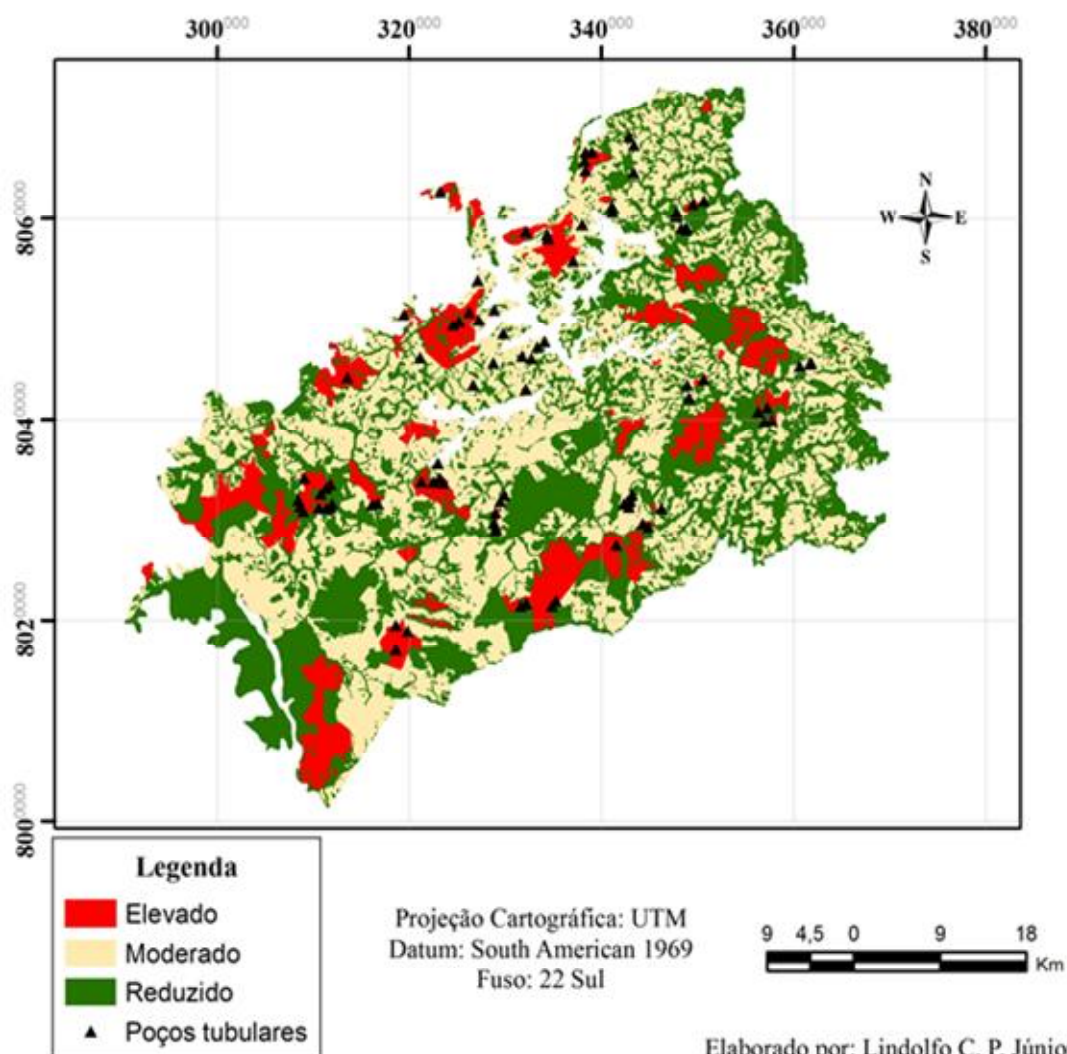


Figura 8 – Mapa do Potencial contaminante (POSH).

O potencial contaminante elevado está presente em aproximadamente 12% da área de estudo. Distribui-se de forma bastante heterogenia, não havendo grandes áreas de concentração. É possível verificar que as três classes do método POSH se distribuem por toda área de estudo.

Através da análise pelo método POSH se observou que na área existe uma variedade de atividades antrópicas com potencial contaminante, e que essas áreas devem ser priorizadas e amplamente fiscalizadas, no sentido de evitar problemas de poluição da água subterrânea, pois a contaminação da água subterrânea é geralmente de caráter irreversível, assim é preferível sua proteção para garantir a utilização futura para os diversos fins.

Perigo à contaminação

A análise do perigo à contaminação (Tabela 7 e Figura 9) revelou aproximadamente nove agrupamentos espaciais de áreas com extremo perigo, um total de 104,93 km², equivalente a 4,03 % da área possui essa característica. Nota-se que a região a leste da área de estudo, que inclusive contém o perímetro urbano, não apresenta áreas de extremo perigo à contaminação.

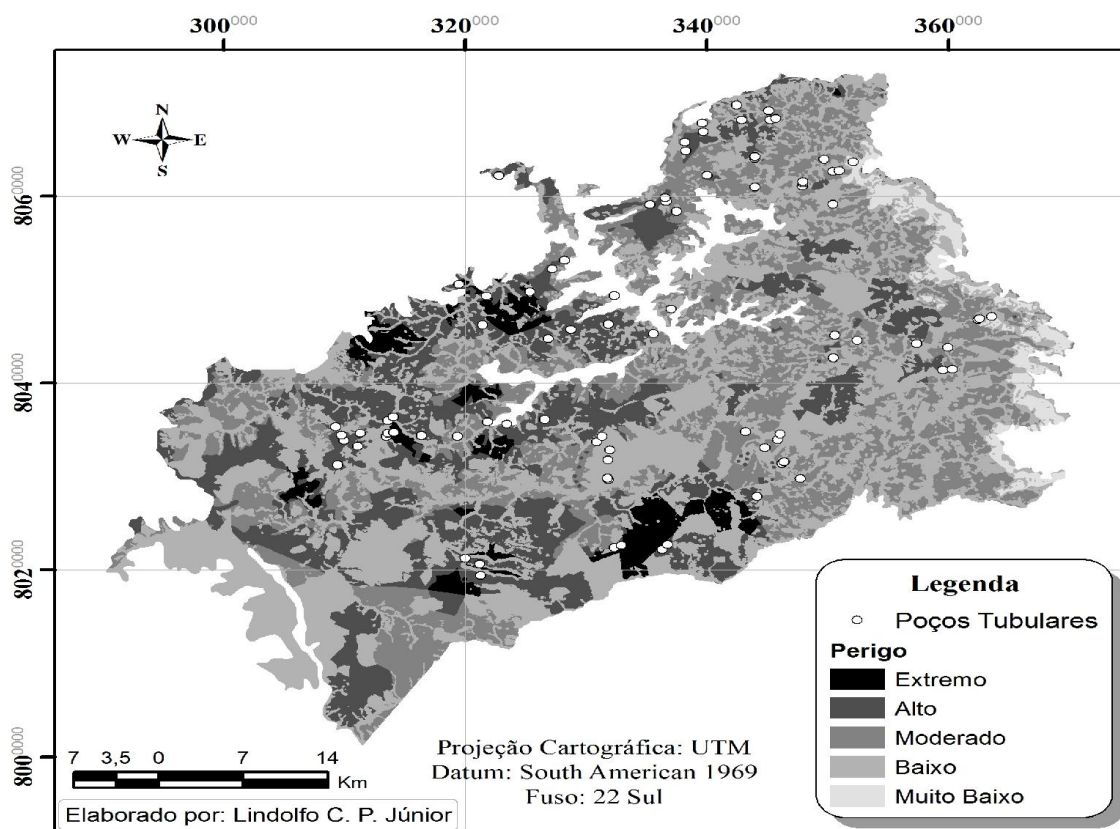


Figura 9 – Mapa de perigo à contaminação

Tabela 7 – Perigo à contaminação

Perigo	Área Km²	Porcentagem
Muito Baixo	62,81	2,41%
Baixo	1.095,31	42,02%
Moderado	772,59	29,64%
Alto	570,93	21,90%
Extremo	104,93	4,03%
TOTAL	2.606,56	

O alto risco à contaminação corresponde por 21,90% ou 570,93 Km², distribuindo-se por toda área de estudo. Essas áreas são formadas basicamente por regiões que possuem média vulnerabilidade natural à contaminação com elevado potencial contaminante, sendo predominante a agricultura, além do perímetro urbano do município. As áreas de moderado perigo representam 29,64% ou 772,59 km², também se distribuem por toda região, sendo formada basicamente por zonas de média vulnerabilidade natural e moderado potencial contaminante, onde predominam áreas de pastagem. Predominam no perímetro estudado as zonas de baixo e muito baixo perigo à contaminação, sendo estas responsáveis por 42,02% ou 1.095,31 e 2,41% ou 62,81 Km² respectivamente. Essas são caracterizadas por possuírem baixa ou média vulnerabilidade natural, além de contar, em sua maioria, com remanescentes de cerrado, apresentando pequenas regiões de pastagem.

O mapa de perigo a contaminação (Figura 9), revela que existe um maior perigo a contaminação na porção a oeste da área de estudo onde há predominância dos latossolos e o nível do aquífero está entre 20 e 50 metros de profundidade. Nota-se ainda que nesta área exista um grande número de poços tubulares e de granjas, o que evidencia a necessidade de ações de conscientização, sobretudo dos proprietários de poços tubulares da necessidade de manutenção das condições de segurança de seus poços.

No tocante aos poços tubulares foram mapeados um total de 87 poços tubulares desses 29% encontram-se em área de alto perigo (Tabela 8), que são áreas onde o aquífero é do tipo livre e apresenta profundidade baixa e intensa ação antrópica, também existem 4 em regiões de extremo perigo. Nota-se que apenas 1 dos poço mapeados encontra-se em área de muito baixo risco.

Tabela 8 – Relação entre os poços-tubulares e o perigo à contaminação.

Perigo	Número de poços	Porcentagem
Extremo	4	4,60%
Alto	26	29,89%
Moderado	27	31,03%
Baixo	29	33,33%
Muito Baixo	1	1,15%
TOTAL	87	100,00%

É necessário ainda ressaltar que esses poços representam apenas uma parcela dos existentes na região, tratando-se apenas dos que tem ou já tiveram outorga emitida pela Secretária de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás. Tal fato evidencia a necessidade de ações de educação e fiscalização na região, visando conscientizar os moradores dos perigos envolvidos na contaminação das águas subterrâneas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos GOD e POSH se mostraram adequados a aplicação em regiões carentes de dados geográficos em escalas de detalhe, sobretudo pela sua simplicidade conceitual e facilidade de aplicação. Ficou claro que a etapa mais complexa de sua aplicação é a obtenção de bases de dados confiáveis e em escala compatíveis.

O município de Mineiros nos últimos anos se sobressaiu pela expressiva expansão de sua fronteira agrícola e no uso intensivo dos solos para a produção agrícola, com destaque para às culturas de milho, soja, sorgo e da cana-de-açúcar e também instalações de agroindústrias. Destacam-se no município o setor sucroalcooleiro, frigoríficos e a avicultura, as quais constituem atividades antrópicas que possuem grande potencial poluidor. Tais características podem contribuir sobremaneira para a degradação da qualidade da água no aquífero, caso não haja um controle ambiental adequado.

Ainda nesse sentido, não deve ser excluída a necessidade de detalhamento das atividades potencialmente contaminantes antes de serem decididas políticas públicas. Torna-se necessária a aplicação de medidas preventivas de fiscalização e controle de qualidade da água subterrânea, uma vez que as atividades agrícolas intensivas praticadas no município fazem uso de grandes quantidades de insumos, os quais em geral possuem quantidades significativas de agentes potencialmente poluidores.

Espera-se que os resultados apresentados nesse trabalho possam contribuir para o prosseguimento de estudo mais específico do Sistema Aquífero Guarani, já que este sistema precisa ser conhecido em escala de detalhe, quanto à qualidade da água e a exploração desta de modo sustentável. Espera-se também que o trabalho possa orientar o gerenciamento do uso, ocupação das terras e da gestão dos recursos hídricos subterrâneos da área em questão.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, B; FOSTER, S, S, D. Land-surface zoning for groundwater protection. **Journal of Institution of Water and Environmental Management.**, v. 6, 1992, p. 312-320.
- AL-ADAMAT, R. A. N.; FOSTER, I. D. L.; BABAN, S. M. J. Groundwater vulnerability and risk mapping for the basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC. **Applied Geography**, v. 23, 2002, p.303-324.
- ALLER, L., BENNET, T., LEHER, J., PETTY, R. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. **USEPA Report, 600/02-85**, 1985.
- ANTONAKOS, A. K.; LAMBRAKIS, N. J. Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece. **Journal of Hydrology**, v. 333, 2007, p.288-304.
- ARAÚJO, L. M; FRANÇA, A. B; POTTER, P. E. Aquífero Gigante do Mercosul – Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai: mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tucumbó. **UFPR/PETROBRÁS**, Curitiba, 1995, 10p.
- BABIKER, I. S; MAHAMED, M. A. A.; HIYAMA, T. KATO, K. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. **Science of the Total Environment**, v. 345, 2005, p 127-140.
- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Fundação Roberto Marinho, Curitiba, 2004, 214 p.
- CALDWELL, S.; BARRET, K.; CHANG, S. Ranking system for releases of hazardous substance En: **Conf. on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites**. Instituto de Pesquisa de Controle de Materiais Perigosos, 1981, p.14-20.
- CONCAR. Comissão Nacional de Cartografia. **Cenário Situacional**. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/planejEstrategico.aspx?sub=3>. Acesso em: 04 de Março de 2013.
- CAMPOS, H. C. N. S. Mapa hidrogeológico do Aquífero Guarani, escala 1:2.500.000. **Editado pela ISOMAPA – Consultoria e Projetos Ltda**, São Paulo, Brasil. 1996.
- CANTER, L.; KNOX, R.; FAIRCHILD, D. **Groundwater quality protection**. Lewis Publishers, 1987, 562p.

CUTRIM, A. O.; CAMPOS, J. E. G. Aplicação dos Métodos Drastic e Posh para a Determinação da Vulnerabilidade e Perigo à Contaminação do Aquífero Furnas na Cidade de Rondonópolis-MT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 15, n.2, 2010, p.127-147.

DECOUD, P; ROCHA, L. Aportes a la hidráulica subterránea del Acuífero Guaraní en el NW del Uruguay. **1st Joint World Congress on Groundwater**. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, Fortaleza, 2000, 16p.

FOSTER, E. S.D.; HIRATA, R. C.; ROCHA, A. Riscos de Poluição de Águas Subterrâneas; uma proposta de avaliação regional. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS. São Paulo, 1988. **Anais**, São Paulo: ABAS, 1988. 279p. il. p.175-185.

FOSTER, S.; HIRATA, R. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. **CEPIS Tech. Report. (WHO-PAHO-CEPIS)**, Lima, Perú, 1988, 80p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Groundwater Management Advisory Team (GW.MATE) em parceria com a Global Water Partnership, copatrocinio da OMS-OPAS-CEPIS & UNESCO-ROSTLAC-PHI. Banco Mundial. Washington, D.C., 2002.

_____. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Banco Mundial. Washington, D.C., 2006.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A.; PERIERA, A. S. Caracterização das Áreas de Afloramento do Aquífero Guaraní no Brasil – base para uma proposta de gestão sustentável. **EMBRAPA**, Jaguariúna-SP, 2008, 417p.

HAGERTY, D.; PAVONI, L.; HEER, J. Solid water management. **Van Nostrand Reinhold**, New York, 1973.

HIRATA, R. **As águas subterrâneas em centros urbanos**. ABAS Informa, São Paulo, n. 142, 2003, 10p.

KULFS, C. Rating the hazard potential on waste disposal facilities Em: Nat. Conf. on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites. **Hazardous Material Control Research Institute**, 1980, p 30-41.

LE GRAND, H. System for evaluating contamination potential of some waste sites. **American Water Works Association Journal**, v. 56, 1964, p.959-974.

NEUKUM, C.; AZZAM, R. Quantitative assessment of intrinsic vulnerability to contamination using numerical simulations. **Science of Total Environment**, v. 408, 2009, p.245-254.

NOBRE, R. C. M.; ROTUNNO FILHO, O. C.; MANSUR, W. J.; NOBRE, M. M. M.; COSENZA, C. A. N. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a fuzzy logic tool. **Journal of Contamination Hydrology**, v. 94, 2007, p.277-292.

OLIVEIRA, L. A. de; VIEIRA, A. S. Estado da Arte do Sistema Aquífero Guarani. **Caminhos de Geografia** – revista on line. Instituto de Geografia UFU. V. 11, n. 34, 2010, p.174-189.

OLIVEIRA, L. A. **Sistema Aquífero Guarani no Estado de Goiás: Distribuição, Caracterização, Hidrodinâmica, Hidroquímica, Composição Isotópica e CFCs**. Tese (Doutorado e Geociências), Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília – DF, 2009, 189p.

PEDROSA, A. C.; CAETANO, Francisco A. Águas Subterrâneas. **Agência Nacional de Águas (ANA)**. Superintendência de Informações Hidrológicas, Brasília, 2002.

RAHMAN, A. A GIS DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. **Applied Geography**, v. 28, 2008, p.32-53.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B., TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª edição – São Paulo. Escrituras editora, 2006, 748p.

RIBEIRO, W. C. Aquífero Guarani: gestão compartilhada e soberania. **Estudos Avançados**. v. 22 n.64, São Paulo, 2008, p.227-238.

ROCHA, G. A. O grande manancial do Cone Sul. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 30, 1997, p.191-212.

SAEE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Mineiros-GO. **Sistema de Esgoto**. 2012. Disponível em: <http://saaemineiros.go.gov.br/#sistema-de-esgoto>. Acesso em: 05 de Março de 2013.

SEMARH-GO – Secretária do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás, 2005.

SIEG. – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. **Plano diretor da Bacia do Rio Paranaíba-GO**, 2007.

SOUZA, L. C. de. **Águas subterrâneas e a legislação brasileira**. Curitiba, ed. Juruá, 2009, 236p.

TALTASSE, P. **Mapas da vulnerabilidade à poluição dos lençóis aquíferos do município de Campinas (SP)**. Universidade de São Paulo (IGc). Publ. Avulsa n. 1, 1972.

VEROSLAVSKY, G.; LÓPEZ, F.; GUILLO, V. A.; CASACCIA, J. L.; ROSSI, V. Avanços no Conhecimento do Sistema Aquífero Guarani. Projeto de Proteção Ambiental de Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. **Consórcio Guarani**, Rio Claro, 2008, 120p.

ESTUDO MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE MINEIROS-GO E POSSÍVEIS IMPACTOS.

MULTITEMPORAL STUDY OF THE USE AND OCCUPATION OF LAND IN THE MUNICIPALITY OF MINEIROS-GO AND POTENTIAL IMPACTS.

José Carlos Rodrigues Meira; Selma Simões de Castro; Karla Maria Silva de Faria;
Elizon Dias Nunes.

RESUMO

O município de Mineiros, situado na região sudoeste do estado de Goiás, sofreu efeitos da expansão da fronteira agrícola desde a década de 1970, convertendo as coberturas do Cerrado às atividades agropecuárias. Para tanto, capta água do Sistema Aquífero Guarani (SAG), dominante no município, e emprega grande quantidade de insumos e defensivos agrícolas que podem afetar a qualidade de suas águas. O objetivo deste trabalho é apresentar indicadores relacionados ao uso dos solos, visando fornecer subsídios para avaliação da sua influência na qualidade das águas do SAG. O estudo baseou em análise multitemporal do uso do solo, utilizando imagens de satélite Landsat TM5 e Sistema de Informação Geográfica. Os resultados revelaram que um pouco mais de 22% da área foram convertidas à agropecuária, com predomínio da agricultura, bovinocultura e avicultura. Entretanto, houve mudanças relevantes em termos de ambiente na área quanto às classes agricultura e remanescentes no período 2005/2010. Os dados relativos à classe agricultura indicaram aumento cerca de 142 mil hectares de área plantada, no entanto, houve redução significativamente para a área remanescentes, perda de 114 mil hectares, ou seja, cerca de 20% de redução. Dessa forma, percebe-se claramente a rápida evolução da ação antrópica no município nesse período. Já, quanto aos fertilizantes, estima-se que no período de 2000 a 2010 tenham sido utilizadas cerca de 395.000 toneladas.

Palavras-chave: Mineiros, Sistema Aquífero Guarani, impactos ambientais da agricultura.

ABSTRACT

The municipality of Mineiros located in the southwestern region of the state of Goiás, has suffered the effects of the expansion of agriculture frontiers since 1970, converting the Cerrado's coverage to the agriculture activities (the production of grains mainly soybean, corn, sorghum and cotton). So for the development of these activities, water from the Guarani Aquifer System (SAG) is captured and a large quantity of insumes and agriculture pesticides are employed and this practice may affect the quality of the SAG waters. The aim of this paper is to present an environmental analysis of the municipality to provide indicators related to land use data for assessing the quality of the SAG. The study was based on multitemporal analysis of land use, using Landsat TM5 satellite images and Geographic Information System. The results revealed that about 22% of the area was converted to agriculture and livestock with a predominance of cattle, poultry and agriculture. However, there were relevant changes in terms of environment in the area according to the remanescents and agriculture classes in the period from 2005 to 2010. The data related to the agriculture class indicated raising of about 142 .000 hectares of planted area, however , there was a significative reduction for the remanescent areas ,with a lost of 114.000 hectares (about 20% of reduction). This way it's easy to observe the rapid evolution of the antropic action in the municipality during this period. Considering the fertilizers, it is estimated that during the period of time from 2000 to 2010, about 395.000 tons were used.

Keywords: Mineiros, Guarani Aquifer System, environmental impacts of agriculture.

INTRODUÇÃO

Em meados da década de 1970, o Centro-Oeste brasileiro sofreu forte expansão da fronteira agrícola através de investimento estatal, sobretudo com a implantação do Programa de desenvolvimento do Cerrado (POLOCENTRO), cuja grande mudança de uso do solo resultou da conversão das coberturas vegetais em áreas para produção agrícola e pecuária extensiva, utilizando-se de modernas tecnologias associada à chamada Revolução Verde, cujo objetivo era o incremento da produção e da produtividade mundial, através da tecnologia em melhoramento genético, produção de sementes, uso intensivo de equipamentos, fertilizantes, corretivos e defensivos agrícolas (MIZIARA, 2006).

Castro et al. (2004) aponta que o Centro-Oeste brasileiro passou, a partir dessa década (1970), a se destacar pela expansão da produção de grãos, em especial da soja, além de milho, sorgo e algodão, mantendo essa posição até hoje, e importante tanto para o consumo interno,

quanto para a exportação. Ainda, segundo os mesmos autores, essas mudanças promoveram amplas transformações nas suas paisagens de um bioma classificado com áreas prioritárias para conservação da biodiversidade mundial (*hotspots*) (MACHADO et al. (2004), por meio de desmatamentos, acompanhadas por impactos sobre a biodiversidade, solos e águas.

No município predomina o Sistema Aquífero Guarani – SAG, que apresenta uma importante área para sua recarga (ALVES; CASTRO, 2009), o qual é destinado ao abastecimento urbano e rural (irrigação, uso humano e dessedentação animal, dentre outros usos). Conforme Rosa (1998) o uso e ocupação do solo podem ser entendidos como sendo a forma pela qual o espaço é ocupado pelo homem. A realização de levantamentos de uso e ocupação do solo é de grande importância, para que seja feita avaliação da situação desse espaço, ao longo do tempo.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar a evolução do uso e ocupação do solo no município de Mineiros, estado de Goiás, visando fornecer subsídios para a avaliação das implicações decorrentes para os ecossistemas presentes. Para tanto, procede-se análise qualitativa e quantitativa das principais atividades exercidas, bem como do uso de insumos, nas últimas décadas, quando o município passou por intensas transformações socioeconômicas e ambientais.

Corretivos e adubos

Os solos do Cerrado são ácidos, com pH em água podendo variar de 4 a pouco mais de 5. Para torná-los próprios para a agricultura, é necessário realizar a correção do pH pela calagem, seguindo-se a adubação com macro e micronutrientes minerais. A quantidade usada de calcário varia e é determinada pela análise de solo. De forma geral, o pH (água ou CaCl_2) adequado para a maioria das culturas anuais praticadas no Cerrado, como a cultura de soja, situa-se entre 5,5 e 6,0.

Segundo Pitta et al. (2006) a recomendação de calagem não é um procedimento simples, por pressupor o conhecimento de um número razoável de informações adicionais, como por exemplo: características da propriedade agrícola (caracterização da área, da cultura, tipo de solo, histórico da área, expectativa de rendimentos), conhecimento tecnológico (tem sua origem na pesquisa naquela região ou estado) e por último, as informações oriundas das condições do mercado, principalmente, aquelas relacionadas aos preços de insumos e também disponibilidade de crédito, e que são independentes das duas anteriores.

Além disso, a demanda crescente em relação à produção de alimentos tem levado o homem à busca incessante de produtos orgânicos e inorgânicos, que possam de alguma forma aumentar a produtividade agrícola, ou seja, os fertilizantes. Por outro lado, os fertilizantes, devido à sua composição, podem ser considerados contaminantes, relacionadas às impurezas em suas composições.

Para Sharpley e Menzel (1987) os metais traço como: cádmio, cromo, chumbo e mercúrio, incluindo-se os micronutrientes como: ferro, cobre e manganês podem ser introduzidos na cadeia alimentar pelo uso de fertilizantes, principalmente os fosfatados. Segundo Sobrinho et al. (1996) isso é resultado da ocorrência natural de vários metais em rochas fosfáticas e de não serem eliminados durante os processos de produção dos fertilizantes. A contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas por elementos potencialmente tóxicos pela aplicação de fertilizantes parece pequena, mas, devido ao uso amplamente disseminado e o tempo de aplicação, pode levar à poluição, por isso, tem causado preocupação e, portanto, requer atenção.

No caso da soja, o nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade. Estima-se que para produzir 1000 kg de grãos de soja, são necessários 80 kg de N. Porém, a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é a principal fonte de N para a cultura da soja. Bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, quando em contato com as raízes da soja, infectam-nas formando os nódulos, retirando diretamente do ar o nitrogênio – em forma gasosa – e transformando-o em formas absorvíveis. A FBN pode, dependendo de sua eficiência, pode fornecer todo o N que a soja necessita, nesse caso, não há necessidade de adubação nitrogenada (EMBRAPA, 2004).

Impactos da agricultura

O aumento da produção de alimentos de maneira sustentável continua sendo o grande desafio do setor agrícola. O uso intensivo de insumos, a mecanização e a utilização de grandes áreas, estão entre os principais instrumentos do atual modelo de desenvolvimento da agricultura brasileira, centrada em ganhos de produtividade. Entretanto, esta prática está associada a graves problemas ambientais. Nesse sentido, a sustentabilidade das tecnologias advindas de “Revolução Verde” é questionada por Mueller (1992) e Cunha (1994), quando citam os impactos provocados por esta no cerrado, como: a compactação e impermeabilização dos solos pelo uso intensivo de máquinas agrícolas; erosão dos solos; contaminação por agrotóxicos das águas; impactos decorrentes da retirada da vegetação nativa de áreas contínuas extensas; assoreamento de rios e reservatórios; aparecimento de novas pragas ou

aumento das já conhecidas e; risco à sobrevivência de espécies vegetais e animais com a perda de *habitat* natural devido à expansão agrícola.

