

Programa de Monitoramento de Águas
Subterrâneas das Sub-bacias dos Rios Verde
Grande, Riachão e Jequitaiá

Maricene Menezes de Oliveira Mattos Paixão

Orientadora: Magda Barcelos Greco

Curso de Especialização: Gerenciamento Municipal de Recursos Hídricos

Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Ciências Biológicas

Belo Horizonte

Dezembro 2006

Maricene Menezes de Oliveira Mattos Paixão

Programa de Monitoramento de Águas Subterrâneas das Sub-bacias dos Rios
Verde Grande, Riachão e Jequitaiá

Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Gerenciamento Municipal
em Recursos Hídricos

Orientadora: Magda Barcelos Greco

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Biológicas
Belo Horizonte,
Dezembro 2006

Aos meus filhos e marido
Com muito carinho

Agradecimentos

Agradeço ao IGAM, a toda a equipe do Projeto Águas de Minas, em especial à Zenilde e os colegas Rebeca, Marcos, Mateus e Vanessa.

Sumário

Sumário.....	6
1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Características da água subterrânea	10
1.2 Condições de Ocorrência.....	10
1.3 Características de Qualidade.....	12
1.4 Condições de Poluição e Vulnerabilidade dos Aquíferos.....	14
1.5 O Monitoramento das Águas Subterrâneas – Um Aspecto da Sua Gestão	16
2 OBJETIVO.....	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1 Descrição da área	19
3.2 Caracterização Hidrogeologica da Área.....	21
3.2.1 Sistema Aquífero Granular	24
3.2.2 Sistema Aquífero Fissurado-Cárstico	26
3.2.3 Sistema Aquífero Cárstico	27
3.2.4 Sistema Aquífero Fissurado	28
3.3 Fontes de Poluição e Condições de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas	30
3.4 O Uso da Água Subterrânea na Área de Abrangência da Rede Piloto.....	31
3.5 Caracterização da Rede de Monitoramento.....	33
3.6 Parâmetros Monitorados.....	37
3.7 Levantamento de Dados – Coletas e Análises Laboratoriais.....	38
3.7.1 Coletas.....	38
3.7.2 Análises <i>in situ</i> e laboratoriais	38
4 RESULTADOS	40
4.1.1 Caracterização das Águas Subterrâneas	40
4.1.2 Qualidade das águas subterrâneas.....	42
5 CONCLUSAO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
6 BIBLIOGRAFIA.....	1

Lista de Figuras

Figura 1: Perfil da distribuição vertical da água	11
Figura 2 - Localização da rede de monitoramento piloto	20
Figura 3 Figura do mapa hidtogeológico.....	23

Figura 4 :Mapa da rede de monitoramento de poços tubulares nas sub-bacias dos rios Riachão, Jequitai e Verde Grande.....	36
Figura 5: Diagrama de Piper classificação das águas subterrâneas	42
Figura 6: Classificação da água subterrânea para irrigação.....	51

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Relação de municípios inseridos na rede de monitoramento piloto por sub-bacia.	20
Tabela 2	22
Tabela 3: Relação dos pontos formadores da rede de monitoramento.	35
Tabela 4: Parâmetros analisados em campo e em laboratório.....	37
Tabela 5: Coletas de amostras subterrâneas	38
Tabela 6: Métodos de Ensaio, Referência e Limite de Quantificação.....	39
Tabela 7: Concentrações mínimas, máximas e médias de cátions e ânions principais.	41

Gráficos

Gráfico 1: Porcentagem de número de e outorgas por tipo de uso	32
Gráfico 2: Porcentagem de vazão outorgada por tipo de uso.....	32
Gráfico 3: Variação na ocorrência do tipo de água segundo a Dureza.....	41
Gráfico 4: Variação da Turbidez.....	44
Gráfico 5: Variação dos Sólidos Totais Dissolvidos	45
Gráfico 6: Variação da Dureza Total.....	46
Gráfico 7: Variação da Concentração de Nitrogênio Amônia.....	47
Gráfico 8: Variação da Concentração de Bário Solúvel	48
Gráfico 9: Variação da Concentração dos Coliformes Termotolerantes	49
Gráfico 10: Variação da Concentração dos Estreptococos Fecais	49