MATERIAIS E MÉTODOS

A análise multitemporal de transformação da paisagem foi realizada após a elaboração de mapas de uso da terra do município de Mineiros, com base na interpretação das imagens de satélite Landsat, para os anos de 1990, 2005 e 2010, com resolução espacial de 30 metros, resolução espectral de 0,45-0,90 μm , discriminados nos seguintes intervalos: azul - 0,45 μm , verde - 0,52-0,60 μm , vermelho - 0,63-0,69 μm e IV próximo - 0,76-0,90, adotando-se, portanto, a composição colorida 5, 4, 3 (RGB).

A segmentação das imagens foi realizada no software ArcGis, através de processo de classificação não supervisionada, seguida de aplicação de filtro, visando eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança e obter uma imagem classificada com aparência menos ruidosa. Nessa classificação definiu-se 30 classes, que posteriormente foram convertidas em formato raster e reclassificadas manualmente com base na interpretação das imagens. Após considerar os parâmetros espaciais e espectrais das imagens (cor, textura, forma e relevo), optou-se por agrupar os resultados em quatro classes: Remanescentes (englobando todas as fitofisionomias do Bioma Cerrado residuais); Áreas Urbanas, Pastagens e Agricultura. Posteriormente foram realizados os cálculos de áreas. Paralelamente a essas atividades, foram realizados levantamentos de dados estatísticos censitários junto ao IBGE para o ano de 2010, assim como revisão bibliográfica.

ÁREA DE ESTUDO

O município de Mineiros está localizado no Sudoeste Goiano (Figura 1), tem área de 8.896 km² e se situa geograficamente em terra com altitudes que variam entre 770 metros a 1100 metros. O município apresenta precipitação média anual de 1853 mm e, temperatura, entre 18 e 20 °C, tendo clima definido basicamente por duas estações, uma seca, com temperaturas amenas, e a outra chuvosa, com temperaturas elevadas.

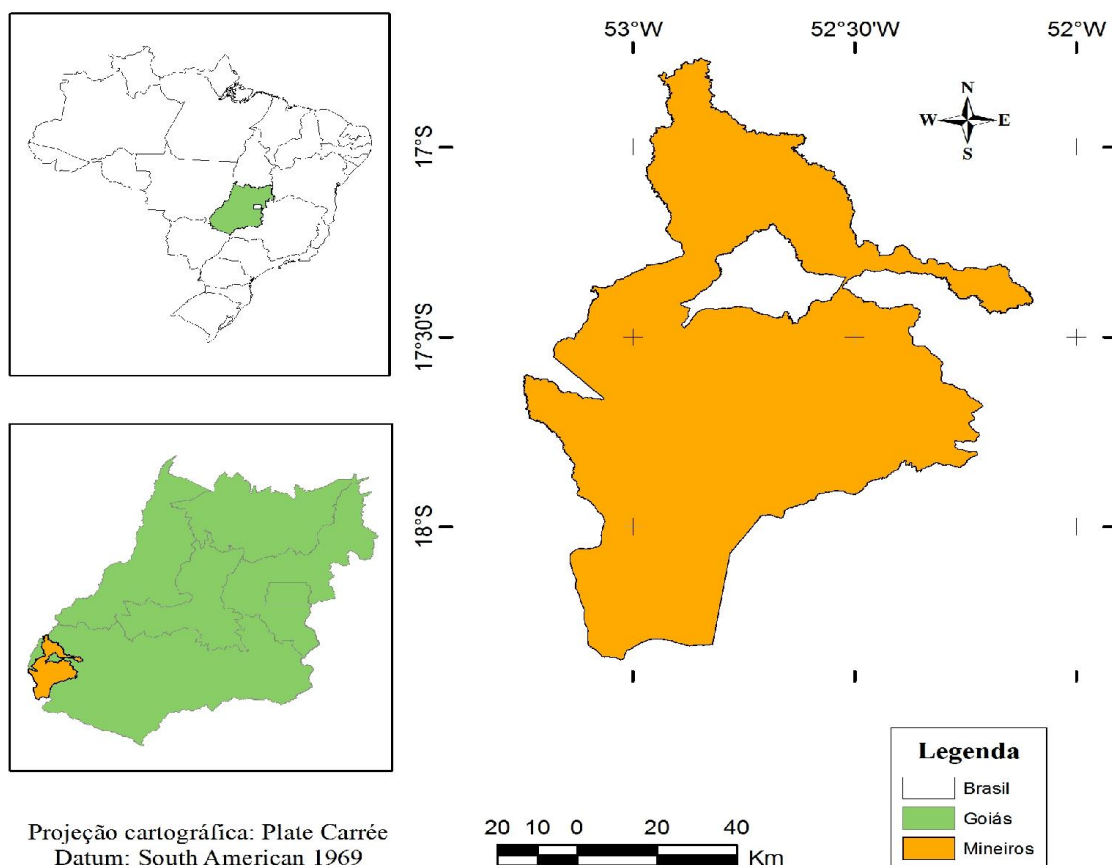


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo

O município ocupa grandes áreas em faixas de afloramentos e recargas do Sistema Aquífero Guarani (SAG), com condições de declividade menor que 6% na maioria de sua área de ocorrência, com predominância da Formação Botucatu. Segundo Oliveira e Vieira (2010) esta formação é composta por arenitos eólicos, constituídos predominantemente por areias finas a médias cimentadas por sílica, carbonato e ou limonita. Conforme Oliveira (2009), de todas as unidades geológicas que compõem o SAG em território brasileiro, os arenitos desta formação são os que apresentam maior área de ocorrência na Bacia Sedimentar do Paraná.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A evolução do uso do solo

A classificação digital das imagens de satélite possibilitou realizar a análise da evolução do uso do solo no município de Mineiros, através da conversão de remanescentes de Cerrado em atividades agrícolas e pecuárias. A Tabela 1 e a Figura 2 apresentam os resultados da evolução do uso do solo no município no período analisado, em que se pode constatar uma conversão das terras num ritmo total de 22,37% no período analisado, quando também se verifica a redução da área de pastagem e o aumento de áreas agrícolas.

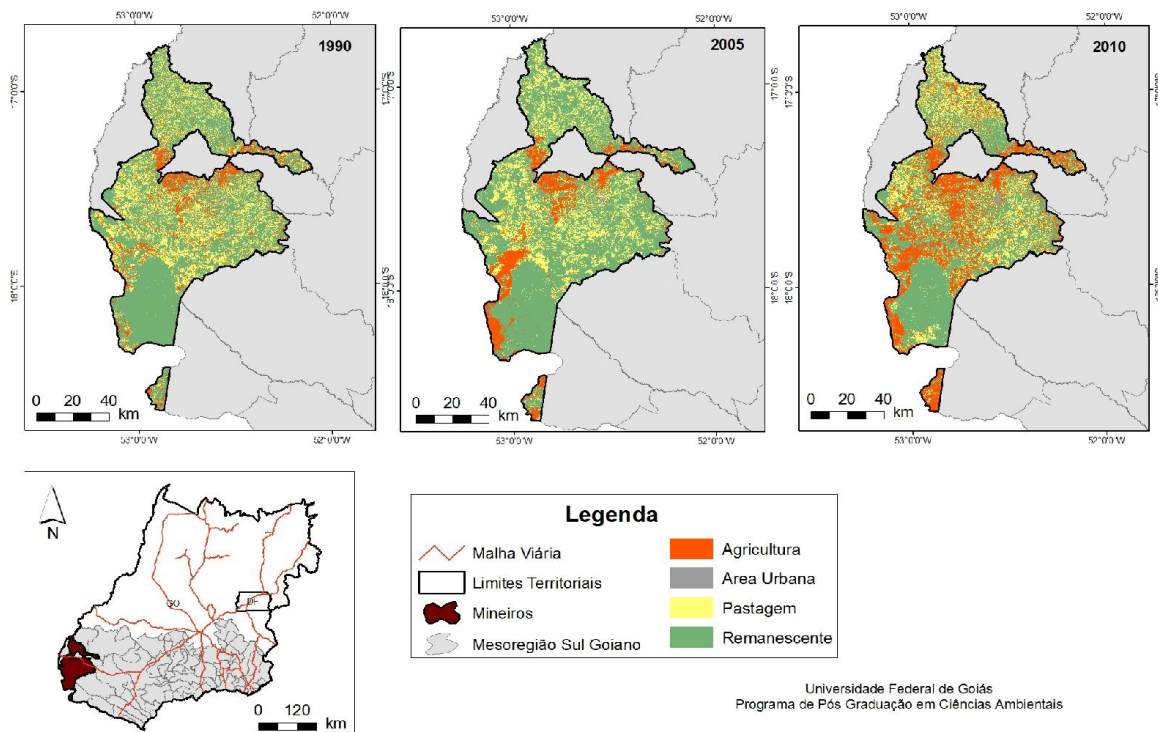


Figura 2 – Evolução do uso da Terra no município de Mineiros (GO), 1990, 2005 e 2010, mesorregião Sul Goiano. Fonte: imagens Landsat TM dos anos indicados.

Tabela 1 – Dinâmica da ocupação do uso do solo nos anos de 1990, 2005 e 2010 no município de Mineiros.

USOS	Ano de 1990		Ano de 2005		Ano de 2010	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Remanescentes	584.646,52	64,64	567.869,16	62,78	453.810,99	50,18
Agricultura	112.509,24	12,44	107.712,50	11,91	249.736,48	27,61
Área urbana	802,40	0,09	848,24	0,09	1.344,48	0,15
Pastagem	206.495,55	22,83	228.036,61	25,21	199.561,47	22,06
total	904.453,71	100	904.453,71	100	904.453,71	100

A partir dos dados apresentados na Tabela 1 e Figura 2, pode-se verificar que a maior parte das terras do município de Mineiros no ano de 1990 apresentava boa condição em termos de preservação, visto que a relação entre às classes uso agropecuário e área remanescente apresentou próximo de 2/3 de remanescentes em detrimento de cerca 1/3 de uso agropecuário, visto que no período 1990/2005 houve mudanças tênues nas classes remanescentes e agricultura, as quais sofreram reduções cerca de 3% e 4%, respectivamente, enquanto que a pastagem teve a maior variação no período, ou seja, aumento de 10%, enquanto, a área urbana ficou praticamente estagnada.

No período 2005/2010, nota-se mudanças relevantes em termos de ambiente na área quanto às classes agricultura e remanescentes. Os dados relativos a classe agricultura indicam aumento cerca de 142 mil hectares de área plantada, no entanto, diminuiu, significativamente, para a área remanescentes, perda de 114 mil hectares, ou seja, cerca de 20% de redução. Dessa forma, percebe-se claramente a rápida evolução da ação antrópica no município. Já a área de pastagem apresentou uma redução, cerca 12%. Em relação a área urbana, considera um aumento expressivo, de cerca de 60%, o qual pode ser explicado pelo alto crescimento da agricultura e respectivo retorno econômico, o que teria movimentado a economia local, viabilizando a intensificação do comércio, da agroindústria e, conseqüentemente, o aumento da oferta de emprego, atraindo um contingente de trabalhadores para o município.

Em 2010 o uso do solo de Mineiros apresenta-se com metade de sua área total transformada em uso agropecuário, com ligeira dominância da agricultura (~28%) sobre a pecuária (~22%), o que significa quase 450 mil ha em pouco mais de 900 mil ha. Considerando-se que a pecuária é extensiva, logo os corretivos e defensivos se concentraram em quase 250 mil ha nessa área agrícola, contra pouco mais de 100 mil ha nos dois períodos anteriores (1990 e 2005).

Todas as atividades econômicas associadas a essas mudanças de usos do solo foram geradoras de riquezas para o município, que se destaca na economia goiana, regional e até mesmo nacional. Porém, o manejo provocou impactos ambientais como compactação do solo e erosão (CASTRO, 2005).

Impactos da agricultura

Os impactos estimados para as culturas de soja, milho, sorgo e algodão quanto ao uso de fertilizantes fosfatados (P_2O_5), potássicos (K_2O) e Nitrogenados $[(NH_2)_2CO]$ foram calculados de acordo com estudos de Broch e Ranno (2008); Coelho, (2007); Souza e Lobato (2004); e, quanto ao uso de agrotóxicos, os cálculos foram feitos de acordo com dados de IBGE (2009); IBGE, (2010); Carneiro, (2009).

A cultura de soja

Segundo os dados do IBGE (2010) Mineiros, desde a década de 1980, até hoje, tem no cultivo da soja a sua mais importante atividade agrícola, que é desenvolvida durante o período chuvoso. A Figura 3 mostra a evolução da cultura de soja no município de Mineiros no período de 1990 a 2010 e a Figura 4 mostra a porcentagem da área plantada pela cultura de soja em relação às outras culturas temporárias praticadas no município.

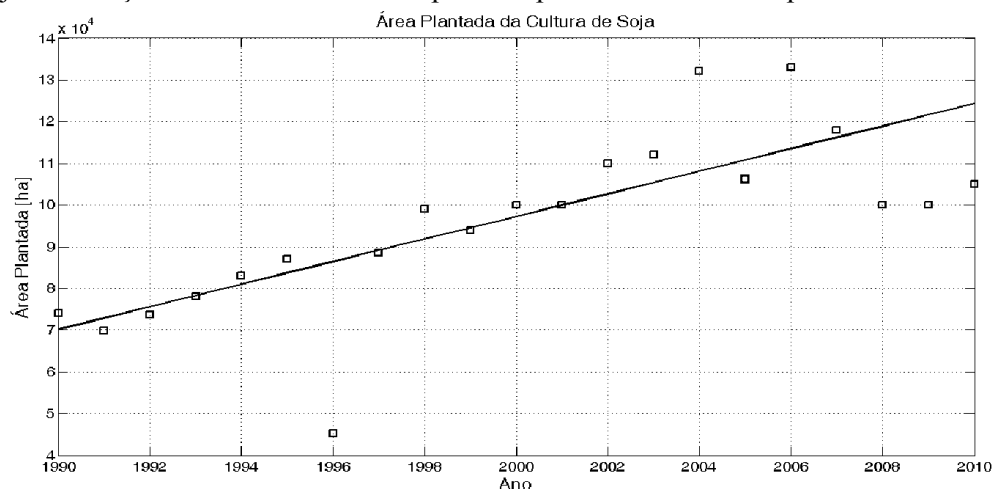


Figura 3 – Área plantada da cultura de soja no município de Mineiros (GO)
Fonte: IBGE, 2010

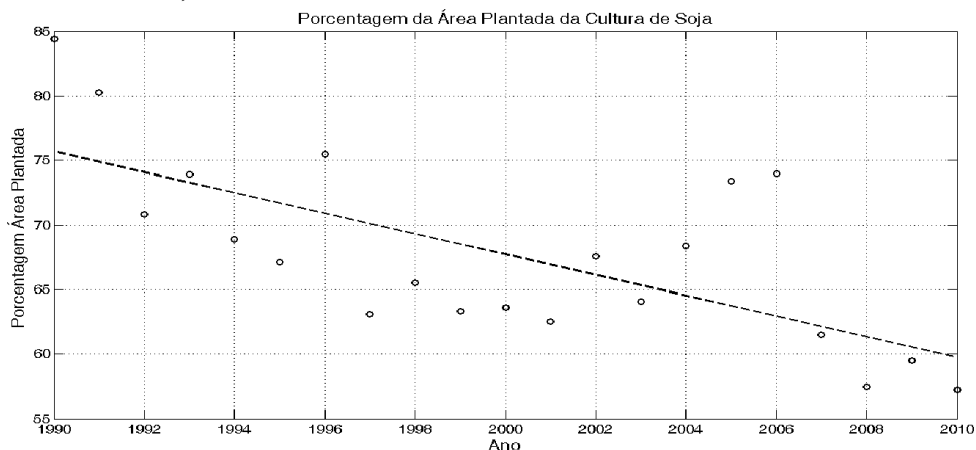


Figura 4 - Porcentagem da área plantada da cultura de soja em relação às outras culturas temporárias no município de Mineiros. Fonte: IBGE, 2010.

Conforme pode ser observado na Figura 3, a área plantada de soja alcança cerca de 70 mil hectares no ano de 1990, o que representa um pouco mais de 75% da área plantada com culturas temporárias. No período de 1990 a 2006, a área plantada quase dobrou, ao atingir cerca de 140 mil hectares. Mas, a partir do ano de 2006 e até o ano de 2010, houve uma redução da área plantada, embora tenha mantido em primeiro lugar em área plantada em relação às outras culturas temporárias. Também, nota-se que apesar da área plantada aumentar durante o período analisado, em relação às outras culturas temporárias, ela reduziu significativamente em porcentagem de área plantada, diminuindo de 85% para cerca de 60%. Essa redução da participação justifica-se pelo crescimento significativo de outras culturas temporárias, como milho, algodão e a cana-de-açúcar.

Cultura de Milho

O município de Mineiros tem-se destacado pelo expressivo crescimento da avicultura nos últimos anos, sendo que a produção do milho, assim, como a produção de soja são preponderante para abastecimento de ração animal. No período analisado (2000-2010) o milho ficou em segundo lugar como a cultura anual mais importante, depois da soja. A participação da área plantada do milho no ano de 1990 representava cerca de 10% da área plantada (Figura 6) em uma área próxima de 11 mil hectares (Figura 5). Nos últimos anos houve um crescimento expressivo, onde a área plantada atingiu cerca de 40 mil hectares plantados, com participação em torno de 2/5 da área plantada das culturas temporárias (Figura 6).

Os impactos dessa cultura quanto às quantidades de adubação fosfatada (P_2O_5), potássica (K_2O) e uso de agrotóxicos foram calculadas conforme Tabela 3. Estima-se que no período de 2000 a 2010 foram usadas aproximadamente 49 mil toneladas de adubação nitrogenada, 49 mil toneladas de fosfatada e cerca de 40 mil toneladas de adubação potássica. Quanto ao uso de agrotóxicos, seriam cerca de três mil toneladas.

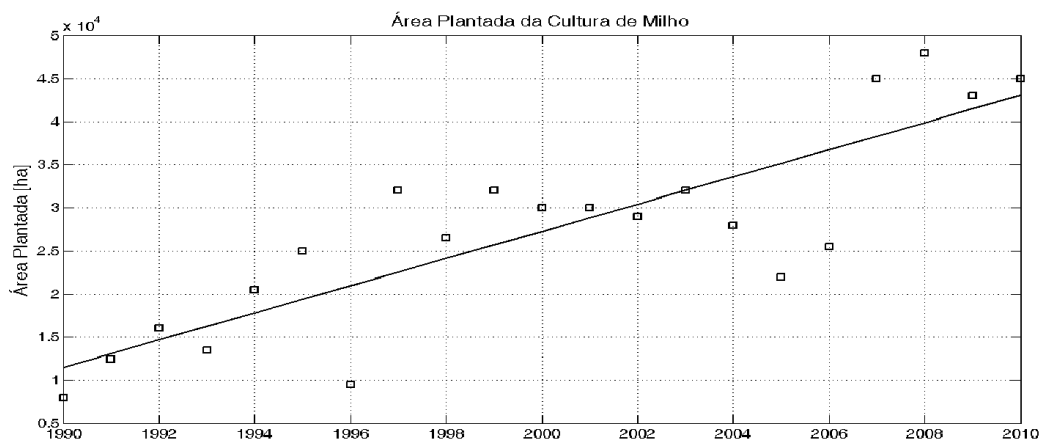


Figura 5 – Área plantada da cultura de milho no município de Mineiros. Fonte: IBGE, 2010.

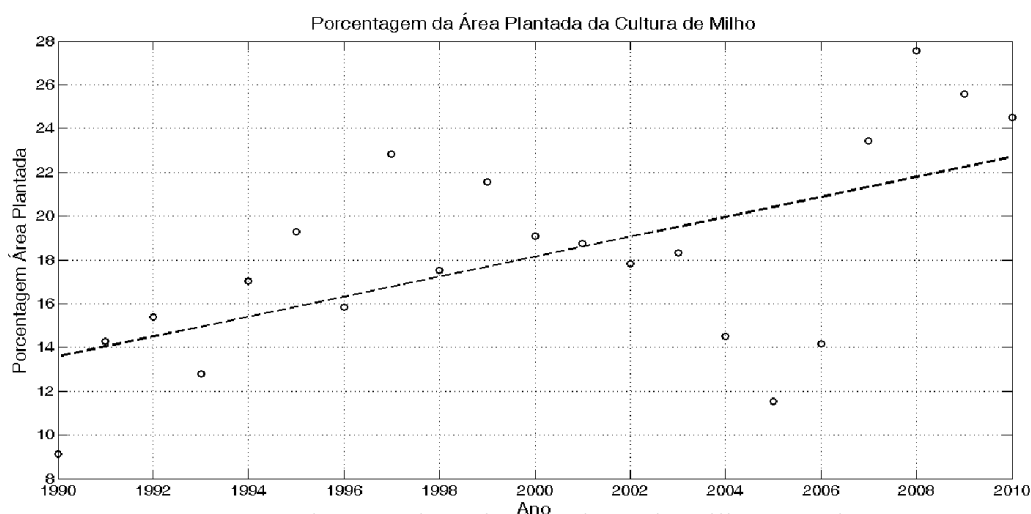


Figura 6 – Porcentagem da área plantada da cultura de milho em relação às outras culturas temporárias no município de Mineiros. Fonte: IBGE, 2010

Cultura de sorgo

A cultura do sorgo aparece em terceiro lugar em área plantada no município, após a soja e o milho. Conforme figura 7, houve um crescimento no período de 1990 a 2003, mas a partir deste houve uma queda significativa da área plantada, principalmente no período de 2007 a 2010, sendo que nesse período houve um aumento significativo da produção de milho, portanto, é bem provável que o milho tenha substituído áreas antes destinadas ao plantio de sorgo.

Estima que para a cultura do sorgo foram utilizados cerca de 1700 toneladas de agrotóxicos e cerca de 25 mil toneladas de adubação nitrogenada, 30 mil toneladas de fosfatada (P_2O_5) e potássica (K_2O) no período analisado (2000-2010).

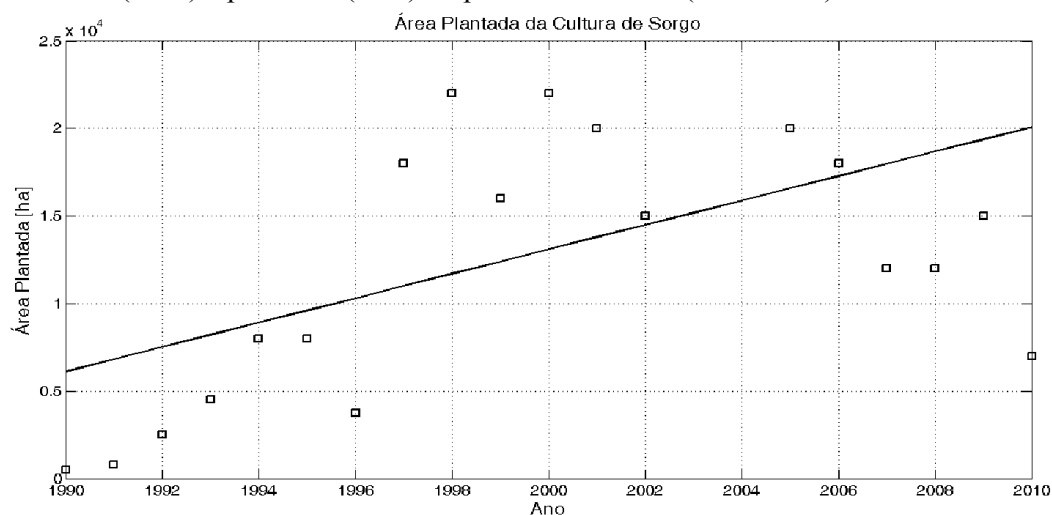


Figura 7 – Área plantada da cultura de sorgo no município de Mineiros. Fonte: IBGE, 2010.

Cultura de Cana-de-açúcar

Conforme Tabela 2, a cana-de-açúcar no município de Mineiros começou a ter importância econômica no município somente a partir de ano de 2008. No último ano analisado a cultura apresentou um aumento expressivo próximo de 12%. Ela induziu um enorme crescimento da socioeconomia do município, principalmente, para o manejo mecanizado, como é o caso de Mineiros, pois os terrenos do município apresentam declividades baixas, ideais para a essa prática agrícola, ainda que os solos variem. Contudo, as culturas de grãos usaram mais insumos e defensivos que a cana, em que os primeiros cortes aconteceram nos anos de 2010 e 2011. Logo, é nas áreas de culturas anuais, ou seja, cerca de 30% da área total do município (excluída por enquanto a cana), equivalentes a cerca de 250 mil ha situados em áreas de recarga do SAG, é que representariam o maior risco de impacto dos contaminantes.

Tabela 2 – Área plantada da cultura de cana-de-açúcar e a porcentagem em relação às outras culturas temporárias do município de Mineiros.

<i>Ano</i>	<i>Área plantada em hectares</i>	<i>% da área plantada</i>
2007	35	0,02
2008	6.535	3,75
2009	2.000	1,19
2010	22.260	12,13

Fonte: IBGE, (2010).

Cultura de Algodão

Assim como a cana-de-açúcar, a cultura do algodão passou a ter uma importância econômica para o município apenas no final do período analisado. O crescimento foi tênue, mas mesmo assim, essa cultura encontra-se entre as cinco mais importantes do município. A área plantada com algodão em relação às outras culturas temporárias do município nos últimos anos girou entorno de 3%. Porém, essa cultura é conhecida por utilizar grandes quantidades de agrotóxicos e fertilizantes.

A Tabela 3 apresenta as estimativas utilizações da adubação fosfatada, potássica, nitrogenada e também de agrotóxicos – período 2000-2010 – nas três principais culturas do município (soja, milho, sorgo, algodão), nas áreas agrícolas. Assim, permitindo estimar que

nesse período somam-se cerca de 395.000 toneladas desses três fertilizantes. Com relação aos agrotóxicos, estima-se que foram utilizados no período cerca de 15 mil toneladas de agrotóxicos nas culturas, sendo que só a soja utilizou cerca 70% desses produtos, por ocupar maiores áreas das culturas temporárias. Esses valores preocupam devido serem áreas de recarga e afloramento do SAG. Os poluentes presentes nesses agrotóxicos foram principalmente os herbicidas, inseticidas e fungicidas.

Tabela 3 – Uso de adubação fosfatada, nitrogenada, potássica e agrotóxicos no município de Mineiros no período de 2000 a 2010 para as culturas de soja, milho, sorgo e algodão.

Ano/uso	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Adubo fosfatado (t)	13.826	11.430	14.169	15.660	17.228	16.604	17.152	16.380	15.534	14.561	16.427
Adubo potássico (t)	12.290	12.320	12.594	13.781	15.200	15.155	14.390	15.118	13.948	13.293	12.704
Adubo nitrogenado(t)	6.760	6.500	5.730	7.410	6.890	5.460	5.655	7.410	7.800	7.540	6.760
Agrotóxicos(t)	1.196	1.220	1.236	1.354	1.507	1.480	1.307	1.571	1.279	1.342	1.368

Fonte: IBGE, (2010); Broch e Ranno, (2008); Coelho, (2007); Sousa e Lobato, (2004).