Resumo

A água subterrânea é um recurso natural de vital importância para o abastecimento de água potável nos meios rural e urbano, para o uso em atividades econômicas e para a manutenção de ecossistemas aquáticos e terrestres. A degradação da qualidade das águas superficiais e o desenvolvimento das técnicas de perfuração, que tornam o acesso à água subterrânea mais fácil e barato têm propiciado o incremento de sua utilização para os mais diferentes fins. Sua qualidade pode variar em uma determinada área considerada e depende da composição da água de recarga, da interação entre a água e o meio onde circula – solo, rocha, gases presentes na zona não saturada e do tempo de residência e reações que acontecem no meio onde está armazenada. Seu monitoramento é um importante instrumento para a avaliação da sua qualidade e das condições ambientais de uma área, permitindo a verificação da ocorrência de alterações e, dimensionar a sua magnitude e, ainda, avaliar a eficácia de medidas preventivas ou corretivas adotadas. Com o objetivo de iniciar o monitoramento das águas subterrâneas do estado, o Projeto Águas de Minas implantou no norte do Estado na área das sub-bacias dos rios Verde Grande, Jequitai e Riachão, inseridas na Bacia do Rio São Francisco. Os resultados obtidos no primeiro ano de monitoramento que consistiu de 4 campanhas são apresentados nesse trabalho.

1 INTRODUÇÃO

A água subterrânea é um recurso natural de vital importância para o abastecimento de água potável nos meios rural e urbano, para o uso em atividades econômicas e para a manutenção de ecossistemas aquáticos e terrestres. A degradação da qualidade das águas superficiais e o desenvolvimento das técnicas de perfuração, que tornam o acesso à água subterrânea mais fácil e barato têm propiciado o incremento de sua utilização para os mais diferentes fins. Outro aspecto relevante na utilização desse recurso hídrico é que ele muitas vezes representa a única fonte de abastecimento em locais de baixa disponibilidade hídrica superficial ou quando o recurso superficial não pode ser disponibilizado de forma econômica (quer por distância da fonte ou pela baixa qualidade). Sendo assim, a proteção de sua qualidade deve ser uma preocupação, não só dos usuários como daqueles responsáveis pela gestão dos recursos hídricos e ambientais.

A Constituição Nacional determina que as águas subterrâneas são um bem dos Estados, sendo sua gestão de competência dos Estados e do Distrito Federal. Sendo assim, alguns estados brasileiros já elaboraram seu marco legal que trata exclusivamente da água subterrânea. Estas leis tratam não só de aspectos relacionados à quantidade como da qualidade dessas águas.

No estado de Minas Gerais, a Lei estadual 13.771 de 2000, dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado de Minas Gerais, determina em seu Capítulo II que o gerenciamento das águas subterrâneas compreende, dentre outras medidas, a avaliação quantitativa e qualitativa, o planejamento de seu aproveitamento racional e a adoção de medidas relativas à sua conservação, preservação e recuperação. De acordo com esta Lei, compete ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) desenvolver ações que promovam um gerenciamento eficaz das águas subterrâneas, dentre as quais está a proposição e a implantação de programas permanentes de conservação e proteção dos aquíferos visando o seu uso sustentável.

Neste contexto, foi implantada a primeira rede de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas em Minas Gerais. Localizada no norte do Estado e engloba as sub-bacias dos rios Verde Grande, Jequitai e Riachão, inseridas na Bacia do Rio São Francisco. Esta região é delimitada pelos paralelos 8.036.066 e 8.363.098 e os meridianos 588.368 e 690.555 e abrange uma área aproximada de 36.000 Km², contemplando 24 municípios. Trata-se de uma rede piloto, que tem por objetivo, além de levantar a condição de qualidade da água subterrânea na região, estabelecer metodologia dotar o IGAM de capacidade técnica para a implantação e operação de redes de monitoramento de água subterrânea nas demais regiões de estado.

1.1 Características da água subterrânea

A água subterrânea é aquela que ocorre abaixo da superfície do terreno e representa a fração da água do ciclo hidrológico que infiltra e percola através do solo e rochas, CARVALHO & PRANDINI. (1998).