Considerações Finais

A utilização das técnicas de geoprocessamento com base na interpretação das imagens de satélite Landsat, possibilitou a geração de bons produtos cartográficos para o intervalo de 20 anos, e uma avaliação espacial da dinâmica evolutiva de uso do solo, iniciando-se pelo ano de 1990. Neste ano o município ainda apresentava cerca de 65% de áreas remanescentes e aproximadamente 35% de uso agropecuário, ou seja, situação que se manteve relativamente estável até 2005. Mas no período de 2005 a 2010 houve um aumento significativo da área agrícola, alcançando cerca de 27% da área total, e assim dividindo equitativamente a área agrícola com os remanescentes, comportamento indicativo de desmatamento.

Considerando-se que as culturas praticadas são predominantemente as anuais e rotacionais, as aplicações de insumos e defensivos são também anuais, variando ao longo do calendário agrícola e do estágio de desenvolvimento fenológico das plantas, admitindo-se aproveitamento entre culturas sucessivas, mas é possível avaliar que são concentradas na primavera – verão e secundariamente no outono, também, considerando-se as quantidades aplicadas, pode-se supor que em termos médios os valores apontados são, além de elevados, também são concentrados em 30% da área total do município, onde são praticadas culturas

anuais, lideradas pela soja e culturas associadas, bem como pelo algodão, todas consumidoras de elevada quantidade de insumos e defensivos.

As condições de declive nas áreas de culturas (até 6%) favorecem a lixiviação vertical dos produtos, rumo aos freáticos e aquíferos, sobretudo o Guarani, já que é justamente nessas áreas que se encontram suas zonas de recarga e onde suas profundidades favorecem o acesso relativamente fácil ao seu consumo, fato corroborado pela quantidade de poços tubulares de captação aí concentrados. Vale lembrar ainda que Mineiros aloja áreas de recarga também das nascentes de bacias hidrográficas nacionais relevantes, como a do Paraná-Paraguai e a do Araguaia.

Todavia, é notável o fato de Mineiros ainda possuir cerca de 50%, de sua vegetação nativa, se bem que cerca 30% dessa área localiza-se no Parque Nacional da Emas (PNE), no entanto, essas áreas requerem medidas de conservação ambiental, visando uma produção sustentada, principalmente quanto ao manejo das atividades agrícolas e agroindustriais praticadas no seu entorno, de modo a evitar sua destruição, recomendando-se práticas e técnicas de conservação do solo, adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos e/ou orgânicos, controle biológico de doenças e pragas, reduzindo-se o uso intensivo de insumos e defensivos, como também a integração lavoura-pecuária, o policultivo, os sistemas agroflorestais e agrossilvopastoris, além do melhoramento genético das plantas, visando maior produtividade e maior resistência às pragas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, T. M.; CASTRO, S. S. Vulnerabilidade e Risco à Contaminação dos Solos da Área de Recarga do Aquífero Guarani no Estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 29, no1, 2009, p.135-150.
- BROCH, D. L. & RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja. In: **Fundação MS, Tecnologia de produção de soja e milho 2008/2009**, 2008, p.5-36.
- COELHO, A. M. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. Circular Técnica 96, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, **EMBRPA**, 2007, 11p.
- CARNEIRO, W. M. A. Mercado de defensivos agrícolas. **Informe Rural ETENE**. Ano 3, n. 11, 2009.
- CASTRO, S. S. de; XAVIER L. S. de; BARBALHO, M. G. S. da (Orgs.). **Atlas Geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguaína**: condicionantes dos processos erosivos lineares, Goiânia, SEMARH, 2004, 74p.

CUNHA, A. S. (coord.) **Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura nos cerrados**, Brasília: IPEA, 1994, p.19-44.

EMBRAPA. Recomendações Técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil, 2003/2004. **Embrapa Soja**, Documento 235, Londrina, 2003, 226p.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja, Londrina: **Embrapa Soja**. Circular Técnica n.35, 2001, 48p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Agropecuário 2010. Área plantada da cultura de soja e a porcentagem em relação às outras culturas temporárias**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 05/07. 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)**. Agricultura. 2009. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br. Acesso em: 19 Jul. 2013.

MACHADO, R. B.; NETO, M. B. R.; PEREIRA, P. G.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativa de perda do Cerrado brasileiro**. Conservação Internacional. Brasília, 2004. Disponível em: <http://www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatamCerrado.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2013.

MIZIARA, Fausto. Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no cerrado: o caso de Goiás. In: Guimarães, L. D. A.; SILVA, M. A. D.; ANACLETO, T. C. (Org.). **Natureza Viva Cerrado: Caracterização e conservação**. Cap. VII. 1ª ed. Goiânia, Editora UCG, 2006, p.169-196.

MUELLER, C. C. Dinâmica, condicionantes e impactos sócioambientais da evolução da fronteira agrícola no Brasil. **Rev. Adm. púb.**, Rio de Janeiro, 26 (3), 1992, p.64-87.

OLIVEIRA, L. A. Sistema Aquífero Guarani no Estado de Goiás: **Distribuição, Caracterização, Hidrodinâmica, Hidroquímica, Composição Isotópica e CFCs**. Tese (Doutorando em Geociências) – Universidade de Brasília. Instituto de Geociências, Brasília – DF, 2009, 189p.

OLIVEIRA, L. A. de; VIEIRA, A. S. Estado da Arte do Sistema Aquífero Guarani. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.11, n.34, 2010, p.174-189.

PITTA, G. V. E.; COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E.; MAGALHÃES, J. V. Cultivo do Milho. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sistema de Produção 1, 2ª Edição, 2006.

ROSA, A, V. **Agricultura e meio ambiente**. São Paulo: Ed. Atual, 1998, p. 95.

SHARPLEY, A. N.; MENZEL, R. G. The impact of soli and fertilizer phosphorus on the environmental. **Advances in Agronomy**, v. 41, 1987, p.297-324.

SOBRINHO, N. M. B. A.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; FONTES, M P. F. Efeito de um resíduo da indústria de Zn sobre a química de amostras de solo e plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 20, 1996, p.271-276.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: Souza, D. M. S. de, LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação, 2ª Ed, Brasília: **EMBRAPA**, 2004, p.81-96.

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO
AQUÍFERO GUARANI, NO MUNICÍPIO DE MINEIROS-GOÍÁS, POR
N-AMONIAL, NITRATO, NITRITO, FÓSFORO, POTÁSSIO E
CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA**

**QUALITY ASSESSMENT OF THE GROUNDWATER OF THE
GUARANI ARQUIFER, IN THE MUNICIPALITY OF MINEIROS,
GOIÁS, BY THE USE OF N-AMONIAL , NITRATE,
NITRITE,PHOSPHORUS, POTASSIUM AND HYDROCHEMICAL
CLASSIFICATION**

José Carlos Rodrigues Meira; Leandro Gonçalves Oliveira; Nelson Roberto
Antoniosi Filho; Danna Pereira Barbosa; Elieser Viegas Wendt; Marcus Vinícius Ramos.

Resumo - Desde a década de 1970, o município de Mineiros vem sofrendo impactos com expansão da fronteira agrícola com a conversão das coberturas do Cerrado em áreas de atividades agropecuárias. O objetivo deste trabalho foi avaliar as variações das concentrações de compostos nitrogenados na forma de N-amoniacal, N-nitrito e N-nitrato; além de utilizar o diagrama de Piper para classificar qualitativamente a água subterrânea provenientes de poços no Aquífero Guarani. Dentre os poços analisados na primeira amostragem, em 25% dos poços foram detectados a presença de N-Amoniacal e aproximadamente 47% não apresentou a presença de N-nitrato. Quanto ao nitrito, foi detectado tal composto, tanto na primeira quanto na segunda etapa de amostragem. Já na segunda amostragem, não foi detectada a presença de N-amoniacal, aproximadamente 56% das amostras detectou a presença de N-nitrato, sendo que as concentrações encontradas estavam abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação pertinente. A classificação hidroquímica identificou diferentes classes e tipos qualitativos de águas no aquífero, com predominância de águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, seguidas das águas sulfatadas cálcicas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas. Os resultados indicaram pouca contaminação antrópica na água subterrânea do SAG, apesar das características do terreno e dos históricos do uso de suas terras.

Palavras-Chave: Mineiros-GO, Sistema Aquífero Guarani, Impactos Ambientais da Agricultura.

ABSTRACT - Since the 1970s, the municipality of Mineiros has undergone impacts with the expansion of agriculture with Cerrado coverage conversion in areas of agricultural activities. The objective of this study was to evaluate the variations in the concentrations of nitrogen compounds in the form of ammonia-N, nitrite - N and nitrate-N; in addition to using Piper diagram to qualitatively classify groundwater from wells in the Guarani Aquifer. Among the wells analyzed on the first sample, in 25 % of the wells the presence of N – Ammonia was detected and approximately 47 % did not show the presence of nitrate-N. The nitrite, as a compound, was detected both on the first and on the second sampling stage. On the second sample, the presence of N- ammoniacal was not detected, and approximately 56 % of the samples detected the presence of nitrate-N, and the concentrations found were below the maximum permitted by the applicable legislation. The hydrochemical classification identified different classes and types of water quality in the aquifer, with a predominance of sulfated or sodic waters, followed by chlorinated waters of sulfated calcic or calcic or magnesian chlorinated waters. The results indicated low antropic contamination on the groundwater of the SAG, besides the land characteristics and the background use of its soil.

Keywords: Mineiros-GO, Guarani Aquifer System, Environmental Impacts of Agriculture.

INTRODUÇÃO

Em meados da década de 1970, o Centro-Oeste brasileiro sofreu forte expansão da fronteira agrícola através de investimento estatal, sobretudo com a implantação do Programa de desenvolvimento do Cerrado (POLOCENTRO), cuja grande mudança de uso do solo resultou da conversão das coberturas vegetais em áreas para produção agrícola e pecuária extensiva, utilizando-se de modernas tecnologias, cujo objetivo era o incremento da produção e da produtividade mundial, através da tecnologia em melhoramento genético, produção de sementes, uso intensivo de equipamentos e de insumos, como corretivos, fertilizantes e defensivos agrícolas (MIZIARA, 2006).

Castro et al. (2004) relatam que o Centro-Oeste brasileiro passou, a partir dessa década (1970) a se destacar pela expansão da produção de grãos, em especial da soja, além de milho, sorgo e algodão, mantendo essa posição até hoje, sendo importante tanto para o consumo interno, quanto para a exportação. Ainda, segundo os mesmos autores, essas

mudanças promoveram amplas transformações nas paisagens de um bioma classificado com áreas prioritárias para conservação da biodiversidade mundial, conhecidas como hotspots, por meio de desmatamentos, acompanhados por impactos sobre a biodiversidade, solos e águas (MACHADO et al., 2004).

Entretanto, o cultivo dessas culturas demanda uso frequente de fertilizantes, como os nitrogenados (exceto a cultura de soja que emprega a fixação biológica de nitrogênio). Dentre as substâncias que podem constituir risco para a saúde humana, incluem-se os compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação: nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. O nitrato é um dos poluentes mais comuns nas águas subterrâneas e causa significativo problema de qualidade da água subterrânea em todo mundo, especialmente em áreas agrícolas (CHEONG et al., (2011).

Estudos têm demonstrado a contaminação de água subterrânea por nitrato em várias partes do mundo (ABDESSELAM et al., 2012; BOROUDI et al., 2012; GRASSI et al., 2007; NISI et al., 2013; THIRBURN et al., 2003); WICK et al., 2012), que segundo Araújo et al. (2011) a contaminação de águas subterrâneas por nitrato pode ser um problema quando ocorre o uso intensivo de fertilizantes na agricultura, especialmente em área de recarga de aquíferos livres. O nitrato e o nitrito podem reagir com aminas e amidas e formarem agentes cancerígenos a partir de compostos N-nitrosos. Segundo Chapelle (2000) a oxidação da amônia, derivada de fertilizantes com uréia, num processo biológico aeróbio, a transforma em nitrito, sob a ação do grupo de bactérias *Nitrosomanas*, e ao final, em nitrato pelo grupo *Nitrobacter*.

Nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores, geralmente, abaixo de 5 mg L⁻¹, nitrito e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos a nitrato pelas bactérias, portanto, quando detecta a presença de nitrito e amônia em águas naturais é indicativo de contaminação recente. Resultados de análises com altas concentrações de nitrato indicam que a matéria orgânica que entrou em contato com a água encontra-se totalmente decomposta. O nitrato (NO₃⁻) ou nitrogênio nítrico é o último estágio da oxidação do nitrogênio (PINTO, 2006). Segundo World Health Organization (WHO, 2011), uma água não deve ter mais do que 10 mg L⁻¹ de nitrato.

Em áreas agrícolas, o nitrato constitui-se no principal contaminante da água potável (WARD et al., 2007). Os efeitos na saúde devido à transformação dos nitratos em nitritos, e eventualmente a transformação de nitrito em nitrosaminas, no estômago, pode causar metahemoglobinemia em crianças de até dois anos de vida devido à sua presença na água

utilizada para reconstituir o leite para a alimentação (SACCO et al., 2007). Também o aborto espontâneo e o aumento de risco de linfoma não-Hodgkin, têm sido associados à água potável contaminadas por nitrato em baixa concentração como 2,5 a 4 mg L⁻¹ (GURDAK; QI, 2012).

Segundo Branco (1992) o nitrogênio presente nos vegetais, animais e esgotos passa por uma série de transformações. Nos vegetais e animais, o nitrogênio se encontra na forma orgânica. Ao chegar à água, ele é rapidamente transformado em nitrogênio amoniacal, que é posteriormente transformado em nitritos (ou nitrogênio nitroso), os quais, finalmente chegam a nitratos (nitrogênio nítrico). Essas duas últimas transformações só ocorrem em águas que contenham bastante oxigênio dissolvido. Assim, se for encontrado muito nitrogênio amoniacal na água, o ambiente é provavelmente pobre em oxigênio. No Brasil, o nível de concentração máxima permitida de nitratos na água de consumo é de 10 mg L⁻¹, para N-amoniacal é 1,5 e, para o nitrito, 1 mg L⁻¹ (MS, 2011).

Neste contexto, as águas subterrâneas destacam-se por serem importantes fontes de água potável para consumo humano, dessedentação animal, uso agrícola e industrial, bem como, pode ser também fontes contaminadas, devido à ação antrópica em áreas de abrangências desses mananciais. Estudos demonstram que a qualidade da água subterrânea tem sido deteriorada de forma considerável em muitos países (PACHECO; CABRERA, 1997; JEONG, 2001; ELHATIP et al., 2003; LEE et al., 2003; RAJMOHAN; ELANGO, 2005; JALALI, 2007, 2009). Essa degradação segundo Causape et al. (2004) está sendo intensificada devido às ações antrópicas que trazem como consequência, a contaminação dos aquíferos, principalmente em decorrência do desenvolvimento agrícola, devido ao uso intensivo de insumos e da expansão urbana, pela falta de saneamento (JALALI, 2006).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as variações dos teores de compostos nitrogenados na forma de N-amoniacal, N-nitrito e N-nitrato, fósforo e potássio no Aquífero Guarani, no município de Mineiros, estado de Goiás, considerando-se como principais fontes desses componentes, os fertilizantes aplicados no solo, desta forma, visando fornecer subsídios para a avaliação das implicações decorrentes do uso deste insumo para as águas subterrâneas. Também outros parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica) foram analisados com o objetivo de classificar as águas subterrâneas da área de estudo, já que no Brasil há grande carência de dados sobre a qualidade e caracterização das águas subterrâneas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O município de Mineiros está localizado no Sudoeste Goiano (Figura 1), tem área de 8.896 km² e se situa geograficamente em altitudes que variam entre 770 metros a 1.100 metros. O município apresenta precipitação média anual de 1.853 mm e temperatura entre 18 e 20 °C. O clima é definido basicamente por duas estações, uma seca, com temperaturas amenas, e a outra chuvosa, com temperaturas elevadas. A sua população é de um pouco mais de 63 mil habitantes. As principais fontes de renda da região são agricultura intensiva, bovinocultura e avicultura, que recentemente tem-se destacado pela grande quantidade de granjas de criação de aves, principalmente perus, que abastecem um frigorífico que é fonte de geração de emprego para 10% da população ativa do município, além da cultura da cana-de-açúcar que vem se intensificando no município desde 2007.

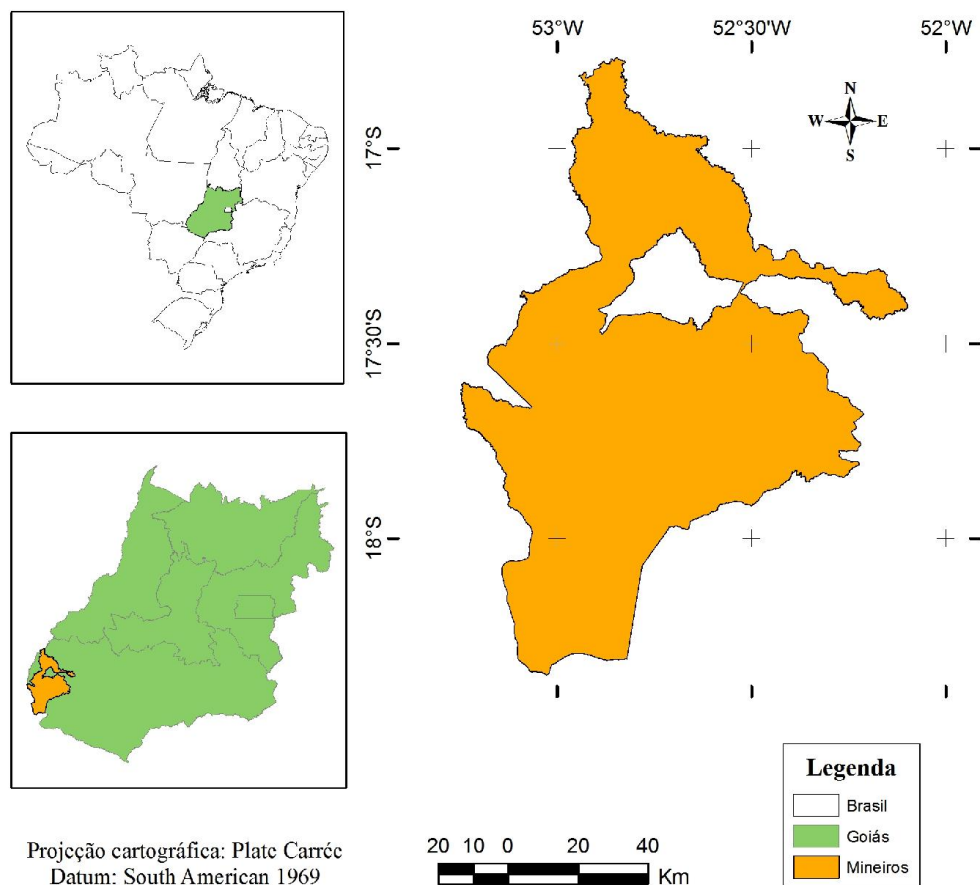


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo

Segundo Gomes (2008) a região onde se insere a área de estudo faz parte de uma das cinco regiões de recarga do Aquífero Guarani identificadas no Brasil, Paraguai e Uruguai em que predominam aquíferos do tipo livre, ou seja, mais susceptíveis à contaminação. Além disso, o município de Mineiros está inserido em uma das doze áreas selecionadas para atuação do POLOCENTRO (BARBALHO, 2002), que sofreu intensa mudança de uso do solo, sobretudo desde a década de 1970. Nele predomina o Sistema Aquífero Guarani – SAG, que apresenta uma importante área para sua recarga (ALVES; CASTRO, 2009),

Geologia

O município realça-se por ocupar grandes áreas em faixas de afloramentos e recargas do Sistema Aquífero Guarani (SAG), com predominância da Formação Botucatu. Do ponto de vista mineralógico, o Arenito Botucatu é composto por quartzo, de granulção média a fina, fragmentos de feldspato de potássio. Segundo Oliveira e Vieira (2011), essa formação é composta por arenitos eólicos, constituídos predominantemente por areias finas a médias cimentadas por sílica, carbonato e ou limonita.

Segundo Veroslavsky et al. (2008), o SAG na região Sul de Goiás está distribuído em uma área de 39.367,72 km². A área de ocorrência compreende três zonas aflorantes e a porção confinada. A zona de afloramento mais representativa, com 8.832 km², está localizada na região de Mineiros, que se estende desde o município de Santa Rita do Araguaia até o município de Serranópolis (OLIVEIRA, 2009).

Plano de Amostragem

A seleção dos poços seguiu um planejamento envolvendo análise estatística dos 163 poços existentes na área de estudo, que desse total, 30 poços foram selecionados com um nível de confiança de 90%. Como não havia uma distribuição uniforme desses poços, optou-se pelo uso do método dos polígonos de Thiessen, como base na área de influência de cada poço, a fim de maior espacialização da área de estudo. Foram realizadas duas amostragem, a primeira em janeiro de 2013 e a segunda em junho de 2013.

Dessa forma, a área de influência decisiva para a seleção dos poços foi obtida pela aplicação do método dos polígonos de Thiessen. Traçaram-se no mapa linhas retas que uniu os poços adjacentes, isto é, os mais próximos entre si. Em seguida, traçaram-se as mediatrizes destas retas (linhas médias perpendiculares). Finalmente definiram-se as regiões de influência, que são os polígonos, onde foram definidos os 30 poços (Figura 2).

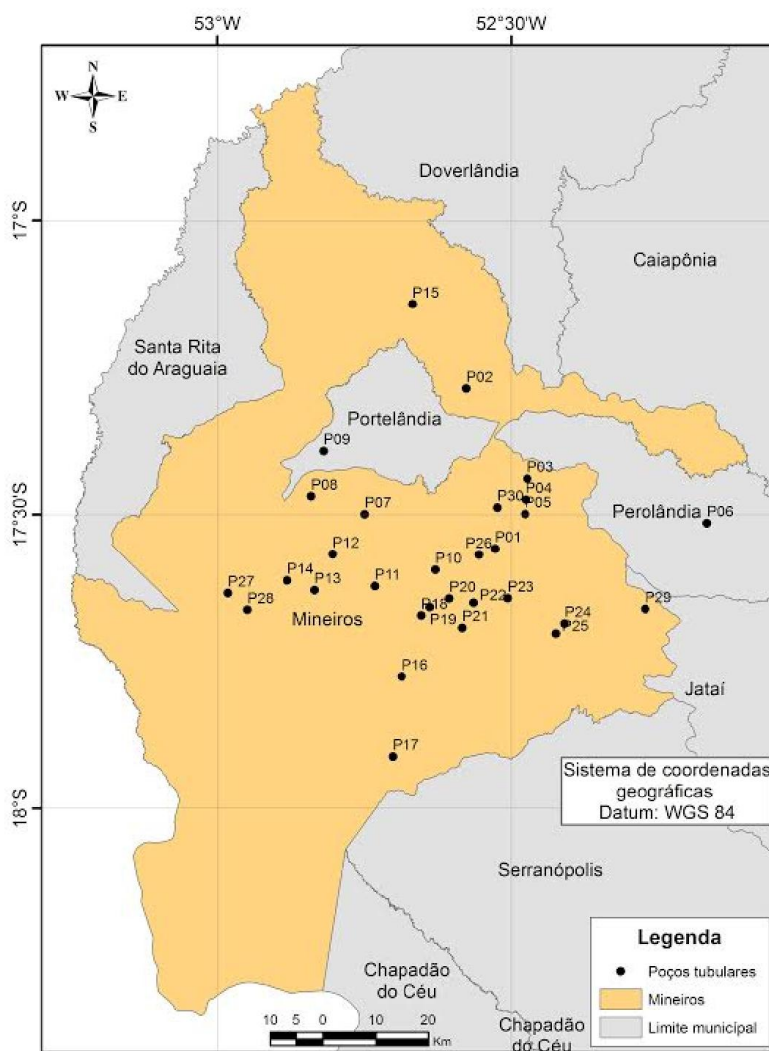


Figura 2 – Mapa de localização dos poços

Análises Físico-químicas

As coletas das amostras das águas subterrâneas foram realizadas nos meses de janeiro e junho de 2013. Os poços foram expurgados antes das medições. As medidas de temperatura, pH, condutividade elétrica (CE) e as análises de nitrato, nitrito e N-amoniacal foram realizadas em campo. A temperatura, condutividade elétrica e o pH foram medidas em aparelho portátil da marca Hanna. As análises de Nitrato, Nitrito, N-amoniacal e sulfato utilizou-se colorímetro AT 100p II Alfakit. Para o nitrato e nitrito, o método foi o N-(naftil)-etinodiamina (NDT), adaptado do Standard Methods 22^a ed. 4500 B, 4-118. Para o N-amoniacal pelo método do azul de Indofenol, adaptado do Standard Methods 22^a ed. 4500 F, 4-114 e para cloreto e bicarbonato por análises titrimétrica, conforme

Tabela 1. A quantificação dos Ca, Mg, Na, K e P foi realizada no ICP-OES da Thermo Fisher Scientific, modelo iCAP 6300 Duo, com os seguintes acessórios: tubos de tygon, nebulizador concêntrico, câmara de nebulização ciclônica e tubo injetor central de 2 mm.

Tabela 1 – Métodos e limites de quantificação

Parâmetro	Método	Fotocolorímetro				Espectro	
		LQI	LQS	Sensib. *	Unidade	Filtro	λ (nm)
Nitrato	NDT	0,10	2,50	0,0924	mg L ⁻¹	Verde	535
Nitrito	Alfanaftilamina	0,02	0,30	-	mg L ⁻¹	Verde	520
Amônia	Azul de Indofenol	0,10	0,30	-	mg L ⁻¹	Verde	630
Sulfato	Sal de Bário	5,0	75	-	mg L ⁻¹	Azul	415
Cloretos	Precipitação Argentimétrico	-	-	-	-	-	-

LQI: Limite de quantificação inferior, LQS: Limite de quantificação superior, Sensib.: Sensibilidade ou coeficiente angular.

Para a classificação hidroquímica das águas subterrâneas do SAG no município, utilizou-se o aplicativo computacional Qualigraf (FUNCEME, 2006) para a geração do diagrama da United Statet Salinity Laboratory (USSL) ou diagrama de Piper, que frequentemente é empregado para classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos cátions e ânions. Para os sólidos totais dissolvidos (STD) utilizou o programa computacional Qualigraf (FUNCEME, 2006).

Os diagramas de Piper ou diagramas trilineares (PIPER, 1944; BACK, 1966), como são conhecidos, é um diagrama hidroquímico utilizado amiúde, quando se trabalha com grande número de análises químicas da água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes.

O diagrama possui dois triângulos, um do lado direito onde são plotados os valores em percentagem das concentrações dos principais cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e do lado esquerdo dos principais ânions (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}). O cruzamento do prolongamento dos pontos na área do losango define sua posição e classifica a amostra de acordo com suas fácies hidroquímica.

RESULTADOS E DICUSSÕES

Os valores dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas no Aquífero Guarani, no município de Mineiros, foram obtidos no período chuvoso (outubro a abril) e no período de estiagem (maio a setembro), que refletem os processos geoquímicos da área de

estudo ou provável contaminação ocasionada pela ação antrópica. Desta maneira, foram determinados os cátions cálcio, sódio, potássio, magnésio, também, foram analisados os ânions nitrato, nitrito, amoniacal, sulfato, cloreto, bicarbonato dentre outros.