1.2 Condições de Ocorrência

Ao considerar o ciclo hidrológico, a água condensada em forma de nuvens precipita e ao atingir o solo parte escoar superficialmente alcançando os rios, lagos e oceanos e parte infiltra no solo formando os lençóis subterrâneos.

A água que infiltra através do solo, por ação da força gravitacional, se movimenta verticalmente até atingir a zona saturada, onde seu movimento passa a ser preferencialmente horizontal, se movendo de pontos de maior potencial hidrostático para os de menor potencial. Essa zona por onde a água percola e que o solo não está totalmente preenchido água é denominada *zona vadosa ou zona de aeração*.

Durante o movimento descendente, parte retida no solo conferindo seu teor de umidade natural. O excedente continua a percolar através dos espaços vazios que encontram no solo e nas rochas até atingir a zona saturada. A única força que se opõe ao movimento da água na zona saturada é a força de adesão das moléculas de água às superfícies dos grãos ou das rochas por onde penetra. Na zona saturada a água se

movimenta bem lentamente, em regime de equilíbrio estático, até os pontos de descarga que podem ser nascentes, leito dos rios, poços e oceano PEDROSA & CAETANO (2002).

A figura 1 apresenta o perfil da distribuição vertical da água.

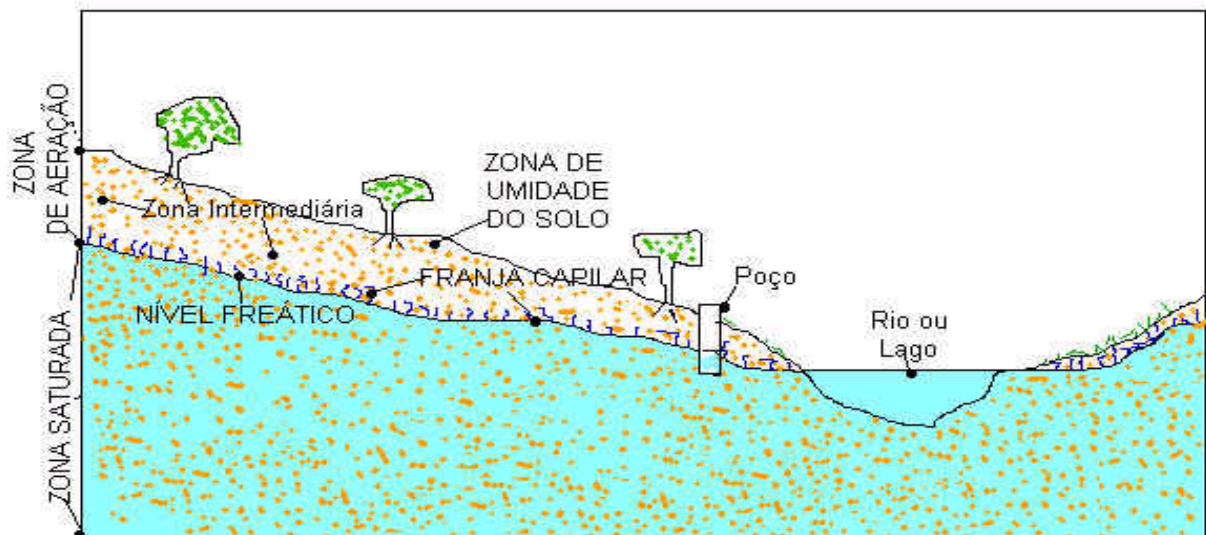


Figura 1: Perfil da distribuição vertical da água
Fonte: www.ana.gov.br

De acordo com Feitosa & Manuel Filho (2000), conforme a capacidade do material geológico de armazenar e permitir a circulação da água, eles podem ser classificados como:

- Aquífero – formações geológicas que armazenam água e permite que quantidades significativas dessa água circulem no seu interior em condições naturais. Exemplos: areias e arenitos.
- Aquíclode – formações geológicas capazes de armazenar quantidade significativa de água mas incapazes de permitir sua circulação em condições naturais. Exemplo: camadas de argila, formações impermeáveis.
- Aquitardo – formações geológicas semi permeáveis limitadas no topo ou base por camadas de permeabilidade muito maior. O aquitardo age como uma membrana semipermeável através da qual pode haver filtração vertical (drenança).
- Aquífugo – formações geológicas impermeáveis. Que nem armazenam nem permitem a circulação da água.