N-Amoniacal

O nitrogênio amoniacal tem sua origem no uso de fertilizantes durante a preparação do solo para o plantio. Dentre os poços analisados na primeira amostragem período chuvoso (janeiro de 2013), em 76,67% não se detectou a sua presença, já nos poços em que se detectou a presença de N-amoniacal, a variação foi de 0,10 a 0,20 mg L⁻¹ (Figura 3), sendo que esses teores encontrados estão abaixo do padrão estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, que é 1,5 mg L⁻¹ N-amoniacal (WHO, 2007 e MS, 2011). Nos poços analisados na segunda amostragem (período de estiagem) não se detectou a presença de N-amoniacal.

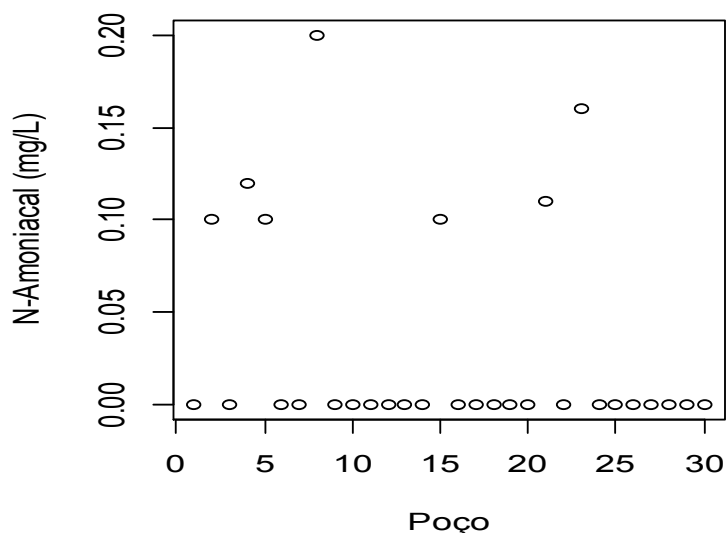


Figura 3 - Teores de N-Amoniacal (período chuvoso)

A amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo (FORMAGGIA, 1996).

N-Nitrato

O nitrogênio está sempre presente nos ecossistemas aquáticos e mais abundantemente como um gás. Existem quantidades relativamente pequenas em formas combinadas de amônia, nitrato, nitrito, uréia e compostos orgânicos dissolvidos (GOLDMAN & HORNE, 1983). Na primeira amostragem no período chuvoso (janeiro de 2013), cerca de 43% dos poços não se detectou a presença N-Nitrato, já nos poços em que detectou a presença de N-Nitrato, a variação foi de 0,10 a 0,40 mg L⁻¹ (Figura 4), portanto, bem abaixo do valor máximo permissível para águas destinadas ao consumo humano, que é de 10 mg N-NO₃¹⁻ L⁻¹ (MS, 2011). Na segunda coleta os valores encontrados estão entre zero a 3,42 mg L⁻¹ de N-NO₃¹⁻ (Figura 5). O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre zero e 0,05 mg L⁻¹ (Figura 8). O valor de máximo de N-NO₃¹⁻ foi encontrado no poço 26, localizado na área urbana, que pode ser uma provável contaminação por esgoto doméstico.

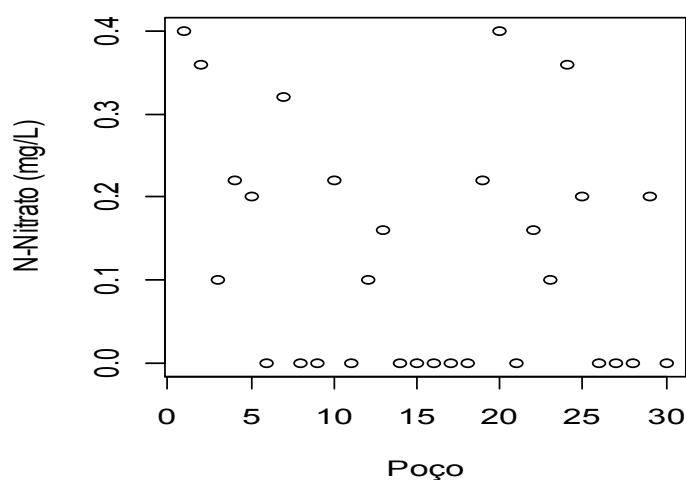


Figura 4 – Teores de Nitrato (período chuvoso)

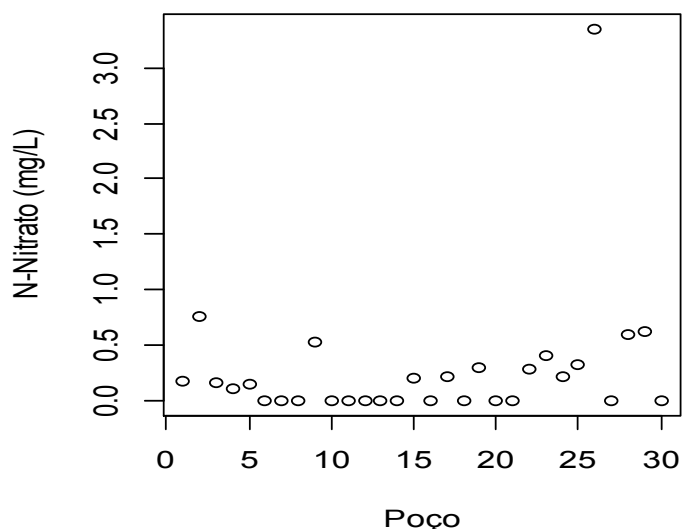


Figura 5 – Teores de nitrato (período estiagem).

Porém, as baixas concentrações de nitrato encontradas na área de estudo, podem ser justificadas em parte, pois, a principal cultura praticada no município é a cultura de soja, sendo que a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é a principal fonte de nitrogênio para essa cultura. As bactérias do gênero *Bradyrhizobium* quando em contato com as raízes da soja, infectam-nas formando os nódulos, retirando diretamente do ar o nitrogênio – em forma gasosa – e transformando-o em formas absorvíveis. Assim, a FBN dependendo de sua eficiência, pode fornecer todo o Nitrogênio que a soja necessita, nesse caso, não há necessidade de adubação nitrogenada (EMBRAPA, 2003; HUNGRIA, et al., 2001). Ainda, resultados obtidos por Crispino et al. (2001) corroboram com outros trabalhos realizados em vários locais do Brasil, indicando que a adubação nitrogenada na cultura de soja é desnecessária quando utiliza-se da FBN.

N-nitrito

O nitrito, a forma reduzida parcialmente do nitrato, está presente na água em quantidades insignificantes (GOLDMAN; HORNE, 1983). Os nitritos são produto da oxidação do amônio ou da redução dos nitratos. Na água em condições de oxidação normais, a conversão dos nitritos em nitratos é quase que imediata (WHO, 2007). Assim, sua presença na água geralmente é pontual e temporária, quando detectada em água é indicativo de contaminação recente ou ambiente com baixa concentração de oxigênio. Quanto ao N-nitrito, não foi encontrada a sua presença, tanto primeira, quanto na segunda amostragem.

Fósforo

Segundo Barbosa Filho et al. (2005) em solos de cerrado o fósforo na solução do solo é muito baixo, sendo preciso fazer uma adubação fosfatada, a título de correção, para aumentar o nível de fósforo disponível. Essa adubação é indicada para solos argilosos e arenosos com baixos teores de fósforo, característicos da área de estudo. A capacidade do solo de adsorver fósforo é o fator mais importante que afeta a disponibilidade do fósforo. Assim, as perdas por lixiviação são muito baixas, visto que o fósforo é muito pouco móvel no solo. Dessa forma, o fósforo que é composto principalmente por fosfatos, cuja origem está no uso de fertilizantes agrícolas para o plantio das principais culturas do município, não foi detectado em nenhum dos poços analisados, tanto na primeira amostragem, quanto segunda amostragem.

Potássio

Fertilizantes potássicos largamente utilizados na agricultura são substâncias extremamente solúveis em água, que fornecem o potássio necessário ao desenvolvimento vegetal. O sulfato de potássio e o cloreto de potássio são as principais matérias primas para a produção desses fertilizantes. Segundo Fernandes et al. (2005) o íon potássio, proveniente do utilizado como fertilizante na agricultura é facilmente assimilado pelo sistema solo – planta, enquanto o íon cloreto, que é conservativo, é carregado para o aquífero, tornando-se fonte de salinização das águas. Segundo Celligoi (1999) o potássio tende a fixar-se, adsorvidos em minerais argilas, tem pouca mobilidade geoquímica nas águas doces e é raramente encontrado em concentrações iguais ou maiores que o sódio. Entretanto, Barbosa Filho et al. (2005) ressalta que em solos arenosos, com drenagem excessiva e CTC baixa, poderá haver consideráveis perdas de potássio por lixiviação, tendo em vista o comportamento desse elemento no solo (não sofre fixação). Essas condições são muito comuns no Brasil, o que predispõe a grandes perdas de nutrientes por lixiviação. Ainda, Barbosa Filho et al. (2005) recomenda para melhor utilizar o potássio existente no solo e o adicionado pela adubação, deve-se neutralizar o alumínio trocável, realizando a calagem, e aplicar doses menores de fertilizantes com maior frequência.

Nos poços analisados na primeira amostragem os teores de potássio variaram de 0,0096 a 3,75 mg L⁻¹ (Figura 6). Na segunda coleta os valores variaram de 0,0221 a 3,76 mg L⁻¹ (Figura 7).

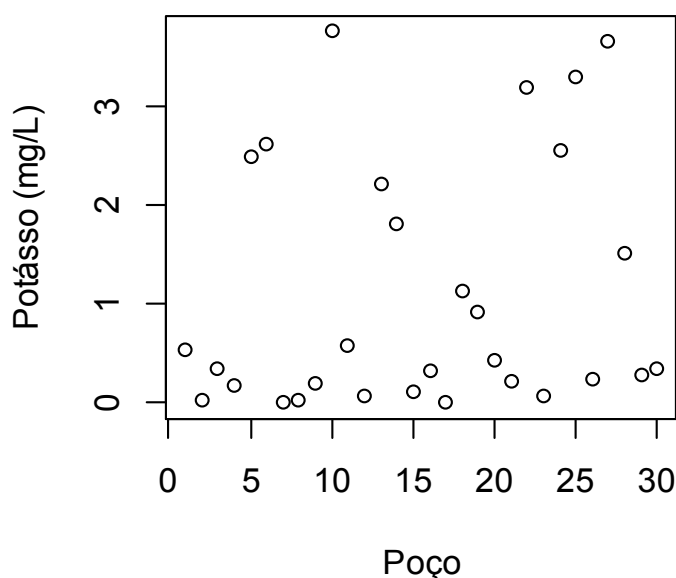


Figura 6 – Teores de potássio (Período chuvoso)

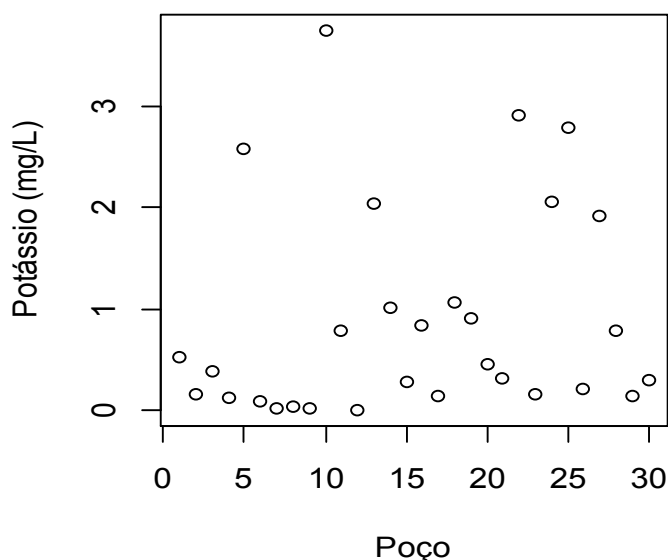


Figura 7 – Teores de potássio (Período estiagem)

Geralmente os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a $10,0 \text{ mg L}^{-1}$, sendo mais frequente valores entre $1,0$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000; OBIEFUNA; SHERIFF, 2011). As maiores concentrações de potássio foram encontradas em áreas de agricultura e áreas de pastagens próximas de áreas de plantações de cana-de-açúcar e soja, sugerindo que parte da contaminação por potássio nessas áreas, pode estar ocorrendo, devido ao uso frequente desse insumo nessas áreas e sua predisposição a lixiviação. Na Resolução (CONAMA, 2008) e Portaria (MS, 2011), não contemplam um limite para a concentração de potássio. A World Health Organization (WHO, 2011) sugere o valor de 55 mg L^{-1} . Nesse caso, os teores encontrados estão abaixo do limite para a primeira e segunda amostragem.

Classificação Hidroquímica

Nas águas subterrâneas de Mineiros de acordo com o diagrama de Piper (FUNCEME, 2006) foram identificadas diferentes classes e tipos predominantes de águas existentes no aquífero, com predominância de águas sulfatadas ou cloretadas sódicas seguidas das sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas (Figura 8). As amostras de água analisadas quanto aos íons positivos, 50% são sódicas, 36,7% são cálcicas e 13,3% são mistas. Quanto aos ânions dissolvidos, as amostras aglomeram-se no campo das sulfatadas com 36,7%, cloretadas 23,3%, bicarbonatadas 20,0% e mistas 20,0%. Dessa forma, em geral as águas foram classificadas como: águas sulfatadas ou cloretadas sódicas 40,0%, águas sulfatadas ou

cloretadas cálcicas ou magnesianas 36,7%, águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas 13,3% e 10% de águas sódicas (Tabela 1). A presença de sulfato nas águas subterrâneas está relacionada à oxidação de sulfetos nas rochas e a lixiviação de compostos sulfatados como gipsita e anidrita.

Tabela 1 – Classificação em porcentagem das águas subterrâneas do município de Mineiros de acordo com o diagrama de Piper.

<i>Cátions</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Sódicas	50,0
Cálcicas	36,7
Mistas	13,3
<i>Ânions</i>	
Sulfatadas	36,6
Cloretadas	23,3
Bicarbonatadas	20,0
Mistas	20,0
<i>Geral</i>	
Águas Sulfatadas ou Cloretadas Sódicas	40,0
Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcicas ou Magnesianas	36,7
Águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas	13,3
Águas Sódicas	10,0

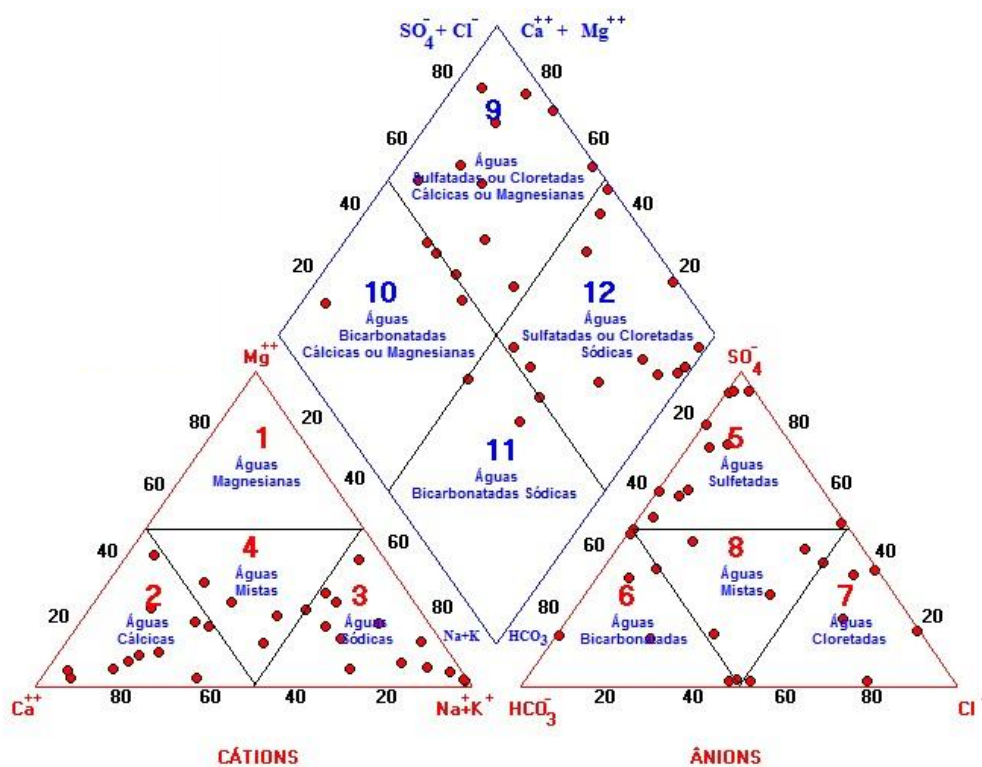


Figura 8 – Classificação das Águas Subterrâneas de Mineiros de acordo com Diagrama de Piper.

Na figura 8 acima observa-se para oito poços uma tendência quanto a predominância de sulfato. Este pode ser um indicador do ambiente natural, principalmente quanto ao tipo das rochas na região. Ao contrário, os bicarbonatos aparecem no gráfico em menor frequência.

Classificação quanto aos sólidos totais dissolvidos

A estimativa dos sólidos Totais Dissolvidos (STD), obtida através da condutividade elétrica dá uma ideia da potabilidade da água. Segundo Feitosa e Manoel Filho (2000), na maioria das águas subterrâneas naturais, a condutividade elétrica da água multiplicada por um fator que varia entre 0,58 a 0,75, gera uma boa estimativa dos sólidos totais dissolvidos na água. Assim, os sólidos totais dissolvidos (STD) correspondem ao peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume.

Nas amostras de águas dos poços analisados a concentração dos STD na primeira coleta (período chuvoso) variaram 1,63 a 298 mg L⁻¹ e na segunda coleta (período de estiagem) os valores variaram de 1,63 a 269,2 mg L⁻¹. Assim, Com base nos valores estimados de sólidos totais dissolvidos (STD) as águas do Aquífero Guarani na área de estudo conforme FUNCEME, 2006, foram classificadas como água doce (Figura 9), porém a amostra do poço 10 apresentou altos valores de STD, isso devido as altas concentrações de sulfato de cálcio encontradas nesse poço, sendo de 298 mg L⁻¹ STD na primeira amostragem (janeiro/13) e 269 mg L⁻¹ na segunda amostragem (junho/13).

Segundo a Portaria MS, 2011, O VMP de sulfato para o consumo humano é 250 mg L⁻¹, devido ao efeito organoléptico, logo a água do poço torna-se imprópria para o consumo humano. Mas o principal uso das águas na área de estudo é para a dessedentação de animais, nesse caso, o poço 10 enquadra para esse uso, pois o VMP de sulfato para a dessedentação de animais é de 1000 mg L⁻¹, Conforme CONAMA, 2008.

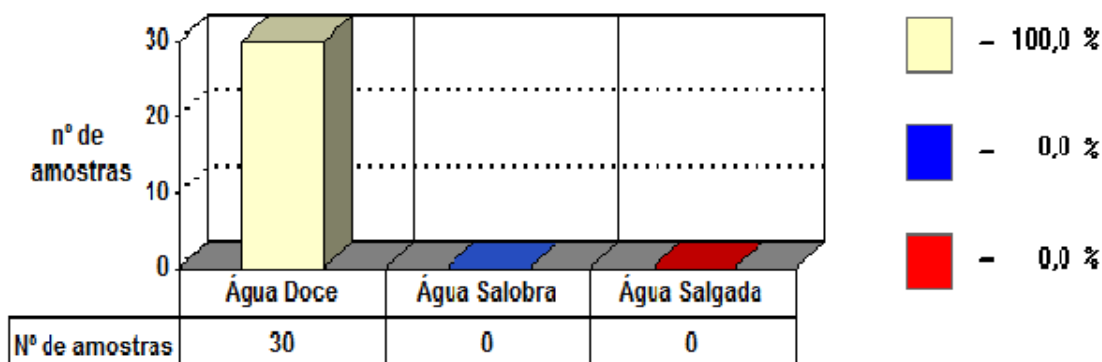


Figura 9 – Classificação das águas subterrâneas município de Mineiros-GO quanto aos valores de STD.

CONCLUSÃO

De acordo com os parâmetros analisados, verificou-se que a qualidade das águas subterrâneas do SAG, no município de Mineiros é de boa qualidade, sendo apropriada para o consumo humano (exceto amostra de água do poço 10), uma vez que foram encontradas baixas concentrações da maioria dos constituintes dissolvidos, inserindo-se todos eles no contexto dos padrões estabelecidos pela Resolução do CONAMA 396 (2008) e dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2.914 (2011).

Os teores de nitrato e amônia encontrados foram incipientes, tanto na primeira amostragem (período chuvoso), quanto na segunda amostragem (período de estiagem), enquanto nitrito e fósforo ausentes, assim todos esses parâmetros estão dentro da legislação vigente (Resolução CONAMA 396, 2008 e Portaria MS 2914, 2011).

As subterrâneas do Aquífero Guarani no município de mineiros foram classificadas como águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas, águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e em menores porcentagens em águas sódicas.

REFERÊNCIAS

- ABDESSELAM, S.; HALITIM, A.; JAN, A.; TROLARD, F.; BOURRAIÉ, G. Anthropogenic contamination of groundwater with nitrate in arid: case study of southern Hodna (Alégria). *Environ Earth*, Special Issue, 2012.
- ALVES, T. M.; CASTRO, S. S. Vulnerabilidade e Risco à Contaminação dos Solos da Área de Recarga do Aquífero Guarani no Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 29, no1, p. 135-150, 2009.
- ARAÚJO, P. P.; OLIVEIRA, F.de A.; CAVALCANTE, I. N.; QUEIROZ, J. C. B.; CARNEIRO, B. S.; TANCREDI, A. C. F. N. S. Classificação hidroquímica e contaminação por nitrato no aquífero livre Barreiras na bacia do rio Capitão Pocinho região do médio rio Guamá, na Amazônia oriental. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 266-281, 2011.
- BACK, W. **Hydrochemical Facies and Groundwater Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain**. U. S. Geological Survey Professional Paper 498-A, 1966.
- BARBALHO, M. G. S. **Morfopedologia Aplicada ao Diagnóstico e Diretrizes para o Controle dos Processos Erosivos Lineares na Alta Bacia do Rio Araguaia (GO/MT)**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais (IESA), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002, 141p.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; MENDES, P. N. Cultivo do Feijão Irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais. Embrapa Arroz e Feijão, Sistema de Produção n.5, EMBRAPA, 2005.

BOROUDI, M.; BAKKOUR, H.; HALWANI, J.; TAHA, S.; EL OSMANI, R.; MOUNEINME, A. H. Determination of pesticides, Nitrates and Nitrites level in Groundwater of Akkar plain in Northern Lebanon. **Journal of Applied Sciences Research**, n. 8, 2012, p.4663-4667.

BRANCO, S. M. **Guia de avaliação de qualidade das águas**. In: SOS mata Atlântica: observando o Rio Tietê. São Paulo, 1992. p. 105-135.

CONAMA. Resolução CONAMA 396, de 03 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 de Abr. 2008. Seção Resoluções, 71p. 2008.

CASTRO, S. S. de; XAVIER L. S. de; BARBALHO, M. G. S. da (Orgs.). **Atlas Geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha: condicionantes dos processos erosivos lineares**, Goiânia, SEMARH, 2004, 74p.

CASTRO, S. S. de; XAVIER L. S. de; BARBALHO, M. G. S. da (Orgs.). **Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha: condicionantes dos processos erosivos lineares**. Goiânia: SEMARH, 2004. 74p.

CAUSAPE, J.; AUQUE, L.; GIMENO, M. J.; MANDADO, J.; QUILEZ, D.; ARAGUES, R. Irrigation effects on the salinity of the Arba and Riguel Rivers (Spain): present diagnosis and expected evolution using geochemical models. **Environmental Geology**, Berlim, v. 45, p. 703-715, 2004.

CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. **Geografia**, Londrina, v.8, n. 1, 1999, p-91-97.

CHAPELLE, F. H. **Ground-water microbiology and geochemistry**. 2a Ed., John Wiley & Sons, New York, 2000, 468p.

CHEONG, J. Y.; HAMM, S. Y.; LEE, J. H.; LEE, K. S.; WOO, N. C. Groundwater nitrate contamination and risk assessment in an agricultural area, South Korea. **Environ Earth Sci. Springer-Verlag**, 2011, p. 1127-1136.

CRISPINO, C. C.; FRANCHINI, J. C.; MORAIS, J. Z.; SIBALDELLE, R. N. R.; LOUREIRO, M. F. de; SANTOS, E. N. dos; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Adubação Nitrogenada na Cultura de Soja, Londrina, Comunicado Técnico 75, **EMBRAPA**, 2001, 6p.

ELHATIP, H.; AFSIN, M.; KUSCU, L.; DIRIK, K.; KURMAC, A.; KAVURMAC, M. Influences of human activities and agriculture on groundwater quality of Kayseri-Incesus-Dokuzpinar springs central Anatolian part of Turkey. **Environmental Geology**, Berlin, v. 44, p. 490-494, 2003.

EMBRAPA. Recomendações Técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil, 2003/2004. **Embrapa Soja**, Documento 235, Londrina, 2003, 226p.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID – UFPE, ed. 2, 391 p., 2000.

FERNANDES, M. A. B.; SANTIAGO, M. M. F.; GOMES, D. F.; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H.; LIMA, J. O. G. A origem dos cloretos nas águas subterrâneas na Chapada do Apodi – Ceará. **Águas Subterrâneas**, v. 19, n. 1, 2005, p.25-34.

FORMAGGIA, D. M. E.; PERRONE, M. A.; MARINHO, M. J. F.; SOUZA, R. M. G. L. Portaria 36 GM de 19/01/90 Necessidade de Revisão. **Eng. Sanit. Amb.**, 1(2), 1996, p. 5-10.

FUNCEME. **Fundação Cearense de Metodologia e Recursos Hídricos**. Qualigraf (2006).

GOMES, M. A. F.. **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental**. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 417p.

GRASSI, S.; CORTECCI, G.; SQUARCI, P. Groundwater resource degradation in coastal plains: The example of the Cecina área (Tuscany – Central Italy). **Applied Geochemistry**, n. 22, 2007, p.2273-2289.

GOLDMAN, C. R.; HORNE, A. J. **Limnology**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1983, 464p.

GURDAK, J. J.; QI, S. L., Vulnerability of Recently Recharged Groundwater in Principle Aquifer of the United States To Nitrate Contamination. **Environmental Science & Technology. American Chemical Society**, 2012, p. 6004-6012.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja, Londrina: **Embrapa Soja**. Circular Técnica n.35, 2001, 48p.

KHAN, M. S.; AHMAD, S. R.; RAHMAN, Z.; ISHAQUE, M. Estimation and Distribution of Nitrate Contamination in Groundwater of Wah Town, its Causes and Management. **Pakistan Journal of Nutrition**, n. 11, 2012, p.332-335.

JALALI, M. Assessment of the chemical components of Famenin groundwater, western Iran. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 29, p. 357-374, 2007.

JALALI, M. Chemical characteristics of groundwater in parts of mountainous region, Alvand, Hamadan, Iran. **Environmental Geology**. Berlin, v. 51, 2006, p.433-446.

JALALI, M. Phosphorus concentration, solubility and species in the groundwater in a semi-arid basin, southern Malayer, Western Iran. **Environmental Geology**, Berlim, v. 57, p. 1011-1020, 2009.

JEONG, C. H. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. **Journal of Hydrology**. Amsterdam, v. 253, p. 194-210, 2001.

LEE, S.M.; MIN, K. D.; WOO, N. C.; KIM, Y. J.; AHN, C. H. Statistical models for the assessment of nitrate contamination in urban groundwater using GIS. **Environmental Geology**, Berlim, v. 44, p. 210-221, 2003.

MACHADO, R. B.; NETO, M. B. R.; PEREIRA, P. G.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativa de perda do Cerrado brasileiro. Conservação Internacional**. Brasília, 2004. Disponível em:

<http://www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatamCerrado.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2012.

MIZIARA, Fausto. Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no cerrado: o caso de Goiás. In: Guimarães, L. D. A.; SILVA, M. A. D.; ANACLETO, T. C. (Org.). **Natureza Viva Cerrado: Caracterização e conservação**. Cap. VII. 1ª ed. Goiânia: Editora UCG, 2006.

MS. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914 de 12 de Dezembro de 2011. **Estabelece normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano**. Diário Oficial da União, Brasília, 2011.

NISI, B., VASELLI, O.; HUERTAS, A. D.; TASSI, F. Dissolved Nitrates in the groundwater of the Cecina Plain (Tuscany, central-western Italy): Clues From the isotopic signature of NO_3^- . **Applied Geochemistry**, 2013.

OBIEFUNA, G. I.; SHERIFF, A. Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria For Irrigation and Domestic Purposes. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v. 3, p. 131-141, 2011.

OLIVEIRA, L. A. **Sistema Aquífero Guarani no Estado de Goiás: Distribuição, Caracterização, Hidrodinâmica, Hidroquímica, Composição Isotópica e CFCs**. Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Brasília – DF, 2009.

OLIVEIRA, L. A. de; VIEIRA, A. S. Estado da Arte do Sistema Aquífero Guarani. Caminhos de Geografia – Revista on line. **Instituto de Geografia UFU**. V.11, n.34, p.174-189, 2011.

PAPIER, A. M. **A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses**. Transactions – American Geophysical Union 25, p. 914-923, 1944.

PACHECO, J.; CABRERA, S. Groundwater contamination by nitrates in the Yucatan Peninsula, Mexico. **Hydrogeology Journal**, Amsterdam, v.5, p. 47-53, 1997.

PINTO, M. A. T. et al. Reuso das águas residuárias: uma análise crítica. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro. ABES, 2006. p. 393-403.

RAJMOHAN, N.; ELANGO, L. Nutrient chemistry of groundwater in an intensively irrigated region of Southern India. **Environmental Geology, Berlin**, v. 47, p. 820-830, 2005.

SACCO, D.; OFI, M.; DE MAIO, M.; GRIGNANI, C. Groundwater nitrate contamination risk assessment: a comparison of parametric systems and simulation modeling. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 3, p. 177-125, 2007.

THIRBURN, P. J.; BIGGS, J. S.; WEIER, K. L.; KEATING, B. A. Nitrate in groundwater of intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia. **Agriculture Ecosystems & Environment**, n. 94, 2003, p.49-58.

VEROSLAVSKY, G.; LÓPEZ, F.; GUILLO, V. A.; CASACCIA, J. L.; ROSSI, V. Avanços no Conhecimento do Sistema Aquífero Guarani. Projeto de Proteção Ambiental de Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. **Consórcio Guarani**, Rio Claro 2008, 120p.

WARD, M. H.; RUSIECKI, J. A.; LYNCH, C. F.; CANTOR, K, P. Nitrate in public water supplies and the risk of renal cell carcinoma. **Cancer Causes Control**. Vol. 18 p. 1141-1151, 2007.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality**. 4th ed. Geneva: WHO Press, 2011. 564p.

WHO. World Health Organization. **Nitrate and nitrite in drinking-water**: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, 2007.

WICK, K.; HEUMESSER, C.; SCHMID, E. Groundwater nitrate contamination: Factors and indicators. **Journal of Environmental Management**, n. 111, 2012, p.178-186.

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA
CONSUMO HUMANO E DESSEDENTAÇÃO ANIMAL NO AQUÍFERO
GUARANI, MUNICÍPIO DE MINEIROS (GO)-BRASIL.**

**QUALITY ASSESSMENT OF THE UNDERGROUND WATER FOR
HUMAN AND ANIMAL CONSUMPTION IN THE GUARANI
ARQUIFER, MUNICIPALITY OF MINEIROS, GOIÁS, BRAZIL**

José Carlos Rodrigues Meira; Leandro Gonçalves Oliveira; Nelson Roberto Antoniosi Filho;
Elieser Viegas Wendt; Giovanni Bárbara Nunes; Ítalo Lacerda Fernandes.

Resumo – O município de Mineiros, situado na região sudoeste do estado de Goiás, tem área de 8.896 km², ocupa grandes áreas em faixas de afloramentos e recargas do Sistema Aquífero Guarani (SAG), que capta água subterrânea desse aquífero para o desenvolvimento da economia local. As atividades econômicas atualmente destacam-se pela agricultura intensiva, bovinocultura extensiva e avicultura intensiva, e que empregam grande quantidade de insumos agrícolas, e que podem ou não estar afetando a qualidade de suas águas. Nesse sentido, a avaliação da qualidade da água é essencial para assegurar o uso sustentável e seguro para o consumo humano, e dessedentação animal. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizado com a finalidade de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Guarani no município de Mineiros, Goiás, para consumo humano e dessedentação animal que é predominante na área de estudo. Alguns parâmetros que influenciam a qualidade da água para consumo humano e dessedentação animal foram avaliados e comparados com os limites máximos permitidos de acordo com a Portaria MS, 2011, Resolução CONAMA, 2008. Concluiu que 90% da amostragem apresentaram impróprias para o consumo humano quanto ao pH, quanto à turbidez e ferro, 3,33% ficaram fora do padrão para consumo humano. Quanto às análises microbiológicas para coliformes termotolerantes, 20% da amostragem estavam em desacordo para o consumo humano de acordo com Portaria MS 2.914/2011. Para o uso na dessedentação de animais, 13,33% da amostragem estavam acima do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA, 2008.

Palavras-Chave: Mineiros, Sistema Aquífero Guarani, Qualidade da água subterrânea.

Abstract – The municipality of Mineiros is located in the southwestern region of the state of Goiás, with an area of 8,896 Km², occupying large areas of outcrops and refills of Guarani Aquifer System (GAS) , this being the main source of water resource for local economic development groups. Currently, local economic activities that stand out are: intensive agriculture, extensive cattle and intensive poultry, employing large amount of agricultural

inputs that may be affecting the quality of groundwater resources. Accordingly, the assessment of water quality is essential to ensure sustainable and safe use for human and animal consumption. Thus, the aim of this paper work was qualitatively assess the groundwater of the Guarani Aquifer in the municipality of Mineiros, related to human and animal consumption, which is predominant in the area of study. The studied parameters influencing the water quality for human and animal consumption were evaluated and compared with the maximum allowed values according to Ordinance 2.914/2011 MS (Ministry of Health, Brazil) and Resolution 396/2008 CONAMA (Citizenship Environmental Council). The results indicated that 90 % of the samples were unsuitable for human consumption due to its pH, and turbidity as iron, 3.33% that were outside the standard for human consumption. Regarding the microbiological testing for coliforms, 20% of the samples were inappropriate for human consumption in accordance with Ordinance 2.914/2011 MS. For use in watering livestock, 13.33 % of the samples were in disagreement with the standard established by CONAMA, according to the Resolution 396 (2008).

Key words: Mineiros, Guarani Aquifer System, Groundwater quality.

1 - Introdução

A água subterrânea é uma importante fonte de água potável para o consumo humano, uso agrícola, dessedentação animal e industrial. A avaliação de sua qualidade para diversos fins tornou-se uma ferramenta imprescindível para a gestão e planejamento desse recurso hídrico. Estudos demonstram que a qualidade da água tem sido alterada em diferentes escalas nas últimas décadas em vários países (ELHATIP et al., 2003; JALALI, 2009; JEONG, 2001; PACHECO; CABRERA, 1997; LEE et al., 2003; RAJMOHAN; ELANGO, 2005)). Essa degradação vem ocorrendo de maneira intensificada devido às ações antrópicas (CAUSAPE et al., 2004), que trazem como consequência a contaminação, principalmente em decorrência dos impactos ambientais provocados pela agricultura intensiva que utiliza grandes quantidades de insumos e pelo desenvolvimento urbano (JALALI, 2006).

Segundo Coelho e Duarte (2002) as mudanças da qualidade das águas subterrâneas podem ser causadas direta e indiretamente por diversas atividades do homem. As influências diretas resultam de substâncias naturais ou artificiais que são introduzidas no ciclo geoquímico pelo homem e, finalmente, alcançam as águas subterrâneas, enquanto, as influências indiretas são as de qualidade causadas sem a interferência do homem, ou seja, aquelas que ocorrem devido a processo químicos, físicos e biológicos, ainda os mesmos

ressaltam que qualquer alteração na qualidade de água subterrânea de origem antrópica, no sistema aquífero, e quando essa alteração ou degradação da qualidade natural das águas subterrâneas atinge certos níveis, essa água pode afetar de forma prejudicial a saúde humana e dos animais que a consomem.

O conhecimento da composição hidroquímica da água é primordial para avaliar a sua qualidade, tanto para consumo humano, quanto, para a dessedentação de animais. Vários trabalhos têm sido direcionados ao monitoramento da qualidade da água subterrânea e sua adequação para o consumo humano e uso agrícola (HAKIM et al., 2009; JAIN et al., 2009; MITRA et al., 2007; NAGARAJAN et al., 2010).

Nos países em desenvolvimento, em virtude das precárias condições de saneamento e da má qualidade das águas, as doenças de veiculação hídrica têm sido responsável por vários surtos epidêmicos e elevadas taxas de mortalidade infantil, o que torna primordial a avaliação microbiológica da água consumida (ISSAC et al., 1994).

Dentre os sistemas aquíferos brasileiros com boa qualidade de água, destaca-se o Sistema Aquífero Guarani (SAG), por possuir volume, posição geográfica, acessibilidade e qualidade que lhe conferem uma notável importância social e econômica, sendo um dos maiores reservatórios mundiais de águas subterrâneas conhecidas. Segundo Gomes et al. (2006) em sua área de ocorrência vivem mais de 30 milhões de pessoas e nas áreas de recarga ou afloramento a população soma aproximadamente 3,7 milhões de habitantes. Borghetti et al. (2004) relatam que na área de ocorrência no Brasil habitam mais de 24 milhões de pessoas, em sua área de ocorrência, já nas áreas de recarga ou afloramento, são mais de 2,5 milhões de pessoas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade das águas subterrâneas do município de Mineiros-GO para o consumo humano e dessedentação animal, sendo que essa área, além de estar inserida em uma das cinco áreas mais importantes de recarga do Aquífero Guarani, é também de grande importância econômica para o estado de Goiás no agronegócio, e que nos últimos anos tem-se praticado a agricultura intensiva, bovinocultura extensiva, recentemente, a instalação da avicultura intensiva, destinada ao consumo interno e exportação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O município de Mineiros está localizado no Sudoeste Goiano (Figura 1), tem área de 8.896 km² e se situa geograficamente em altitudes que variam entre 770 metros a 1.100

metros. O município apresenta precipitação média anual de 1.853 mm, e temperatura entre 18 e 20 °C, tendo clima definido basicamente por duas estações, uma seca, com temperaturas amenas e outra chuvosa, com temperaturas elevadas. O município ocupa grandes áreas em faixas de afloramentos e recargas do Sistema Aquífero Guarani (SAG), com predominância da Formação Botucatu, que segundo Oliveira e Vieira (2011), essa formação é composta por arenitos eólicos, constituídos predominantemente por areias finas a médias cimentadas por sílica, carbonato e ou limonita.

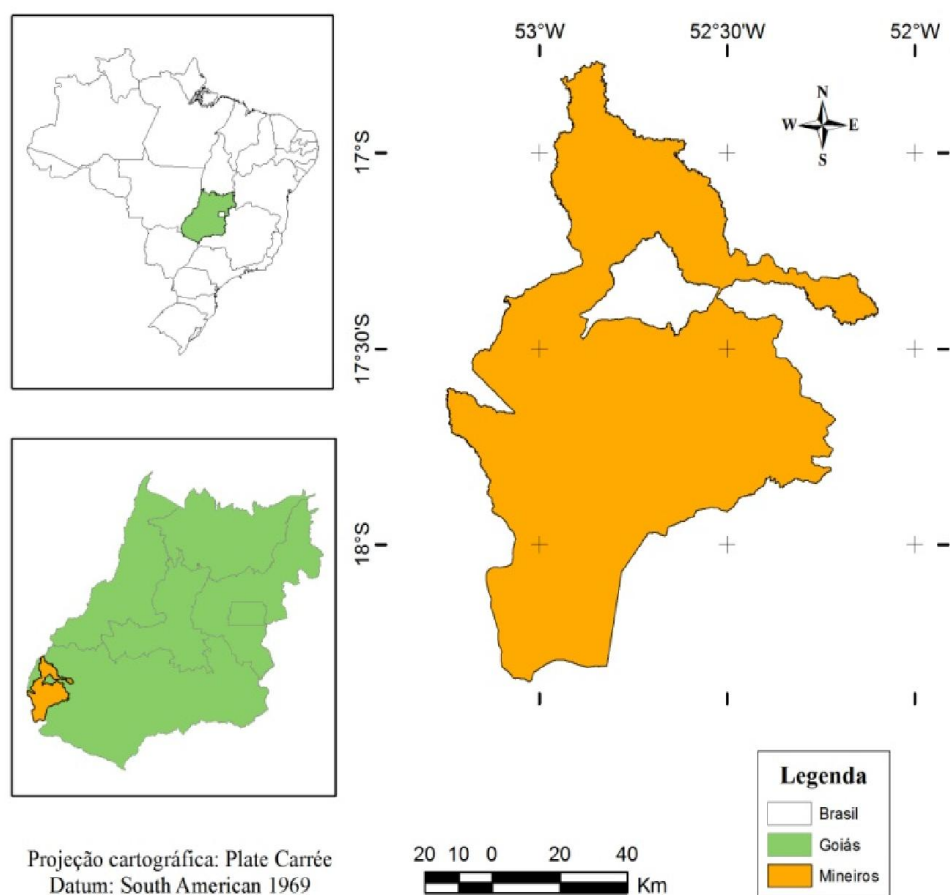


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

Plano de Amostragem

Na área de estudo existem mais de 163 poços com direito de outorga, sendo que a grande maioria está localizada nas granjas de avicultura. Assim, a seleção dos poços seguiu um planejamento envolvendo análise estatística desses poços outorgados na área de estudo, e desse total, 30 poços foram selecionados. Como não havia uma distribuição uniforme desses

poços na área, optou-se pelo uso do método dos polígonos de Thiessen para escolha da amostragem, como base na região de influência de cada poço.

Dessa forma, a área de influência decisiva para a seleção dos poços foi obtida pela aplicação do método dos polígonos de Thiessen, que traçaram no mapa linhas retas unindo os poços adjacentes mais próximos entre si. Em seguida, traçaram-se as mediatrizes destas retas. Finalmente, definiram-se as regiões de influência dos 30 poços, que são os polígonos formados pelas mediatrizes ou de Thiessen, onde se obteve a localização dos 30 poços (Figura 2).

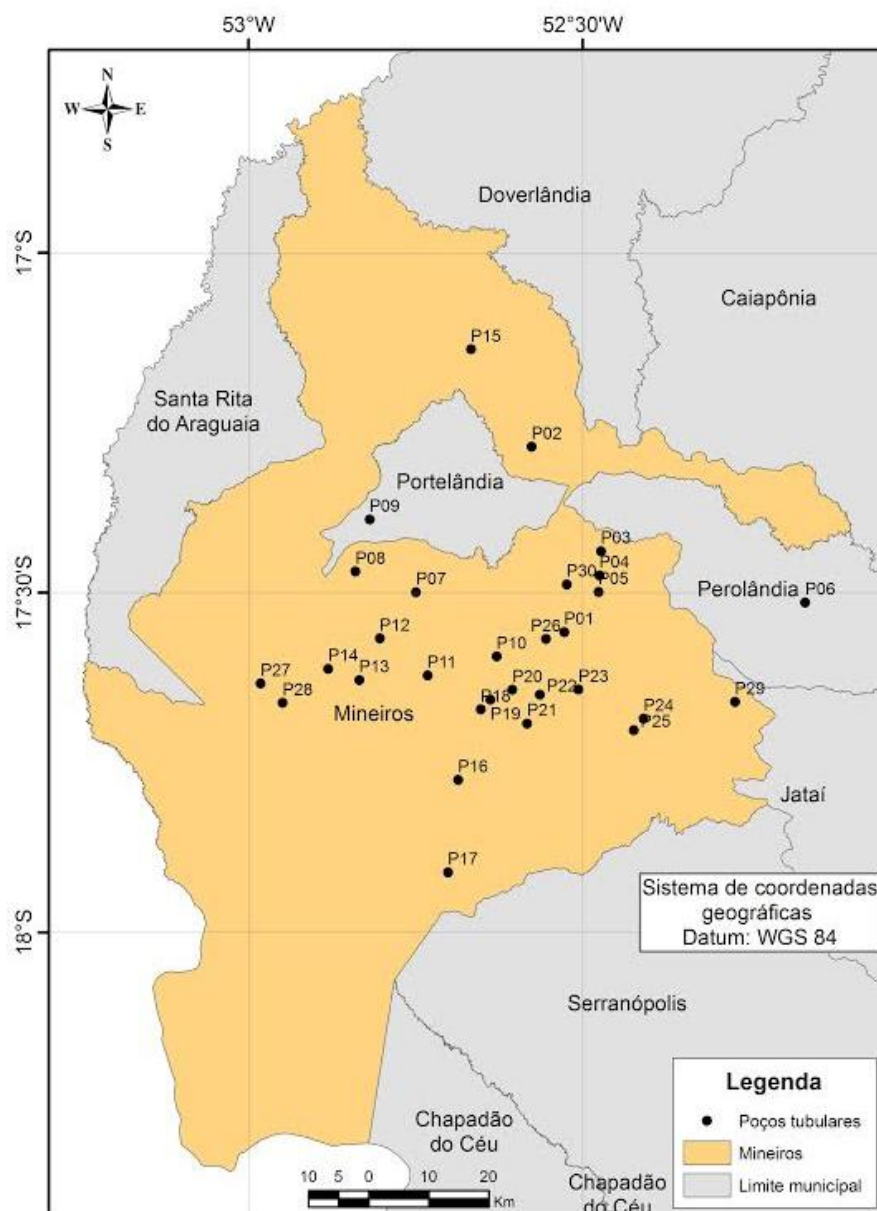


Figura 2 – Mapa de localização dos poços

Métodos

Foram coletadas amostras em trinta poços localizados no município para análises físico-química e microbiológica no mês de junho de 2013. Para cada ponto, realizaram-se as análises em triplicata a fim de conduzir uma maior confiabilidade aos parâmetros coletados. Apenas a análise microbiana foi realizada somente em uma única observação. Também, os poços foram expurgados antes das coletas de amostras. As medidas de temperatura, pH, condutividade elétrica (CE), turbidez e as análises foram realizadas em campo. Os parâmetros de temperatura, pH, condutividade elétrica e turbidez foram medidos em aparelho portátil da marca Hanna. A quantificação dos elementos: Al, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb e Zn foi realizada ICP-OES da Thermo Fisher Scientific, modelo iCAP 6300. A partir desses parâmetros foi possível avaliar a qualidade da água.

Resultados e Discussão

Caracterização das águas subterrâneas e sua avaliação para o consumo humano, dessedentação de animais.

Neste trabalho houve a preocupação de avaliar as águas subterrâneas do Aquífero Guarani no município de Mineiros quanto ao potencial de uso para o consumo humano, bem como o principal uso na atualidade na área em questão, que é para a dessedentação de animais, destacando-se a avicultura intensiva na produção de perus e frangos, com produção anual de mais de 11 milhões de perus, destinada principalmente a exportação (IBGE, 2010). O rebanho bovino conta com mais de 220 mil cabeças.

Os valores obtidos na análise dos principais parâmetros que podem afetar a qualidade da água quanto a sua potabilidade e a utilização para a dessedentação animal estão na tabela 1, bem como a sua comparação com os padrões estabelecidos pelo CONAMA 396, (2008) e BRASIL, (2011).

Tabela 1 – Descritores estatísticos das variáveis indicadoras de qualidade de água subterrânea para consumo humano, dessedentação de animais e sua comparação com os limites estabelecidos pela Portaria 2.914 Ministério da Saúde (MS, 2011) e pela Resolução do CONAMA nº396 (CONAMA, 2008).

PARÂMETROS	ESTATÍSTICA DESCRITIVA					PADRÕES	
	Unidade	Valores Mínimos	Média +/- desvio padrão	Valores Máximos	Portaria 2.914/2012	Resolução 396/2008 (Consumo humano)	Resolução 396/2008 (Dessedentação de animais)
Propriedades Físicas							
Temperatura	°C	24,5	25,95+/- 1,138	30,5	NPD	NPD	NPD
Turbidez	UNT	0,1	1,137+/- 2,919	16,20	5	-	NPD
Propriedades Químicas							
CE	µS/cm	2,51	26,46+/- 74,646	441,14	NPD	-	NPD
pH		4,4	5,30+/-0,643	7,6	6,0 – 9,0	-	NPD
STD	mg L ⁻¹	1,63	17,20+/- 48,509	269,30	1000	1000	NPD
Sódio	mg L ⁻¹	0,0343	0,6825+/- 2,156	11,3032	200	200	NPD
Potássio	mg L ⁻¹	<LQ	0,8935+/- 1,038	3,7578	55*	55*	NPD
Cálcio	mg L ⁻¹	0,0390	3,2161+/- 12,271	67,2671	75*	NPD	NPD
Magnésio	mg L ⁻¹	0,0150	0,5794+/- 1,249	6,2671	50*	NPD	NPD
Ferro	mg L ⁻¹	<LQ	0,07005+/- 0,206	1,0804	0,3	NPD	NPD
Sulfato	mg L ⁻¹	<LQ	11,213+/- 46,150	255,01	250	250	1000
Chumbo	mg L ⁻¹	<LQ	-	0,0860	0,01	0,01	0,1
Propriedades Biológicas							
Coliformes	NMP	Ausente	125,33+/-	2240	Ausência em	Ausência em	200/100 mL
Termotolerantes	100 mL		423,155		100 mL	100 mL	

*Classificação segundo WHO (2011). Notas: UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez, NMP – Número mais provável em 100 mL, NPD – Não Possui definição, STD – Sólidos Totais Dissolvidos.

Temperatura - As amostras analisadas apresentaram uma temperatura média de 25,95 °C e variando de 24,5 a 30,5 °C (Tabela 1 e Figura 2). O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre 25 e 26 °C (Figura 3). A pequena variação de temperatura pode ser justificada pela pequena variação de profundidade dos poços, já que esses poços se encontram em área

de recarga, com profundidades baixas, sendo que a profundidade exerce influência na temperatura. Essa variação de temperatura é devido ao gradiente geotérmico, que é definido como a profundidade em metros, necessária para que a temperatura aumente um (1) grau Celsius, esse aumento da temperatura em função da profundidade tem valor médio terrestre de $1\text{ }^{\circ}\text{C}/34\text{ m}$, ou seja, a temperatura da água aumenta $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a cada 34 metros de profundidade (REBOUÇAS, 2006).

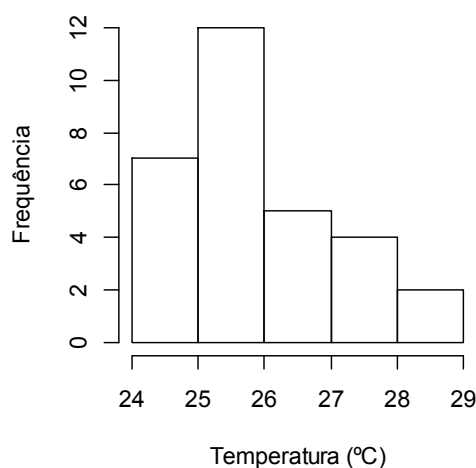
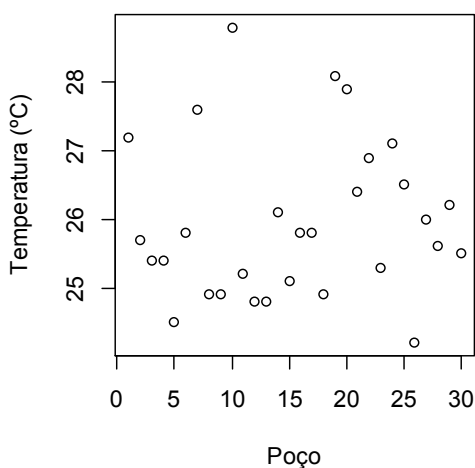


Figura 2 – Valores de temperatura

Figura 3 – Histograma de frequência de temperatura

Turbidez - A turbidez pode ser caracterizada como a dificuldade da água para transmitir a luz, devido à presença de sólidos em suspensão (silte, argila etc). Geralmente, as águas subterrâneas têm baixos valores de turbidez, devido ao efeito filtro do solo (FEITOSA; MANOEL-FILHO, 2000). Além disso, os poços tubulares onde realizou a coleta são providos de dispositivos de filtros, que contribui ainda mais para a redução desse parâmetro. Entretanto, para os poços analisados, o parâmetro turbidez apresentou um valor médio 1,137 UNT, variando de 0,1 a 16,20 UNT (Tabela 1 e Figura 4). O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre 0,1 e 2,5 (Figura 5). Dentre as amostras analisadas apenas 3,33% ficaram fora do padrão para o consumo humano (MS, 2011).