De acordo com as condições de pressão a que a água está sujeita no aquífero, esse pode ser classificado como:

- Aquífero livre ou freático - é aquele que cujo limite superior é uma superfície freática, em que todos os pontos se encontram sobre pressão atmosférica.
- Aquífero confinado – é aquele no qual a pressão de água no topo é maior que a pressão atmosférica

1.3 Características de Qualidade

A qualidade de água pode ser definida por uma faixa de variáveis que limita o seu uso pretendido. Pode ser descrita em termos de concentração e estado (dissolvido ou particulado) de alguns ou todos os materiais orgânicos e inorgânicos presentes na água, juntamente com algumas de suas características físicas, que podem ser levantados por meio de análises laboratoriais ou *in situ*.

A qualidade da água subterrânea pode variar em uma determinada área considerada. Ela depende da composição da água de recarga, da interação entre a água e o meio onde circula – solo, rocha, gases presentes na zona não saturada e do tempo de residência e reações que acontecem no meio onde está armazenada.

De acordo com Mestrinho (2006), os principais processos que determinam a composição da água em um determinado ponto do aquífero são:

- Dissolução de gases – é o processo responsável pela transferência de gases no solo e nas águas subterrâneas. Os processos de dissolução do gás carbônico (CO₂) e do oxigênio (O₂) são de particular importância. A dissolução do CO₂ promove o aumento da alcalinidade e a agressividade da água. Sua presença na água subterrânea tem origem diversa e sua concentração pode variar desde a superfície até as zonas mais profundas dos aquíferos. Suas fontes mais importantes estão relacionadas com as reações químicas e biológicas no solo,

como a oxidação da matéria orgânica na presença de microrganismos, a dissolução de bicarbonatos e os fenômenos de origem magmáticos e metamórficos das águas juvenis. O CO_2 predomina em águas mais ácidas, como algumas águas termais, vulcânicas ou contaminadas.

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) nas águas subterrâneas é baixa devido ao consumo de microrganismos e reações de oxidação de minerais de ferro, enxofre e magnésio. Em sistemas subterrâneos de circulação local, a infiltração de água meteórica, rica em oxigênio promove a criação de condições aeróbicas que podem alcançar grandes profundidades, já para aquíferos confinados de circulação profunda (intermediários e regionais) há predominância do ambiente anaeróbico;

- Reação de ácidos e bases – essas reações têm efeito significativo sobre os valores de pH. A água ácida ($\text{pH} < 5,7$) aumenta o ataque químico aos minerais e a mobilidade dos elementos nas zonas não saturada e saturada. Quando o pH é básico ($\text{pH} > 7$) há a precipitação de hidróxidos e diminuição da mobilidade dos elementos. A decomposição da matéria orgânica dos solos promove a formação de ácidos orgânicos que se dissociam em íons carbonato (COOH^-) e H^+ que podem diminuir o pH da água de infiltração. Por sua vez, a dissolução dos carbonatos, silicatos e alumiossilicatos são reações ácido-base que promovem o aumento da concentração de cátions, da alcalinidade e do pH das águas subterrâneas;
- Processos de sorção e troca iônica – Muitos minerais e substâncias orgânicas quando em contato com a água são capazes de interagir com a água e íons nela dissolvidos por processo de absorção, tanto física quanto química. Nesse processo, pode ocorrer a troca entre íons dos minerais e íons dissolvidos na água.

- Reação de dissolução/precipitação - o grau de solubilidade e a composição do mineral em contato com a água determinam quais são os íons que predominam nas águas subterrâneas. A capacidade de dissolução da água subterrânea aumenta com a presença de ácidos orgânicos ou inorgânicos, temperatura e tempo de residência da água no meio. Dependendo do tipo de íon presente na água, a solubilidade de uma substância pode diminuir pela presença de íons comuns, ou aumentar, com a força iônica da dissolução.

A precipitação ocorre pela saturação da solução com o soluto ou por oxidação e troca de pH e Eh do meio.