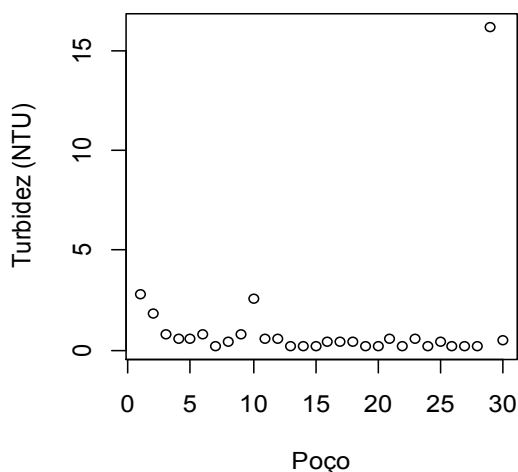


Figura 4 – Valores de turbidez

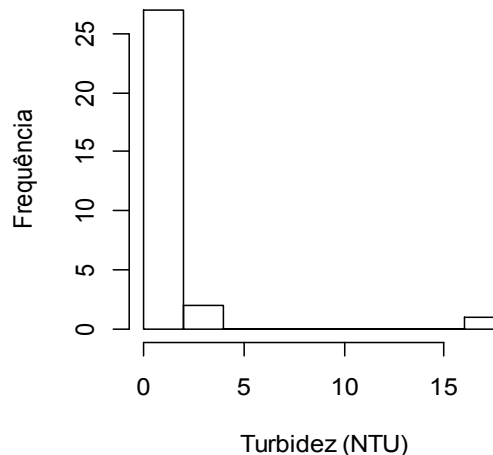


Figura 5 – Histograma de frequência de turbidez

Condutividade Elétrica (CE) - Segundo Fenzel (1986), a condutividade elétrica é o valor recíproco da resistividade elétrica. A condutividade da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. É a capacidade de a água transmitir a corrente elétrica. Os sais dissolvidos e dissociados na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida da condutividade de uma água. A condutividade elétrica média das águas subterrâneas analisadas foi de 26,469 $\mu\text{S}/\text{cm}$, variando de 2,54 a 441,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, conforme apresentado na Tabela 1 e Figura 6, indicando a grande variabilidade desse parâmetro. O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre zero e 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 7). Entretanto, não são feitas referências diretas a CE na legislação no que diz respeito ao consumo de água utilizada. A CE consiste na facilidade com que a água conduz a corrente elétrica e está diretamente ligada ao teor de sais dissolvidos sob a forma de íons. O seu valor serve como índice de avaliação da mineralização da água (FEITOSA; MANOEL-FILHO, 2000, OBIEFUNA; SHERIFF, 2011).

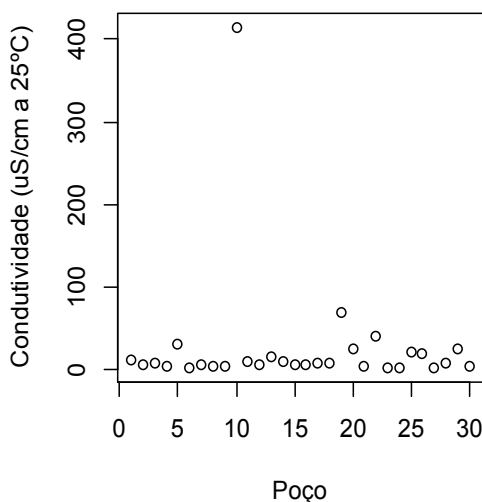


Figura 6 – Valores de condutividade elétrica

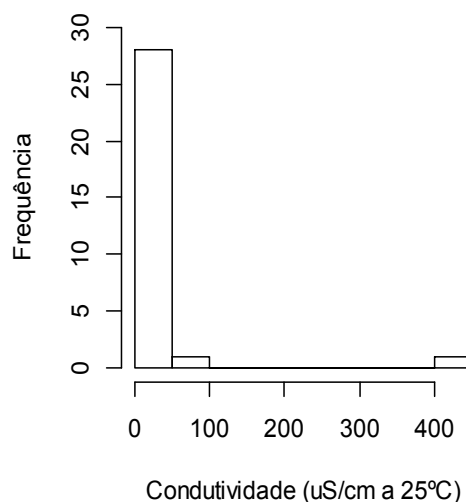


Figura 7 – Histograma de frequência de condutividade elétrica

Potencial hidrogeniônico (pH) - O pH é a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons presentes. A grande maioria das águas subterrâneas possui pH variando na faixa de 5,5 e 8,5 (FEITOSA; MANOEL-FILHO, 2000, OBIEFUNA; SHERIFF, 2011). A água subterrânea amostrada apresenta variação de pH de 4,4 a 7,6 (Tabela 1 e Figura 8). O intervalo de classe de maior frequência situou-se entre 5,0 a 5,5 (Figura 9). A Portaria MS n. 2.914 de 2011 estabelece que o pH da água destinada ao abastecimento humano deve situar-se entre 6,0 e 9,5. Assim, dentre as amostras coletadas na área de estudo, 90% apresentaram-se impróprias para o consumo humano (MS, 2011). Quanto a dessedentação de animais a Resolução CONAMA 396, (2008) não contempla o parâmetro pH. A frequência entre 4,0 e 4,5 foi encontrada em 10% dos poços, sendo que 6,66% desses poços estão localizados em áreas de pastagens, o que sugere o baixo pH provém da qualidade natural dos solos ácidos do cerrado e não devido a ação antrópica. Entretanto, o poço 26 que está localizado em área urbana, apresentou pH 4,5, mas o teor de N-Nitrato desse poço e 3,40, o que sugere o baixo pH devido a ação antrópica.

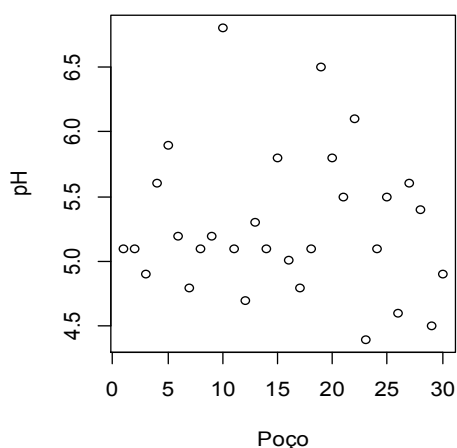


Figura 8 – Valores de pH

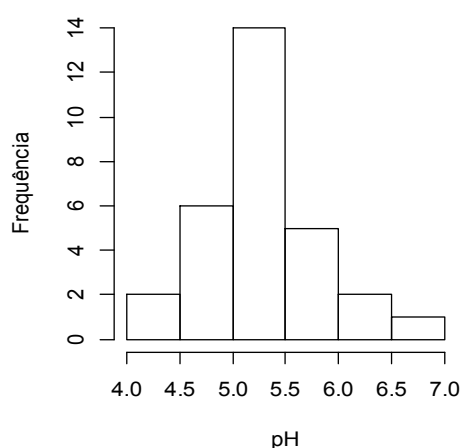


Figura 9 – Histograma de frequência de pH

Sólidos totais dissolvidos (STD) – Os STD representam a concentração de todo material dissolvido na água subterrânea. As águas subterrâneas podem conter concentrações de STD muito superiores às das águas superficiais devido ao tempo que permanecem em contato com as rochas, denominado tempo de residências (FEITOSA; MANOEL-FILHO, 2000). As águas que infiltram no solo tendem a ser purificadas no trajeto subsuperficial, onde sofrerão menor variação de temperatura, e tendem a manter por período de tempo mais longo suas características físico-químicas e biológicas, se comparadas com as águas superficiais (FEITOSA-FILHO, 2000; OBIEFUNA; SHERIFF, 2011). Nenhuma das amostras analisadas ultrapassou o valor de 1.000 mg L^{-1} estabelecido pela Portaria MS 2.914 (2011) para consumo humano, sendo os valores obtidos demonstrados na Tabela 1 e Figura 10, variando de 1,63 a 269,30, com média de 17,20. O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre zero a 50 (Figura 11)

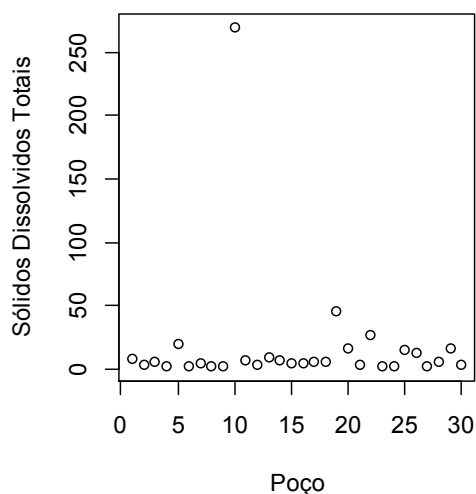


Figura 10 – Valores de STD (mg L^{-1})

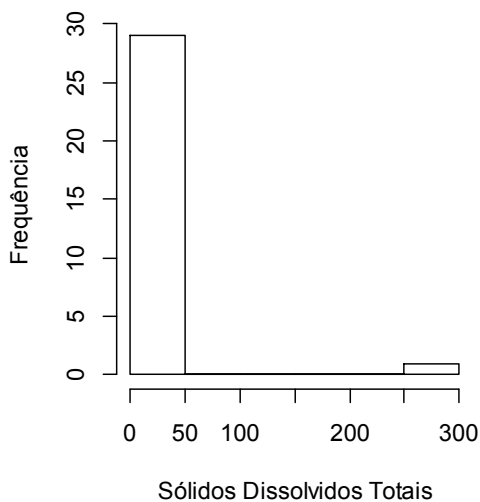


Figura 11 – Histograma de frequência de STD

Sódio (Na^+) – O íon Na^+ é altamente móvel no ambiente e está presente em todas as águas, como citado por Devies e De Wiest (1991); Fortescue (1980); Percebon e Bittencourt (2009); Obiefuna e Sheriff, (2011). Esse íon é o principal responsável pelo aumento constante da salinidade das águas naturais do ponto de vista catiônico. Geralmente há um aumento gradativo dos teores de Na^{1+} nas águas subterrâneas, a partir da zona de recarga, em direção às suas porções mais confinadas.

A concentração do Na^+ nas águas subterrâneas varia entre 0,1 e 100 mg L^{-1} (FEITOSA; MANOEL-FILHO, 2000). Nas amostras analisadas O intervalo de classe de maior frequência de Na^+ situa-se entre zero a 2 mg L^{-1} (Figura 13) e as concentrações apresentaram uma variação de 0,03425 até 11,3032 mg L^{1+} com média de 0,6825 (Tabela 1 e Figura 12), apresentando-se de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido pela legislação CONAMA 396, (2008) e Portaria 2.914 MS (2011) para o consumo humano, quanto à dessedentação de animais, a Resolução CONAMA 396, (2008) não possui definição para a esse parâmetro.

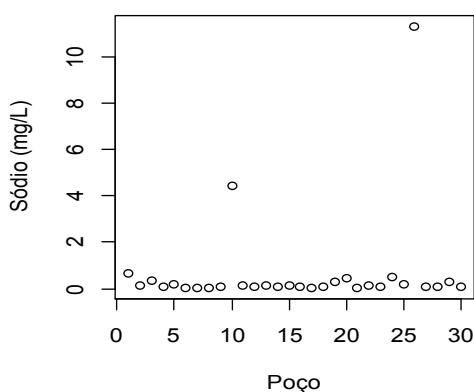


Figura 12 – Valores dos teores de sódio

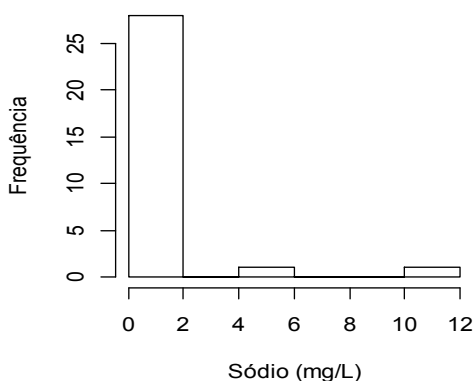


Figura 13 – Histograma de frequência de sódio

Potássio (K^+) – O potássio é um elemento químico abundante na crosta terrestre, mas ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado pelas argilas e intensivamente consumido pelos vegetais. Suas principais fontes são feldspato potássico, mica moscovita e biotita, que são poucos resistentes aos intemperismo físico e químico. Geralmente o teor médio de K^+ é superior ao de Na^+ , apesar de ambos pertencerem ao mesmo grupo tabela periódica. Porém o potássio é largamente utilizado na agricultura como fertilizante, o que pode justificar seu teor superior ao do sódio. Esses íons apresentam comportamentos diferentes nos processos de solubilização (OBIEFUNA; SHERIFF, 2011). O íon K^+ é facilmente removido da água por meio de troca iônica na adsorção por argilas e absorção pelas plantas. Em geral, os teores de K^+ nas águas subterrâneas são inferiores a 10,0

mg L⁻¹, sendo mais frequente valores entre 1,0 e 5,0 mg L⁻¹ (FEITOSA; MANOEL-FILHO, 2000; OFIEFUNA; SHERIFF, 2011).

A concentração média do íon K⁺ nas águas amostradas é 0,8935 mg L⁻¹, variando de zero a 3,7578 mg L⁻¹ (Tabela 1e Figura 14). O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre zero e 0,5 mg L⁻¹ (Figura 15). Porém o potássio é largamente utilizado na agricultura como fertilizante, o que pode justificar seu teor superior ao do sódio. Esses íons apresentam comportamentos diferentes nos processos de solubilização (OBIEFUNA; SHERIFF, 2011). Apesar de não existir limite estabelecido pela Portaria 2.914 (MS, 2011) para a concentração de K⁺, adotou-se o valor de 55 mg L⁻¹, sugerido pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011) para a avaliação dos resultados expostos. Nesta avaliação, os índices se encontram abaixo do limite para todas as amostras, portanto, dentro dos valores de potabilidade.

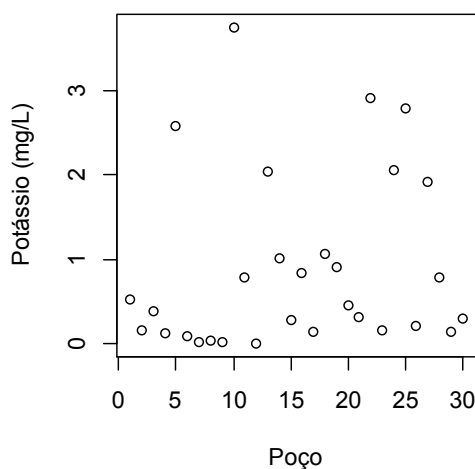


Figura 14 – Valores dos teores de potássio

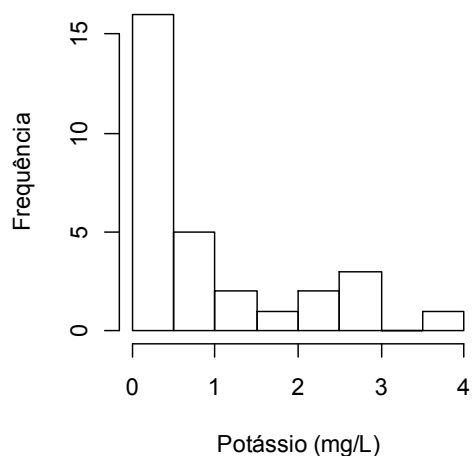


Figura 15 – Histograma de frequência de potássio

Cálcio (Ca²⁺) – Em águas subterrâneas, os teores de Ca²⁺ oscilam entre 10 e 100 mg L⁻¹ (OBIEFUNA; SHERIFF, 2011). Para amostras analisadas, o teor de Ca²⁺ variou de 0,0390 a 67,2671 mg L⁻¹, com média de 3,218 mg L⁻¹ (Tabela 1 e Figura 16). O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre zero e 10 mg L⁻¹ (Figura 17). O Ca²⁺ contribui para a dureza da água e é considerado um dos elementos mais comuns e abundantes na maioria das águas. Apesar de não existir limite estabelecido pela Portaria 2.914 (MS,2011) para a concentração de Ca²⁺, adotou-se o valor de 75 mg L⁻¹, sugerido pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011) para a avaliação dos resultados expostos. Nesta avaliação, os índices se encontram abaixo do limite para todas as amostras, portanto, dentro dos valores de potabilidade.

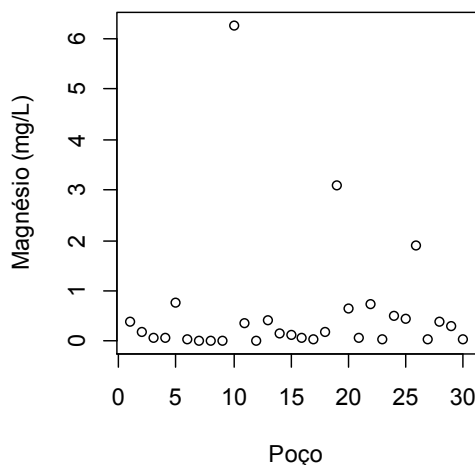


Figura 18 – Valores os teores de magnésio

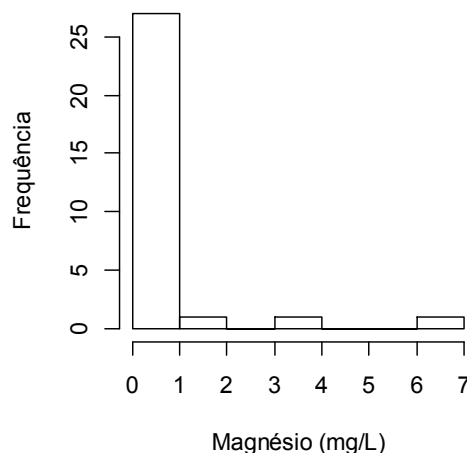


Figura 19 – Histograma de frequência de magnésio

Ferro (Fe^{3+}) – É um elemento persistentemente presente em quase todas as águas subterrâneas em teores abaixo de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$. Geralmente, ele ocorre sob a forma de Fe^{3+} no Férrico, podendo também ocorrer na forma de Fe^{2+} como hidróxido Ferroso. O Ferro na forma de Fe^{2+} é muito instável na presença de oxigênio, mudando para o estado de oxidação Fe^{3+} (OBIEFUNA, SHERIFF, 2011). Suas fontes são minerais escuros (máficos) portadores de Fe: magnetita, biotita, pirita, piroxênios, anfibólios. Em virtude de afinidades geoquímicas quase sempre é acompanhado pelo Manganês. Entretanto, apesar do organismo humano necessitar de até 19 mg de ferro por dia, os padrões de potabilidade exigem que uma água de abastecimento público não ultrapasse os $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ para o consumo humano (MS, 2011; CONAMA, 2008), devido ao efeito organoléptico e estético. O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre zero e $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 21) Nos poços analisados os valores oscilaram entre zero e $1,0804 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $0,07005 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 1 e Figura 20), sendo que 3,33% das amostras não se encontram dentro do padrão de potabilidade. O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre zero e $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 21).

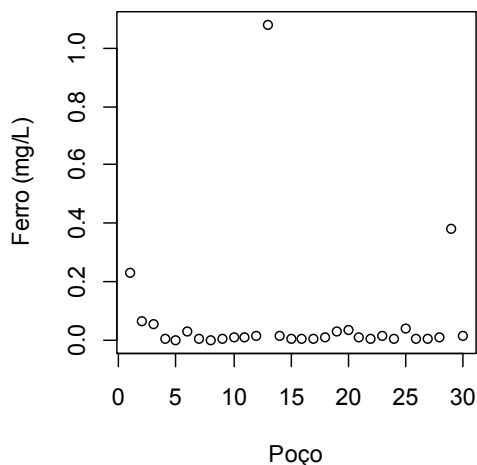


Figura 20 – Valores dos teores de ferro

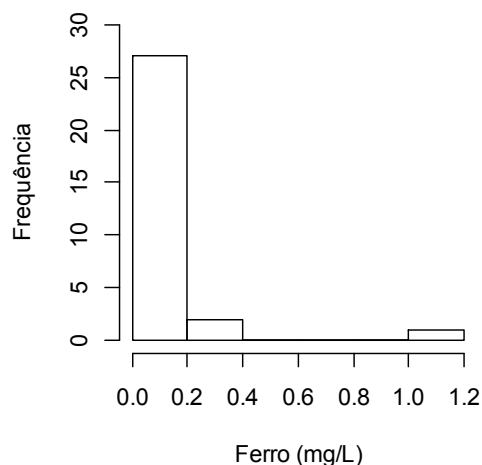


Figura 21 – Histograma de frequência de ferro

Sulfato (SO_4^{2-}) – O sulfato é um dos mais abundantes íons na natureza. Surge nas águas subterrâneas através da dissolução de solos e rochas. São encontrados na água devido à lixiviação das rochas sedimentares. A maior contribuição são os depósitos de sulfato, como gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4).

Nos poços analisados os valores oscilaram entre zero e $255,01 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $11,213 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 1 e Figura 22), sendo que o poço 10 da amostragem não se encontram dentro do padrão para o consumo humano (MS, 2011; CONAMA, 2008), devido ao efeito organoléptico, além disso, pode causar efeito laxativo. O poço 10 se encontra em área de pastagem, sendo que essa área apresenta um baixo risco de contaminação decorrente da ação antrópica, logo sugere que a presença de sulfato pode estar relacionada à presença de depósitos de sulfato. O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre zero e 50 mg L^{-1} (Figura 23). Porém, os valores encontrados então dentro do padrão para o consumo animal (CONAMA 398, 2008), que é o principal uso na área de estudo.

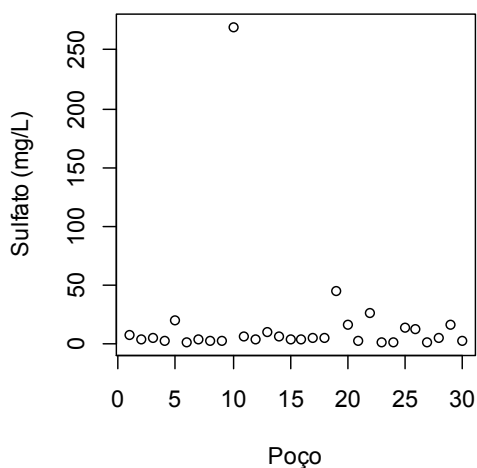


Figura 22 – Valores dos teores de sulfato

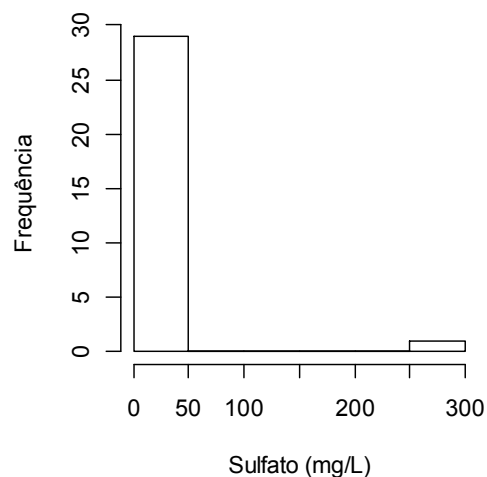


Figura 23 – Histograma de frequência de sulfato

Chumbo – O chumbo é um elemento abundante na crosta terrestre, raramente encontrado no seu estado natural. Está presente em grande variedade de minérios, sendo a galena (PbS), a anglesita (PbSO₄) e a cerussita (PbCO₃) os mais importantes contendo respectivamente 86%, 68% e 77% desse metal (SILVA, 2001).

O chumbo não possui função fisiológica no organismo e sua contaminação afeta o sistema hematopoiético (inibindo a síntese de hemoglobina), os rins, o sistema nervoso e periférico (MANAHAN, 1944). Juntamente com o mercúrio, o cádmio e o chumbo apresentam os maiores riscos ambientais em virtude de seu uso intenso, toxicidade e ampla distribuição (BAIRD, 2002).

Nessa pesquisa determinou a presença desse elemento potencialmente nocivo, em cerca de 10% das amostras, com concentrações próximas aos valores máximos permitidos para o consumo humano, que é de 0,01 mg L⁻¹ (MS, 2011; CONAMA, 2008). Os valores encontrados foram: 0,0071 mg L⁻¹, 0,00690 mg L⁻¹ e 0,0086 mg L⁻¹. Logo, a detecção desse elemento em concentrações próximas aos VMP para o consumo humano em água subterrânea, requer alerta para um monitoramento contínuo, quanto ao uso dessa água.

Alumínio – O Alumínio (Al) é um componente que afeta a qualidade organoléptica da água, e que tem seu valor máximo permissível de 0,2 mg L⁻¹ de acordo com o Padrão de Potabilidade do Ministério da Saúde (MS, 2011). O alumínio é o metal mais comum na crosta terrestre (8,13%), sua origem é natural, tendo seu estado físico sólido, com aspecto branco prateado característico, dúctil, maleável, inodoro, bom condutor de calor e eletricidade (DEVECCHI, 2006). Não se conhece nenhum efeito benéfico do alumínio, entretanto, há evidências de que o mesmo provoque queda de cabelo, irritabilidade, desloca o cálcio e magnésio dos ossos,

levando a osteoporose, esclerose cerebral (Alzheimer), onde têm encontrado um índice elevado desse metal em pacientes portadores do Mal de Alzheimer (PASCALICCHIO, 2002).

Com relação às águas subterrâneas, foram amostrados 30 poços tubulares, sendo que 18 poços (60%) os teores estavam abaixo do limite de quantificação e 11 poços apresentaram águas com teores de alumínio menor que $0,2 \text{ mg L}^{-1}$, variando de $0,0050$ a $0,0768 \text{ mg L}^{-1}$. Apenas dois poços apresentaram teores acima do limite máximo permitido, sendo $0,236 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,7852 \text{ mg L}^{-1}$.

Quanto aos elementos: B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, e Zn os teores encontrados eram incipientes ou abaixo do limite de quantificação.

Coliformes termotolerantes – Os coliformes são amplamente utilizados na avaliação sanitária da água. Os coliformes totais reúnem um grande número de bactérias como a *E. coli*, de origem estritamente fecal e outras bactérias que podem, além de estar no trato intestinal de animais homeotermos, serem encontradas no solo e em vegetais, multiplicando-se na água com relativa facilidade. *E. coli* representa percentuais em torno de 96 a 99% nas fezes humanas e de animais homeotérmicos, sendo o principal representante dos coliformes termotolerantes (MASCARENHAS et al., 2002). No entanto, os coliformes termotolerantes ou fecais não se multiplicam facilmente no ambiente externo e ocorrem constantemente na flora intestinal de animais de sangue quente. Portanto, se constatada a presença efetiva desses organismos em um aquífero, isso indicaria um processo de contaminação, constante ou recente, uma vez que eles encontram dificuldade para se multiplicar fora das condições entéricas (PORTO et al., 2011).

Segundo Gonzalez et al. (1982) a presença de microrganismos patogênicos na água geralmente é decorrente da poluição por fezes humanas e de animais, provenientes de águas residuárias urbanas e rurais.

Nas análises microbiológicas foi detectada a presença de coliformes termotolerantes em 20% da amostragem (Figura 24), com valor médio de $125,33 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$, variando de zero a $2240 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$, com intervalo de classe de maior frequência situa-se entre zero e $500 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ (Figura 25).

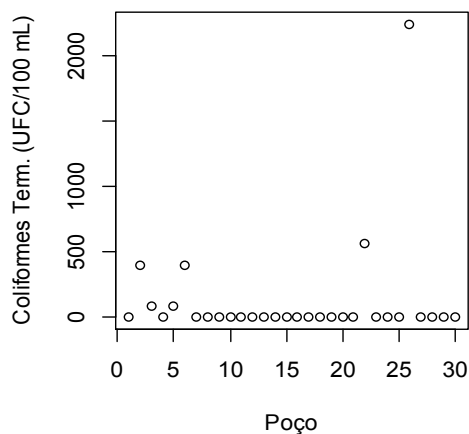


Figura 24 – Valores coliformes termotolerantes

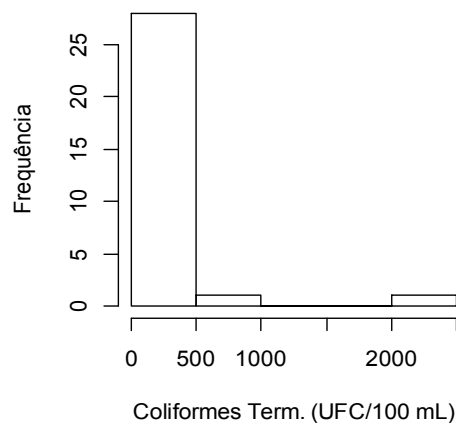


Figura 25 – Histograma de frequência coliformes termotolerantes

Dessa forma, em relação ao padrão microbiológico de coliformes termotolerantes, cerca de 20% das amostras coletadas estavam em desacordo com o preconizado pelo CONAMA 396 (2088), ou seja, fora do padrão de potabilidade para o consumo humano. Quanto ao uso na dessedentação de animais, 13,33% das amostras coletadas estavam acima do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA, 2008, que estabelece limite máximo de 200 coliformes termotolerantes para 100 mL de água.

A presença de coliformes em águas subterrâneas pode ser explicada pela possibilidade de contaminação bacteriana de águas, que muitas vezes são captadas em poços velhos, inadequadamente vedados e proximidades de fontes de contaminação, como fossas sépticas, currais e áreas de pastagem ocupadas por animais (STUKEL, et al., 1990). Conforme relatado por Conboy e Goss (2000), a deposição diária de resíduo orgânico animal no solo, prática muito disseminada no meio rural, aumenta o risco da contaminação das águas subterrâneas.

Considerações Finais

Dentre os padrões analisados e nas condições em a pesquisa foi realizada, conclui-se que a subterrânea da área em estudo quanto ao pH, 90% apresentaram-se impróprias para o consumo humano (BRASIL, 2011). Porém, o não enquadramento dentro dos padrões recomendados, não a descaracteriza como água potável, já que o pH pode está relacionado à geologia da região e ao processo de interação água-rocha/solo, sendo que pode ser corrigido no tratamento dessas águas. Quanto à dessedentação animal a Resolução CONAMA 396, (2008) não contempla esse parâmetro. Já, quanto à turbidez dentre as amostras analisadas 3,33% ficaram fora do padrão para o consumo humano (MS, 2011). Quanto ao ferro e sulfato, cerca de 3% das amostras não se encontraram dentro do padrão de potabilidade para o

consumo humano, devido ao efeito organoléptico. Quantos aos elementos: B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, e Zn os teores encontrados eram incipientes ou abaixo do limite de quantificação.

As análises microbiológicas quanto aos coliformes termotolerantes, revelaram que 20% das amostras coletadas estavam em desacordo com o preconizado pela Resolução CONAMA 396, (2008), ou seja, fora do padrão de potabilidade para o consumo humano. Para o uso na dessedentação de animais, 13,33% das amostras coletadas estavam acima do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 396 (2008), que estabelece limite máximo de 200 coliformes termotolerantes para 100 mL de água. Entretanto, essa contaminação tem origem antrópica, portanto, através de políticas e gestão de sustentabilidade de águas subterrâneas é possível sanar essa questão.

REFERÊNCIAS

BARID, C. **Química Ambiental**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002, 844p.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. **Aquífero Guarani: a verdederia integração do Mercosul**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2004. 214p.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF. Seção Resoluções, 2008, 71p.

CAUSAPE, J.; AUQUE, L.; GIMENO, M. J.; MANDADO, J.; QUILEZ, D.; ARAGUES, R. Irrigation effects on the salinity of the Arba and Figuel River (Spain): present diagnosis and expected evolution using geochemical models. **Environmental Geology**, Berlin, v. 45, 2004, p.703-715.

COELHO, V. M. T.; DUARTE, U. Perímetros de proteção para fontes de Águas Minerais. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 7, 2002, p-77-90.

CONBOY, M. J.; GOSS, M. J. Natural protection of groundwater against bactéria of fecal origin. **Journal Contaminant Hydrology**, v. 43, 2000, p.1-24.

DAVIES, S. N.; De WUEST, R. J. M. **Hydrogeology**. Florida: Krieger Publishing, 1991.

DEVECCHI, G. C. R.; FERREIRA, P. C.; ABREU, K. A. de; TREVILATO, T. M. B.; NUÑOZ, S. I. S. Níveis de Alumínio e Zinco em água coletada em dois municípios que possuem diferentes fontes de captação e tratamento no estado de São Paulo. **O Mundo da Saúde**. São Paulo, 2006, p. 619-627.

ELHATIP, H.; AFSIN, M.; KUSCU, L.; DIRIK., KURMAC, A., KAVURMAC, M. Influences of human activities and agriculture on groundwater quality of Kauseri-Incesu-Dokuzpinar springs, central Anatolian part of Turkey. **Environmental Geology**, Berlin, v.44, 2003, p.490-494.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL-FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, ed. 2, 2000, 391p.

FENZEL, N. **Introdução a hidrogeoquímica**, Belém, UFP, 1986, 189 p.

FORTESCUE, J. A. C. **Environmental geochemistry**. New York: Springer – Verlag, 1980, 347 p.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A.; PERIERA, A. S. **Caracterização das Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil – base para uma proposta de gestão sustentável**. EMBRAPA, Jaguariúna-SP, 2006, 23p.

GONZALEZ, R. G; TAYLOR. M, L; ALFARO, G. Estudio bacteriano del agua de consumo en una comunidad Mexicana. **Bol. Oficina Sanit Panam** v.93, 1982, p.27-40.

HAKIM, M. A.; JURAMIMI, A. S.; BEGUM, M.; HASANUZZAMAN, M.; UDDIN, M. K.; ISLAM, M. M. Suitability evaluation of groundwater for irrigation, drinking and industrial purposes. **American Journal of Environmental Sciences**, v.5, n.3, 2009, p.413-419.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Agropecuário 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 05/07. 2013.

ISSAC, M. A. P.; LEZAMA, D. C. M.; KU-PECH, R. P.; TAMAY, S. P. Calidad sanitaria de los suministros de agua para consumo humano em Campeche. **Public Health of Mexico**, Mexico, v.36, 1994, p.655-661.

JAIN, C. K.; BANDYOPADHYAY, A.; BHADRA, A. Hydrochemical appraisal of groundwater and its suitability in the intensive agricultural area of Muzaffarnagar district, Uttar Pradesh, India. **Environmental Geology**, Berlin, v.56, 2009, p.901-912.

JALALI, M. Chemical characteristics of groundwater in parts of mountainous region, Alvand, Hamadan, Iran. **Environmental Geology**. Berlin, v. 51, 2006, p.433-446.

JALALI, M. Phosphorus concentration, solubility and species in the groundwater in a semi-arid basin, southern Malayer, western Iran. **Environmental Geology**, Berlin, v.57, 2009, p.1011-1020.

JEONG, C. H. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.253, 2001, p.194-210.

LEE, S.M.; MIN, K.D.; WOO, N.C.; KIM, Y.J.; AHN, C.H. Statistical models for the assessment of nitrate contamination in urban groundwater using GIS. **Environmental Geology**, Berlin, v.44, 2003, p.210–221.

MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry**. 6a ed. Editora Boca Raton, Lewis Publisher, 1994, 811p.

MASCARENHAS, A.; MARTINS, J.; NEVES, M. **Avaliação de tratamento de águas superficiais efectuado na ETA de Alcantarilha com base na análise de indicadores de poluição fecal**. Universidade do Algarve. Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Faro, 2002.

MS. Ministério da Saúde. Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011. **Estabelece normas e o padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2011.

MITRA, B. K.; SASAKI, C.; ENARI, K.; MATSUYAMA, N. Suitability assessment of shallow groundwater for irrigation in Sand Dune area of Northwest Honshu Island, Japan International. **Journal of Agricultural Research**, v. 2, n. 6, 2007, p.518-527.

NAGARAJAN, R.; RAJMOHAN, N.; MAHENDRAN, U.; SENTHAMILKUMAR, S. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Thanjavur city, Tamil Nadu, India. **Environmental Monitoring and Assessment** Holanda, v.171, 2010, p.289-308.

OBIEFUNA, G. I.; SHERIFF, A. Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria For Irrigation and Domestic Purposes. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v. 3, 2011, p.131-141.

OLIVEIRA, L. A. de; VIEIRA, A. S. Estado da Arte do Sistema Aquífero Guarani. Caminhos de Geografia – Revista on line. **Instituto de Geografia UFU**. V.11, n.34,2011, p.174-189.

PACHECO, J.; CABRERA, S. Groundwater contamination by nitrates in the Yucatan Peninsula, Mexico. **Hydrogeology Journal**, Amsterdam, v.5, 1997, p.47-53.

PASCALICCHIO, A. E. Contaminação por metais pesados. São Paulo: **Associação de Profissionais em Ciência Ambiental**; 2002. p. 40-41.

PERCEBON, C.M.; BITTENCOURT, A.V.L. Considerações sobre as características de qualidade das águas subterrâneas de Blumenau –SC em relação à Resolução CONAMA 396. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v.23, 2009, p.69-84.

PINTO, M. A. T. et al. Reuso das águas residuárias: uma análise crítica. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro. ABES, 2006, p.393-403.

PORTO, M.A.L.; OLIVEIRA, A.M.; FAI, A.E.C.; STAMFORD, T.L.M. Coliformes em água de abastecimento de lojas fast-food da região Metropolitana de Recife (PE, Brasil). **Ciência & Saúde Coletiva**, v.16, 2011, p.2653-2658.

RAJMOHAN, N.; ELANGO, L. Nutrient chemistry of groundwater in an intensively irrigated region of Southern India. **Environmental Geology**, Berlin, v. 47, 2005, p.820-830.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª edição, São Paulo, Escrituras Editoras, 2006, 748p.

SILVA, B. C. E. Chumbo In: **Balanço Mineral Brasileiro 2001**. Disponível em: <http://dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/chumbo.pdf>.

STUKEL, T. A.; GREENBERG E. R.; DAIN B. J.; REED, F. C.; JACOBS N. J. A. longitudinal study of rainfall and coliform contamination in small community drinking water supplies. **Environ Sci Technol**, 24, 1990, p.571-575.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality**. 4th ed. Geneva: WHO Press, 2011. 564p.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA IRRIGAÇÃO NO AQUÍFERO GUARANI, MUNICÍPIO DE MINEIROS (GO)-BRASIL

QUALITY ASSESSMENT OF GROUNDWATER FOR AGRICULTURAL USE IN THE GUARANI AQUIFER MUNICIPALITY OF MINEIROS (GO)-BRAZIL

José Carlos Rodrigues Meira; Leandro Gonçalves Oliveira; Nelson Roberto Antoniosi Filho; Elieser Viega Wendt.

RESUMO

O município de Mineiros, situado na região sudoeste do estado de Goiás, sofreu efeitos da expansão da fronteira agrícola desde a década de 1970, convertendo as coberturas do Cerrado às atividades agropecuárias. Para tanto, captou e ainda capta água do Sistema Aquífero Guarani (SAG), dominante no município, e faz uso dessas águas para diversos fins. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água do Aquífero Guarani no município de Mineiros, visando fornecer subsídios para o seu uso na irrigação. Nesse trabalho foram utilizados os critérios de salinidade (risco de salinidade), critérios de sodicidade (percentagem de sódio na água e relação de adsorção de sódio) e critérios de toxicidade em relação ao boro, cloro e sódio. Quanto ao perigo de salinidade, 86,17 foram classificadas de excelente qualidade, 13,33 de boa qualidade. A maioria das amostras apresentou valor de RAS (razão de adsorção de sódio) inferior a 10 (S1), sendo assim classificadas como de qualidade excelente para a irrigação. Quanto à relação da porcentagem de sódio, 83,33% foram classificadas como pertencentes às classes excelentes. Em relação à dureza total, 96,67% foram classificadas como água doce e 3,33% foram classificadas como água dura. Dentre as amostras analisadas não detectou a presença de boro, portanto, todas foram classificadas de qualidade excelente quanto à toxicidade por esse elemento. Quanto à toxicidade por cloro e sódio, todas as amostras enquadraram no limite de tolerância. Assim, constatou-se que em geral, as águas do Aquífero Guarani no município de Mineiros, são de excelente a boa qualidade para uso na irrigação nos critérios avaliados.

Palavras-chave: Mineiros, Sistema Aquífero Guarani, Água na Irrigação.

ABSTRACT

The municipality of Mineiros located in the southwest region of the state of Goiás, has suffered the effects of agricultural expansion since the 1970s, converting covers of Cerrado to agricultural activities. To do so, it raised and still captures water from the Guarani Aquifer System (GAS), dominant in the city, and makes use of these waters for various purposes. The objective of this study is to assess the water quality of the Guarani Aquifer in the municipality of Mineiros, to provide data for use in irrigation. In this paper the criteria for salinity (salinity risk), sodicity criteria (percentage of sodium in water and sodium adsorption ratio) and toxicity criteria in relation to boron, chlorine and sodium were used. As for the danger of salinity, 86.17 were classified as excellent and 13.33% of good quality. Most samples showed value SAR less than 10 (S1) and are classified as excellent quality for irrigation. Regarding the relationship of sodium percentage, 83.33% were classified as belonging to the excellent classes. Regarding the total hardness, 96.67 % were classified as freshwater and 3.33 % were

classified as hard water. Among the analyzed samples, the presence of boron was not detected therefore, all were classified as excellent for toxicity by this element. Regarding the toxicity of chlorine and sodium, all samples fitted in the tolerance limit. Thus, it was found that in general, the waters of the Guarani Aquifer in the municipality of Mineiros have excellent quality for using in irrigation in the evaluated criteria.

Keywords: Guarani Aquifer System, Mineiros, Irrigation water.

INTRODUÇÃO

A água é essencial ao surgimento e à manutenção da vida em nosso planeta, além de indispensável para o desenvolvimento das diversas atividades humanas. Aproximadamente 69% da água doce do mundo não estão disponíveis para o consumo (MIERZWA; HESPANHOL, 2005) e a maior porção de água doce, quase 30%, encontra-se nos lençóis subterrâneos, cujo consumo vem aumentando rapidamente. No Brasil, os recursos hídricos subterrâneos contribuem com 51% da oferta para o abastecimento humano (ANA, 2010).

Historicamente, com o aumento da população e o incremento industrial pouco mais de três séculos, a água passou a ser cada vez mais utilizada, como se fosse um recurso abundante e infinito (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). No século XX, por exemplo, a demanda por água aumentou em mais de seis vezes, reduzindo a disponibilidade per capita de água superando em duas vezes o crescimento populacional no período. Esse aumento está relacionado ao padrão da sociedade tecnológica contemporânea, pautado no conforto da vida urbana moderna, no crescimento acelerado da população, sobretudo nos centros urbanos (ALMEIDA, 2006).

Como observam Silva et al. (2006) a inquietação com a falta de água ganha mais consistência quando começam a ser apresentadas previsões de falta d'água em países (desenvolvidos), tais como os Estados Unidos, a França e a Itália, dentre outros. Em função disso, nas últimas décadas tem se intensificado a exploração de águas subterrâneas, como é o caso do Brasil, onde centenas de núcleos urbanos de porte variado são hoje abastecidos exclusivamente por água subterrânea. Igualmente, inúmeros polos agroindustriais e incontáveis setores agropecuários têm na água subterrânea o manancial prioritário para seu consumo. E essa demanda tende a aumentar nos próximos anos, tanto pelas necessidades decorrentes da concentração demográfica e da expansão econômica, como por suas vantagens relativas sobre as águas superficiais (FOSTER et al., 1988).

Assim, o uso da água subterrânea vem crescendo a cada ano, tanto para abastecimento público e privado como para o uso na irrigação e na indústria (TUNDISI, 2003). Para Hirata (1993) o relativo baixo custo e, na maioria dos casos, a qualidade natural das águas subterrâneas têm sido suficientes para justificar essa crescente exploração, ainda ressalta Almeida (2010) que no âmbito mundial, são cada vez mais acentuados os desequilíbrios regionais que produzam com respeito às disponibilidades de água de qualidade em distintas regiões do mundo.

Dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura (UNESCO), há evidências de que atualmente cerca de 54% da água doce contida em rios, lagos e aquíferos já estejam sendo utilizados pela sociedade. Em termos globais, 69% dessa água destinam-se à irrigação das lavouras, 23% são usados pela indústria e 8% destinam-se aos diversos usos domésticos (CARDOSO, 2012). Ainda Cardoso (2012) ressalta que sua oferta e seu uso não são uniformes nem entre continentes e países, nem no interior de um mesmo país ou região (Tabela 1) (CARDOSO, 2012). Consta-se que o maior uso da água no mundo é de uso agrícola.

Tabela 1 – Consumo de água no mundo

<i>Consumo</i>	<i>Mundo (%)</i>	<i>Am. NC (%)</i>	<i>Am. Sul (%)</i>	<i>África (%)</i>	<i>Ásia (%)</i>	<i>Europa (%)</i>
Doméstico	8	8	14	7	6	13
Indústria	23	41	24	5	8	54
Agrícola	69	51	58	88	86	33

Fonte: Cardoso, 2012.

Segundo Reichardt (1987), na prática da irrigação em um determinado prazo, a qualidade da água é um dos fatores mais importantes. Pequenas quantidades de sais dissolvidos podem, em projetos de irrigação mal elaborados, transformar lentamente área fértil em solo salino de baixa produtividade. Quando o agricultor dá conta do problema, muitas vezes é tarde demais a recuperação, pois a recuperação de solos salinos ou salinizados é difícil, demorada e dispendiosa.

A situação atual da exploração da água subterrânea carece de mecanismos legais e normativos. Assim, os aquíferos, em diferentes áreas do território nacional, estão sujeitos aos impactos da extração descontrolada por poços e da ocupação indisciplinada do solo, pondo em risco a qualidade dessas águas (FOSTER et al., 1988).

Dentre os sistemas aquíferos brasileiros com boa qualidade de água, destaca-se o Sistema Aquífero Guarani (SAG), por possuir volume, posição geográfica, acessibilidade e qualidade que lhe conferem uma notável importância social e econômica, sendo um dos maiores reservatórios mundiais de águas subterrâneas conhecidas. Segundo Gomes (2006) em sua área de ocorrência vivem mais de 30 milhões de pessoas e nas áreas de recarga ou afloramento a população soma aproximadamente 3,7 milhões de habitantes. É importante ressaltar que esse manancial tem potencial para abastecer toda a população brasileira atual por cerca de 2.500 anos. Nas últimas décadas, a modernização da agricultura no país vem crescendo vertiginosamente e o uso da água para a irrigação tem acompanhado esse crescimento.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade da água do Aquífero Guarani no município de Mineiros, visando fornecer subsídios para seu uso na irrigação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O município de Mineiros está localizado no Sudoeste Goiano (Figura 1), tem área de 8.896 km², e se situa geograficamente em terra com altitudes que variam entre 770 metros a 1100 metros. O município apresenta precipitação média anual de 1853 mm e, temperatura média entre 18 e 20 °C, tendo clima definido basicamente por duas estações, uma seca, com temperaturas amenas, e a outra chuvosa, com temperaturas elevadas. O município ocupa grandes áreas em faixas de afloramentos e recargas do Sistema Aquífero Guarani (SAG), com predominância da Formação Botucatu. Segundo Oliveira e Vieira (2010) esta formação é composta por arenitos eólicos, constituídos predominantemente por areias finas a médias cimentadas por sílica, carbonato e ou limonita. Conforme Oliveira (2009), de todas as unidades geológicas que compõem o SAG em território brasileiro, os arenitos desta formação são os que apresentam maior área de ocorrência na Bacia Sedimentar do Paraná.

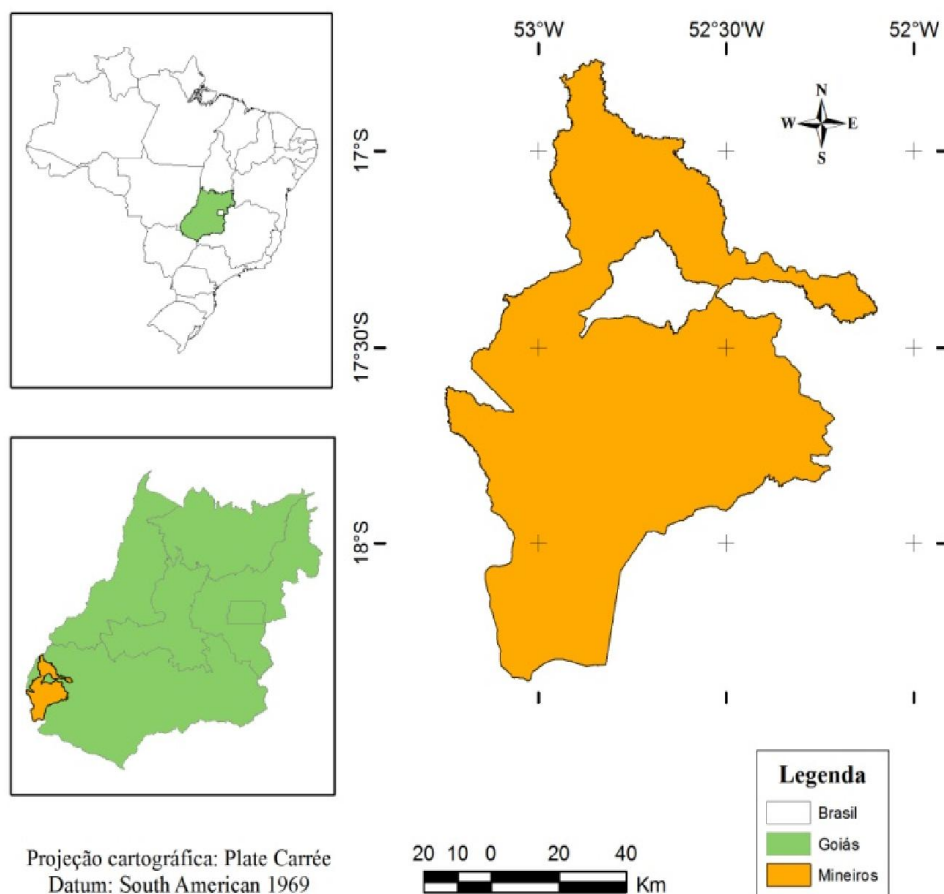


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo

Veroslavsky et al. (2008) assinala que o SAG na região Sul de Goiás está distribuído em uma área de 39.367,72 km². A área de ocorrência compreende três zonas aflorantes e a porção confinada. A zona de afloramento mais representativa, com 8.832 km², está localizada na região de Mineiros (OLIVEIRA, 2009).

Plano de Amostragem

A seleção dos poços seguiu um planejamento envolvendo análise estatística dos 163 poços existentes na área de estudo. Como não havia uma distribuição uniforme desses poços, optou-se pelo uso do método dos polígonos de Thiessen, como base na área de influência de cada poço, a fim de maior espacialização da área de estudo. Assim, desse total, 30 poços foram selecionados conforme Figura 2. As coletas das amostras foram realizadas nos meses de Janeiro de 2013 e junho de 2013.

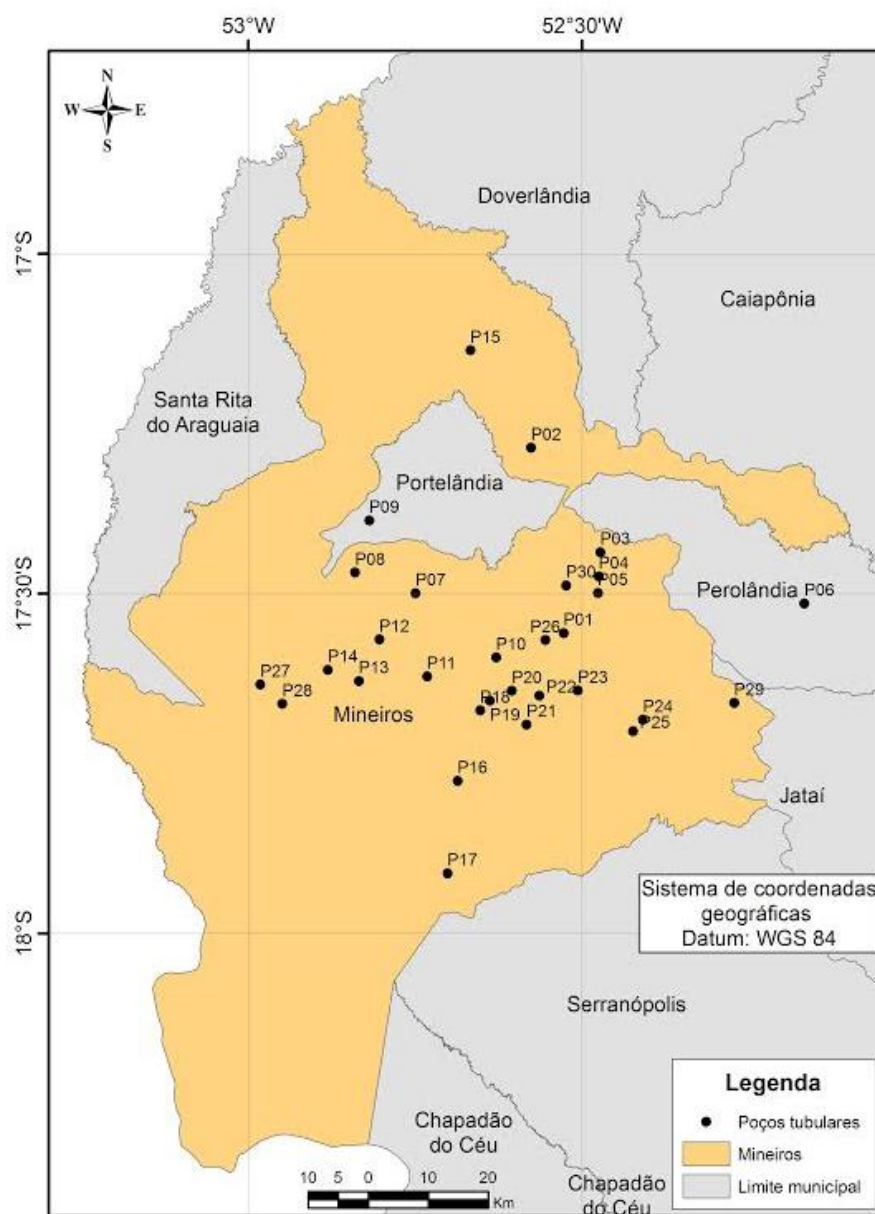


Figura 2 – Mapa de localização dos poços

Análises Químicas

A quantificação dos elementos químicos: Na, Ca, Mg e B foi realizada no ICP-OES da Thermo Fisher Scientific, modelo iCAP 6300 Duo, com os seguintes acessórios: tubos de tygon, nebulizador concêntrico, câmara de nebulização ciclônica e tubo central de 2 mm. As leituras de Ca e Mg foram realizadas utilizando a configuração radial do equipamento; para o B foi utilizada a configuração axial. Os parâmetros instrumentais utilizados foram: rotação da bomba de 50 RPM, vazão do gás argônio auxiliar de $0,5 \text{ L min}^{-1}$, a pressão do gás argônio de

nebulização de 0,18 Mpa e potência na fonte de 1250 Watts. Os comprimentos de onda foram escolhidos levando em consideração as linhas de maior intensidade e de menor número de interferentes, ou seja, B (249,773 nm), Ca (393,366 nm), Mg (280,270 nm), Na (588,995 nm). Para o cloreto por análise titrimétrica. A condutividade elétrica foi medida em aparelho portátil da marca Hanna.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização das águas subterrâneas quanto à salinidade

Os aspectos essenciais ao analisar o uso da água para irrigação são aqueles que comprometem principalmente a conservação do solo, o rendimento e a qualidade das colheitas (Reichardt, 1987). A qualidade da água para fins agrícolas é definida em função dos critérios de salinidade, sodicidade, toxicidade e outros. Assim, nesse trabalho foram utilizados os critérios de salinidade (risco de salinidade), critérios de sodicidade (percentagem de sódio na água e relação de adsorção de sódio), critérios de toxicidade em relação ao boro.