- Reação de oxi-redução - essas reações implicam na alteração do estado de oxidação de espécies químicas através da transferência de elétrons, com a troca de valência dos elementos químicos envolvidos. A espécie que ganha o elétron é o agente oxidante enquanto que, aquela que perde é o agente redutor. O balanço do número de elétrons transferidos se mantém constante. O processo de oxidação e redução depende do potencial de oxi-redução (redox) das espécies envolvidas e também do pH do meio.
- Processos biológicos - os microorganismos existentes na água promovem modificações nas características da água através da retirada de nutrientes dos sólidos dissolvidos ou em suspensão existentes bem como pela liberação de excrementos. Os processos biológicos promovem o aumento de concentração de sais solúveis e da quantidade de CO₂ existentes no solo, proporcionando a variação da qualidade da água de infiltração.

1.4 Condições de Poluição e Vulnerabilidade dos Aqüíferos

A poluição da água subterrânea pode se dar diretamente, quando a carga poluidora é lançada diretamente no corpo d'água ou indiretamente, quando o material depositado sobre o solo permite a lixiviação de substâncias contaminantes que

alcançam a zona saturada. Deve ser salientado que a condição de poluição da água subterrânea, quando não ocorre por injeção direta, irá refletir a condição de um solo contaminado.

O solo representa um ambiente natural de degradação de contaminantes por causa dos processos de degradação química e biológica a que estão submetidas as substâncias contaminantes durante a percolação pela zona vadosa. Essa condição faz com que o solo atue como um filtro natural que protege a água subterrânea. No entanto, essa proteção nem sempre é eficaz, principalmente quando o aquífero é do tipo livre e o nível d'água possui pouca profundidade ou quando as características do solo e do contaminante favorecem o transporte dos contaminantes ou de seus produtos de degradação.

Segundo Foster & Hirata (1988), o risco de contaminação da água subterrânea pode ser avaliado através da associação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante potencial existente. O conceito de vulnerabilidade natural indica o grau de suscetibilidade de um aquífero ao ser afetado por uma carga poluidora. Para a determinação da vulnerabilidade natural do aquífero, a metodologia desenvolvida por esses autores considera a interação de três fatores intrínsecos, sendo eles:

- A forma de ocorrência da água subterrânea (tipo de aquífero);
- Arcabouço litológico que sustenta o aquífero na zona não saturada, e;
- A profundidade do nível da água.

A interação destes fatores expressa a acessibilidade da zona saturada à penetração de poluentes e a capacidade do aquífero em atenuar a contaminação imposta. Apesar dos aquíferos apresentarem uma proteção natural contra poluição em função do solo sobreposto e das camadas confinantes, caso a água subterrânea seja contaminada, os custos e o tempo para a descontaminação são onerosos, ocorrendo em muitos casos, a inviabilidade do seu uso.

Em geral, quando se detecta poluição e/ou contaminação nas águas subterrâneas, necessita-se de um intenso trabalho de investigação para determinar a origem, que pode estar localizada nas imediações da área contaminada ou a quilômetros de distância.

1.5 O Monitoramento das Águas Subterrâneas – Um Aspecto da Sua Gestão

O monitoramento é um importante instrumento para a avaliação das condições ambientais de uma área e consiste essencialmente, em realizar medições e observações específicas dirigidas a alguns parâmetros e indicadores, com o objetivo de determinar a resposta do meio aos impactos a que está submetido, permitindo a verificação da ocorrência de alterações e, dimensionar a sua magnitude e, ainda, avaliar a eficácia de medidas preventivas ou corretivas adotadas, Carvalho & Prandini (1998)

De acordo com Meybeck *et all* (1996), a implementação de um programa de monitoramento da qualidade da água é baseada nas propriedades físicas, químicas e biológicas da água. No entanto, esse monitoramento é um processo de análise, interpretação e comunicação dessas propriedades dentro do contexto da atividade humana, uso e a conservação do ambiente natural. Não se trata de um processo rígido, deve ser adaptado às necessidades locais ou regionais. O objetivo final deve ser prover informação útil para a gestão tanto dos recursos hídricos, quanto ambiental.