Risco de Salinidade

A classificação da água subterrânea com base no perigo de salinidade tem como finalidade diagnosticar e classificar a concentração total de sais solúveis na água para fins de irrigação, baseado na condutividade elétrica.

A condutividade elétrica é a capacidade de a água transmitir a corrente elétrica. Os sais dissolvidos e dissociados na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida da condutividade de uma água. Assim, a CE consiste na facilidade com que a água conduz a corrente elétrica e está diretamente ligada ao teor de sais dissolvidos sob a forma de íons. O seu valor serve como índice de avaliação da mineralização da água (FEITOSA; MANOEL-FILHO, 2000, OBIEFUNA; SHERIFF, 2011).

Dessa forma, as águas classificadas como de baixa salinidade (C1) podem ser usadas para irrigação da maioria das culturas e na maioria dos solos, com probabilidade muito baixa de que se desenvolva salinidade. As amostras com média salinidade (C2) podem ser usadas, desde que ocorra uma quantidade moderada de lixiviação. Já, as águas com alta concentração de sais (C3) são adequadas apenas para poucas culturas que possuem tolerância. As águas com salinidade muito alta (C4 e C5) são geralmente inadequadas para irrigação, podendo ser

usadas apenas ocasionalmente em circunstâncias muito especiais (PURUSHOTHAM et al., 2011).

A condutividade elétrica média das águas subterrâneas analisadas foi de 0,02647 dS/m, variando de 0,00254 a 0,4414 dS/m. Dentre as amostras analisadas na área de estudo, 86,67% foram classificadas como pertencentes à classe C1 (qualidade excelente) e 13,33% como C2 (qualidade boa), sendo que todas as amostras coletadas foram consideradas adequadas para irrigação (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação da água subterrânea do município de Mineiros, Goiás, baseada nos valores de CE e classes de perigo de salinidade conforme USSL (United State Salinity Laboratory), (ALMEIDA, 2010).

CE (dS m ⁻¹)	Classe de perigo de salinidade	Qualidade	Porcentagem das amostras analisadas (%)
0 – 0,25	C1	Excelente	86,16
0,25 – 0,75	C2	Boa	13,33
0,75 – 2,25	C3	Duvidoso	-
>2,25	C4 e C5	Inadequado	-

Altos valores de sais na água de irrigação levam à formação de solos salinos. A salinização nas terras irrigadas é a principal causa de perda de produção, e tem impactos ambientais adversos. As condições salinas limitam severamente a escolha das culturas e afetam negativamente a germinação e o rendimento, reduzindo a atividade osmótica das plantas e interferindo na absorção de água e nutrientes do solo (PURUSHOTHAM et al., 2011). Ainda, Ayres e Wescot (1999) ressaltam que toda avaliação a respeito da qualidade da água para irrigação esteja ligada à avaliação dos solos a serem irrigados.

Razão de Adsorção de Sódio (RAS) ou Índice de Sodicidade

Outro fator importante para avaliar a qualidade da água usada na irrigação refere-se às relações entre a concentração de Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, usando para isso a Razão de Adsorção de Sódio (RAS). A RAS constitui um critério importante para determinar a adequação da água para irrigação, já que os teores de Na⁺ excessivos em relação aos de Ca²⁺ e Mg²⁺ reduzem a permeabilidade do solo e, portanto, inibem a oferta de água necessária para as culturas. A RAS pode ser calculada pela Equação 1, onde RAS é a Razão de Adsorção de Sódio e as concentrações são expressas em milimol L⁻¹.

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Equação 1

A classificação das amostras de água subterrânea da área de estudo com relação à RAS está apresentada na Tabela 3. A maioria das amostras (93,33) apresentou valor de RAS inferior a 10 (S1), sendo classificadas como de qualidade excelente para a irrigação, enquanto cerca de 6% apresentou como de água de qualidade boa.

Tabela 3 – Qualidade da água subterrânea do município de Mineiros, Goiás de acordo com a RAS e as classes de risco de sódio, conforme classificação da USSL (ALMEIDA, 2010).

Valores RAS	Classes de perigo de sódio	Qualidade	Porcentagem das amostras
<10	S1	Excelente	93,33
10-18	S2	Boa	6,66
19-26	S3	Duvidoso	-
>26	S4 e S5	Inadequado	-

Romero (1992) questiona o estabelecimento de sodicidade crescente para uma mesma RAS, salientando que o estado de floculação ou dispersão dos colóides do solo depende da porcentagem de Na^{1+} . Portanto, foi avaliada a porcentagem de Na^{1+} das amostras segundo classificação de Wilcox (1995).

Porcentagem de Sódio

Os métodos de Wilcox (1995) têm sido utilizados para classificação e interpretação do caráter básico da composição química da água e sua adequação para irrigação, que depende da mineralização e seu efeito na planta e no solo. A porcentagem de sódio na água foi determinada utilizando a equação 2.

$$\%Na = \frac{(Na^{+})}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+})} \times 100$$

Equação 2

A classificação das amostras analisadas de água subterrânea quanto à relação da porcentagem de sódio, segundo Wilcox (1995) é apresentada na Tabela 4. Verifica-se que 25 amostras analisadas (83,33%) pertencem à classe de excelente qualidade, sendo que o restante (16,67%) foi classificado como classe de boa qualidade. Altos teores de sódio na água é indesejável devido à sua propriedade fitotóxica e causarem deterioração do solo. Assim,

culturas irrigadas com baixos valores de porcentagem de sódio tende a ter um bom rendimento quanto a esse parâmetro.

Tabela 4 – Classificação da água subterrânea do município de Mineiros, Goiás, baseado nos valores de porcentagem de sódio.

Sódio (%)	Classes	Nº de Amostras (%)
<20	Excelente	83,33
20-40	Boa	16,67
40-60	Permissível	-
60-80	Duvidosa	-
>80	Inadequada	-

Quando a concentração de Na^{1+} é alta na água de irrigação, esses íons tende a ser adsorvido pelas partículas de argila, deslocando os íons Mg^{2+} e Ca^{2+} . Esse processo de troca dos íons Mg^{2+} e Ca^{2+} por Na^{+} na água do solo reduz sua permeabilidade e eventualmente gera solos com deficiência de drenagem. Assim, a circulação do ar e da água é comprometida em condições úmidas, tornando os solos mais rígidos quando secos (COLLINS; JENKINS, 1960; SALEH et al., 1999; PURUSHOTHAM et al., 2011).

Toxicidade

Segundo Almeida (2010) a diferença da salinidade, que é um problema externo à planta e que dificulta a absorção da água, enquanto que a toxicidade é um problema interno que se produz quando determinado íons, absorvidos principalmente pelas raízes, se acumulam nas folhas mediante a transpiração, chegando a alcançar concentrações nocivas, e ainda ressalta o mesmo autor, que certos elementos, inclusive em concentrações baixas, têm efeitos tóxicos para os vegetais, sendo principalmente os íons cloro, sódio e boro os que podem causar toxicidade entre aqueles normalmente encontrados nas águas de irrigação.

Conteúdo de cloro

O íon cloreto é um dos mais conhecidos, em seus efeitos, de todos os íons salinos. Sua presença nas águas faz com que os cultivos fiquem afetados com grande frequência de clorose foliar acentuada nas partes mais iluminadas, que podem degenerar em necrose das bordas das folhas. Segundo Almeida, 2010, limite de tolerância para águas de irrigação é de $0,5 \text{ g L}^{-1}$, ainda que dependa do tipo de solo. Dentre as amostras analisadas, os valores variaram de $0,355$ a $7,987 \text{ mg L}^{-1}$, assim todos as amostras de águas da área de estudo apresentaram valores inferiores ao limite de tolerância.

Conteúdo de Sódio

O sódio é o elemento mais abundante e perigoso das águas salinas. Sua toxicidade se manifesta na planta em forma de queimaduras nas folhas. É um dos íons responsáveis de toxicidade específicas nos cultivos. Estima-se que concentrações de sódio na água de irrigação superiores a 200 ou 299 mg L⁻¹, podem dar lugar a estes sintomas (CUENCA, 1980). Os valores encontrados nas amostras variaram de 0,024 a 4,674 mg L⁻¹, sendo que todas as amostra estão bem abaixo do limite de tolerância quanto à toxicidade por sódio.

Conteúdo de Boro

Diferente do sódio e do cloro, o boro é um elemento essencial para o crescimento das plantas, porém em quantidades relativamente pequenas se converte em tóxico (ALMEIDA, 2010). Frequentemente encontrado em águas de irrigação e muitas vezes pode se acumular no solo em níveis tóxicos às plantas. Concentrações menores que 0,5 mg L⁻¹ de Boro na água de irrigação são consideradas seguras, mas valores da ordem de 3 a 4 mg L⁻¹ podem acarretar toxicidade para a maioria das culturas (REICHARDT, 1987).

As águas superficiais raras vezes contêm este elemento, entretanto pode ser encontrado nas águas subterrâneas, além disso, é mais abundante em águas salinas que em água de boa qualidade (ALMEIDA, 2010). Dentre as amostras analisadas não detectou a presença de boro, portanto todas as amostras apresentaram-se dentro da faixa permitida (Tabela 5), Assim, as águas subterrâneas do município de Mineiros foram classificadas como de qualidade excelentes para os vários tipos de culturas.

Tabela 5 – Classificação da água subterrânea do município de Mineiros, Goiás, baseado nos limites permitidos de Boro na água de irrigação para vários tipos de culturas (adaptado de RAVIKUMAR et al., 2011).

Classes de Boro	Culturas sensíveis		Culturas semitolerantes e Tolerantes	
	mg L ⁻¹	% de amostras	mg L ⁻¹	% de amostras
Excelente	<0,33	100	<0,67	100
Boa	0,33-0,67		0,67-1,33	-
Permissível	0,67-1		1,33-2,0	-
Duvidoso	1-1,25		2,0-2,5	-
Inadequado	>1,25		>2,5	-

Dureza Total

A dureza é um critério importante a ser considerado, que se refere ao conteúdo de cálcio e magnésio nas águas. Em geral as águas muito duras são pouco recomendáveis em solos pesados e compactos. Uma forma de reduzir a dureza da água é a aeração, visto que desta forma se pode produzir uma precipitação do cálcio (ALMEIDA, 2010).

Sob o ponto de vista sanitário, as águas duras não apresentam inconvenientes, ou seja, a presença desses dois elementos na água não representa risco para a saúde, pelo contrário, o cálcio e o magnésio são recomendados para o crescimento e são elementos saudáveis para os dentes e ossos. Porém, apresenta um sabor desagradável. No abastecimento industrial pode provocar incrustações em sistemas de água quente como tubulações, caldeiras e trocadores de calor, também, em sistema de irrigação.

A classificação das águas subterrâneas da área de estudo com base na dureza foi realizada segundo os critérios de Sawyer e McCarth'y (1967), conforme Tabela 6. Assim, 96,67% foram classificadas como água doce e 3,33% foram classificadas como água moderadamente dura. A dureza total (DT, em ppm) foi determinada segundo a Equação 3.

$$DT = 2,497Ca^{2+} + 4,115Mg^{2+} \quad \text{Equação 3}$$

Tabela 6 – Classificação da dureza das águas subterrâneas do município de Mineiros-GO de acordo com os critérios de Sawyer e McCarthy (2003).

DT (como mg CaCO ₃ L ⁻¹)	Classes de água	% de Amostra
<75	Doce	96,67
75-150	Moderadamente dura	3,33
150-300	Dura	-
>300	Muito dura	-

Considerações Finais

Nas condições em que a pesquisa foi realizada, conclui que todas as águas subterrâneas do município foram classificadas de qualidade excelente a boa, assim, podem ser usadas para a irrigação em todo tipos de solos, sem nenhum risco de salinização. Também, quanto à toxicidade por sódio, cloro e boro, esses elementos enquadram dentro do limite de tolerância para os diversos tipos de culturas.

As águas subterrâneas estão se tornando a cada ano uma alternativa viável, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade e custos, sendo uma fonte bastante atrativa para investimento, inclusive em irrigação. Porém, é imprescindível políticas de planejamento e monitoramento adequados da gestão desse recurso, para atestar sua qualidade, com o

propósito de evitar problemas futuros, que possam ser evitados, sendo que muitas vezes, quando o problema torna-se perceptível é tarde demais, como a salinização, pois a recuperação de solos é difícil, além de ser demorada e dispendiosa.

A água subterrânea sempre foi vista como uma fonte inesgotável de abastecimento. Embora seja um recurso renovável, os aquíferos raramente suportam enormes e indefinidas taxas de extração. Por isso, deve-se atenção quanto à superexploração dos aquíferos, principalmente, em terras agrícolas, para evitar o seu esgotamento, de modo a assegurar provisão de águas subterrâneas para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. de. et al. **Hidrogeologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Série Geologia e Mineração.** Governo do Estado de Goiás. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia-Goiás. 2006, 232p.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação.** 1ª ed. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2010, 227 p.

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional.** Agência Nacional de Águas; Engenheiros/Cobraque, Brasília, 2010, 68p.

AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** 2ª ed. Campinas Grande, PB: UFPB, FAO, Irrigação e Drenagem, v. 29, 1999, 153p.

CARDOSO, A. **Água na medida certa: a hidrometria no Brasil.** Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília, 2012, 72p.

COLLINS, R.; JENKINS, A. The impact of agricultural land use on stream chemistry in the middle hills of the Himalayas, Nepal. **Journal of Hydrology**, v. 185, 1996, p.71-86.

CUENCAS, J. C. **Calidad Agronómica de las aguas de Riego.** Madrid Ediciones Plublicaiones Extensión Agraria, 1980, 55p.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL-FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, ed. 2, 2000, 391p.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura.

FOSTER, E. S.D.; HIRATA, R. C.; ROCHA, A. Riscos de Poluição de Águas Subterrâneas; uma proposta de avaliação regional. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, São Paulo, 1988. Anais, São Paulo, ABAS, 1988, p.175-185.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A.; PERIERA, A. S. **Caracterização das Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil – base para uma proposta de gestão sustentável.** EMBRAPA, Jaguariúna-SP, 2006, 23p.

HIRATA, L. M.; SILVA, E.F. Os Recursos Hídricos subterrâneos e as Novas Exigências Ambientais. **Revista IG**. V. 14, n.1, 1993, p.39-42.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: uso racional e reúso**. Oficina de Textos. São Paulo, 2005.

OBIEFUNA, G. I.; SHERIFF, A. Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria For Irrigation and Domestic Purposes. **Research Journal of Environmental an Earth Sciences**, v. 3, 2011, p.131-141.

OLIVEIRA, L. A. **Sistema Aquífero Guarani no Estado de Goiás: Distribuição, Caracterização, Hidrodinâmica, Hidroquímica, Composição Isotópica e CFCs**. Tese (Doutorado e Geociências), Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília – DF, 2009.

OLIVEIRA, L. A. VIEIRA, A. S. Estado da Arte do Sistema Aquífero Guarani. **Caminhos de Geografia** – revista online. Instituto de Geografia UFU. V. 11, n. 34, 2010, p.174-189.

PURUSHOTHAM, D.; NARSING-RAO, A.; RAVI-PRAKASH, M.; SHAKEEL-AHMED, S.; ASHOK BABU, G. Environmental Impact on Groundwater of Maheshwaram Watershed, Ranga Reddy District, Andhra Pradesh. *Journal Geological Society of India*, v.77, 2011, p.539-548.

RAVIKUMAR, P.; SOMASHEKAR, R.K.; MHASIZONUO A. Hydrochemistry and evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in the Markandeya River basin, Belgaum District, Karnataka State, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.173, 2011, p.459–487.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. 1ª Edição, Editora Manole Ltda, São Paulo, 1987, 188p.

ROMEIRO, G. C. **Evaluación de La calidad Del água de Riego Valencia**. Servicio de Publicaciones de La UPV, 1992, 46p.

SALEH, A.; AL-RUWAIH, F.; SHEHATA, M. Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait. **Journal of Arid Environments**, v.42, 1999, p.195–209.

SILVA, J. B.; RAMALHO, D. S.; GUERRA, L. D.; VASCONCELOS, C. R. P. de. As concepções da escassez de recursos hídricos no Brasil e no mundo: a saída é a cobrança? **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v. 7, n. 12, 2006, p.153-164.

SAWYER, G. N.; MCCARTHY, D. L. **Chemistry of sanitary engineers**. 2a ed., New York: McGrawHill, 1967, 518 p.

TUDSISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. Rima/IIE, 2003, 248p.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura.

VEROSLAVSKY, G.; LÓPEZ, F.; GUILLO, V. A.; CASACCIA, J. L.; ROSSI, V. Avanços no Conhecimento do Sistema Aquífero Guarani. Projeto de Proteção Ambiental de Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. **Consórcio Guarani**, Rio Claro, 2008, 120p.

WILCOX, L. B. **Classification and use of irrigation Waters.** Edição 969 de circular, U. S. Dept. of Agriculture, 1955, 19p.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

O município de Mineiros localizado no Sudoeste Goiano, com área de 9.060 km² (IBGE, 2010), em meados da década de 1970, sofreu forte expansão da fronteira agrícola. Em função de mudança de uso do solo houve a conversão das coberturas vegetais em áreas agrícolas, pecuária extensiva. Utilizando-se de modernas tecnologias associadas à Revolução Verde, o município tornou-se economicamente importante, tanto para o estado de Goiás, quanto para o Brasil, na produção de grãos.

Em seu subsolo, encontra-se localizada parte de uma das mais importantes reserva de água subterrânea do planeta, o Sistema Aquífero Guarani, considerado um recurso estratégico para o país, bastante explorado pelas atividades desenvolvidas em sua área, as quais são geradoras de grande potencial de contaminação. Além disso, o aquífero no município é do tipo livre, o que pode ainda mais, acentuar esse potencial, devido às ações antrópicas praticadas no mesmo.

Pelo exposto desse cenário de fortes transformações, a contribuição desta pesquisa esteve centrada na geração, processamento, análises e divulgação de informações referentes aos aspectos físicos, econômicos e socioambientais, sobretudo focada no Aquífero Guarani localizado em seu subsolo. Salienta-se ainda, que a expansão agropecuária pode ser ou não ser uma fonte importante de contaminação do SAG no município, principalmente por fertilizantes, em relação ao uso intensivo desses insumos e devido às características de sua área de ocorrência, e o histórico de uso e manejo agrícola de suas terras.

Desta forma, o foco principal foi à obtenção de parâmetros físico-químicos, especialmente a caracterização e a avaliação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos, voltados para o consumo humano, dessedentação animal e irrigação, com base na legislação em vigência (CONAMA, 2008; MS, 2914, 2011).

Os resultados obtidos foram organizados em cinco artigos científicos, os quais exploram diversos aspectos multidisciplinares da pesquisa. No primeiro artigo, o estudo foi realizado na alta bacia do Rio Paranaíba (área 2.606 km²), no Município de Mineiros, estado de Goiás, que consistiu na avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação da área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG). A vulnerabilidade à contaminação foi avaliada através do método GOD, que permitiu identificar as classes: baixa, moderada e alta. Determinou-se que 27,34% da área possui vulnerabilidade alta; 69,20% moderada e 3,46% baixa. Por outro lado, a classificação das fontes potenciais de contaminação antrópica, foi

realizada através do método POSH. Nesse método verificou-se que 43% da área não possui potencial contaminante, 44,72% apresenta potencial moderado e 12% elevado potencial contaminante. Não foi mapeada área com reduzido potencial. Ficou evidente que a região a oeste da área de estudos apresenta um maior perigo à contaminação do aquífero. Também, foram evidenciados nove agrupamentos de extremo perigo à contaminação com área total de 104,93 km² correspondente a 4,03% da área de estudo e 21,9% da área possui alto perigo de contaminação.

O segundo artigo procurou apresentar indicadores relacionados ao uso dos solos, visando a prover subsídios para avaliação da sua influência na qualidade das águas do SAG. O estudo baseou-se em análise multitemporal do uso do solo (períodos 1990, 2005 e 2010), utilizando imagens de satélite Landsat TM5 e Sistema de Informação Geográfica. Os resultados revelaram que um pouco mais de 22% da área foram convertidas à agropecuária, com ligeiro predomínio da agricultura sobre a pecuária. Entretanto, houve mudanças relevantes em termos de ambiente na área quanto às classes agricultura e remanescentes no período 2005/2010. Nesse período os dados relativos à classe agricultura indicaram aumento cerca de 142 mil hectares de área plantada, no entanto, houve redução significativamente para a área remanescentes, perda de 114 mil hectares, ou seja, cerca de 20% de redução. Dessa forma, percebe-se claramente a rápida evolução da ação antrópica no município nesse período. Já, quanto aos fertilizantes, estima-se que no período de 2000 a 2010 tenham sido utilizadas cerca de 395.000 toneladas.

O Terceiro artigo preocupou-se em avaliar os teores das concentrações de compostos nitrogenados (N-amoniaco, N-nitrato e N-nitrito), fósforo e potássio, considerando que todos esses compostos têm sua origem no uso de fertilizantes. Além disso, houve o interesse de classificar as águas subterrâneas da área de estudo, considerando de grande importância para o conhecimento dos aspectos qualitativos de nossos aquíferos. Nessa pesquisa foram realizadas duas amostragens, a primeira em janeiro de 2013, período chuvoso, e a segunda, em junho de 2013, período de estiagem. Os resultados mostraram que na primeira amostragem, em cerca 25% dos poços, detectou a presença de N-amoniaco, e 53% apresentaram N-nitrato. Quanto ao N-nitrito e fósforo não encontrou nenhum desses compostos. Na segunda amostragem não foi detectada a presença de N-amoniaco e nem N-nitrito. Já quanto ao N-nitrato, em 56% da amostragem detectou a sua presença. Não obstante das características dos terrenos da área de estudo e do histórico do uso de suas terras, as concentrações encontradas estavam bem abaixo dos valores máximos permitidos pela

legislação, porém, a presença desses contaminantes é indicativa das ações antrópicas praticadas no município. A classificação hidroquímica identificou diferentes classes e tipos qualitativos de águas no aquífero, com predominância de águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, seguidas das águas sulfatadas cálcicas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas.

Os dois últimos artigos foram dedicados à avaliação da qualidade das águas subterrâneas para diversos fins, como: consumo humano, dessedentação de animais e uso na irrigação. Vários parâmetros foram avaliados e comparados com os valores máximos permitidos de acordo com a Portaria MS, 2011 e com a Resolução CONAMA, 2008. Na pesquisa quanto ao consumo humano e a dessedentação de animais, destacam-se os parâmetros pH, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Quanto ao pH, cerca de 90% da amostragem os valores de pH foram consideradas impróprias para o consumo humano de acordo com a Portaria MS, 2011. Os valores de pH variaram de 4,4 a 6,8; indicando que são ácidas a maioria das águas. Porém, esse parâmetro pode ser corrigido por tamponamento no tratamento dessas águas. O não enquadramento dentro dos padrões recomendados, não a descaracteriza como água potável, já que o pH pode estar relacionado à geologia da região e do processo de interação água-rocha/solo. Quanto às análises microbiológicas para coliformes termotolerantes, 20% da amostragem estavam em desacordo para o consumo humano de acordo com a Resolução CONAMA 396, (2008). Para o uso na dessedentação de animais, 13,33% da amostragem estavam acima do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 396 (2008), ressaltando que a dessedentação de animais é o principal uso das águas subterrâneas do município na atualidade. Todavia, o não enquadramento pode ser sanado, através de medidas de políticas de gestão ambiental, já que a contaminação por coliformes tem sua origem na ação antrópica praticada na área de estudo.

O último artigo considerou o potencial das águas subterrâneas do aquífero na área de estudo, quanto ao uso na irrigação, ponderando que o município tem grande tradição na agricultura, e que a implantação recentemente da cana-de-açúcar possa futuramente beneficiar-se desse recurso, como outras culturas. Assim, foram utilizados os critérios de salinidade (risco de salinidade), critérios de sodicidade (percentagem de sódio na água e relação de adsorção de sódio) e critérios de toxicidade em relação ao boro, cloro e sódio. Quanto ao perigo de salinidade, 86,17% foram classificadas de excelente qualidade, 13,33% de boa qualidade. A maioria das amostras apresentou valor de RAS inferior a 10 (S1), sendo assim classificadas como de qualidade excelente para a irrigação. Quanto à relação da porcentagem de sódio, 83,33% foram classificadas como pertencentes às classes excelentes.

Em relação à dureza total, 96,67% foram classificadas como água doce. Enfim, constatou-se que, em geral, as águas do Aquífero Guarani, no município de Mineiros, são de excelente a boa qualidade para uso na irrigação nos critérios avaliados.

Assim, considerando que a expansão agropecuária na área pode ser ou não uma fonte importante de contaminação do Aquífero Guarani no município de Mineiros (GO), sobretudo pelo uso de fertilizantes, somada as características físicas de seus terrenos e do uso do solo, constatou-se que:

- A qualidade das águas subterrâneas analisadas é de boa qualidade em relação às fontes potenciais oriundas dos fertilizantes; inserindo-se nos padrões estabelecidos pela legislação vigente;
- Porém, a área inspira cuidados, sobretudo, preventivo, já que a mesma apresenta áreas que exige atenção quanto à vulnerabilidade e ao risco potencial de contaminação, devido às características de sua área de ocorrência;
- As águas apresentaram baixas concentrações de sais dissolvidos, confirmando característica de áreas de recargas;
- Quanto à qualidade das águas para o consumo humano e dessedentação de animais, em geral é de boa qualidade, porém deve-se atenção a alguns parâmetros, como: O pH: 90% fora do padrão, porém esse parâmetro pode ser corrigido. Coliformes termotolerantes: 20% fora do padrão para consumo humano e 13% para dessedentação de animais, mas esse problema pode ser sanado, através de medidas preventivas.

Quanto ao uso na irrigação, as águas do município são de excelentes e de boa qualidade. Entretanto, essa atividade é a maior consumidora de água no planeta, e a ampliação das áreas irrigadas pode tornar-se insustentável no mundo carente de reservas hídricas.

Espera-se que as informações presentes nesta pesquisa possam fornecer subsídios para as políticas e a gestão do uso do solo, bem como, dos recursos hídricos subterrâneos da área em questão, levando em consideração que para a tomada de decisões é preciso à realização de novos estudos com mais detalhes e em maiores escalas.

Considerando que as águas subterrâneas sejam um recurso renovável. Todavia, os aquíferos raramente suportam enormes e indefinidas taxas de extração. Por isso, deve-se estar atento a sobreexploração dos aquíferos, principalmente, em terras agrícolas, para evitar o seu

esgotamento, de modo sustentável a fim de assegurar provisão de águas subterrâneas para manutenção da população presente e para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF. Seção Resoluções, 2008, 71p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.

MS. Ministério da Saúde. Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011. **Estabelece normas e o padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2011.