O monitoramento e avaliações da qualidade da água podem ser conduzidos a partir de várias perspectivas que podem ser combinadas com os objetivos exemplificados abaixo de várias maneiras:

- Uso da Água – A água atende aos requisitos de uso em quantidade e qualidade;
- Influências na qualidade da água pelo seu uso direto ou por outras atividades humanas ou processos naturais - Quais são essas influencias?
- Impactos na qualidade da água (como meio de transporte de poluentes e de exposição)
- Controle e regulação a qualidade da água - Qual a capacidade da água de assimilar poluentes? Os padrões são conhecidos? As ações de gerenciamento e as estratégias de controle são apropriadas e eficazes?

- Como a qualidade da água se diferencia geograficamente em relação aos usos e influências de qualidade?
- Como as políticas, tendências e influências do passado contribuíram para o atual estado de qualidade das águas?

No caso das águas subterrâneas o monitoramento assume especial importância, uma vez que as alterações de qualidade como de quantidade que venham a ocorrer são geralmente fruto de processos lentos que ocorrem em sub-superfície não sendo, portanto facilmente percebidos e geralmente afetam grandes áreas.

O monitoramento dos aquíferos pode ser feito através de poços construídos especialmente para esse objetivo – poços de monitoramento, ou através de poços de produção de água.

O custo de construção de poços exclusivos para o monitoramento é geralmente elevado o que torna a implantação de uma rede elevada. Sendo assim, muitas vezes as redes de monitoramento são normalmente formadas por um conjunto de poços de monitoramento acoplados a poços de produção ou mesmo somente por poços de produção, como o caso da rede implantada pela CETESB para o monitoramento da qualidade de águas subterrâneas no estado de São Paulo.

De acordo com Tuinhof *et al* (2005), os sistemas e redes de monitoramento se classificam em três grupos principais, que não são mutuamente excludentes.

- *Sistemas Primários* - servem para detectar mudanças gerais no fluxo de água subterrânea e suas tendências de qualidade, têm o objetivo de se obter o conhecimento científico necessário para entender o comportamento do recurso.
- *Sistemas Secundários e Terciários* – servem para avaliar e controlar o impacto de riscos específicos da água subterrânea.

O primeiro tipo de sistema possui caráter regional, enquanto que o segundo e terceiro são de caráter mais local, indicando o monitoramento de proteção e contenção de contaminação, respectivamente. O quadro 1 apresenta a classificação dos sistemas de monitoramento segundo sua função.

Quadro 1 Classificação dos sistemas de monitoramento segundo sua função

Sistema	Função Básica	Localização dos Poços
Primário	Avaliação do comportamento geral da água subterrânea devido: <ul style="list-style-type: none">• A tendência resultante de modificação no uso do solo e variação climática• Os processos tais como recarga, fluxo e contaminação difusa.	Em zonas com hidrogeologia e uso do solo uniformes
Secundário	Proteção contra impactos potenciais em: <ul style="list-style-type: none">• Locais onde a água subterrânea seja um recurso estratégico• Campo de poços ou mananciais para abastecimento público• Infra-estrutura urbana pelo abatimento do solo• Afloramento do nível freático em sítios arqueológicos• Ecossistemas que dependem da água subterrânea	Em torno das zonas, instalações ou sítios que requerem proteção.
Terciárias	Alerta para o impacto na água subterrânea por: <ul style="list-style-type: none">• Uso intensivo do solo pela agricultura• Industria• Aterro sanitário e depósitos de resíduos não controlados• Zonas de recuperação de solos• Mineração	Gradiente imediatamente abaixo ou acima da situação que representa o perigo

Fonte – Requerimientos de Monitoreo del Agua Subterranea -Tuinhof *et al*

2 OBJETIVO

Com o objetivo de se implantar o monitoramento das águas subterrâneas no estado de Minas Gerais de forma a caracterizar qualitativamente os aquíferos e fornecer subsídios para a elaboração de planos de gestão de recursos hídricos e controle de atividades potencialmente poluidoras foi instalada a rede piloto de monitoramento das águas subterrâneas do estado pelo Projeto Águas de Minas, que amplia assim, seu campo de atuação no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos do estado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da área

A região do semi-árido mineiro, onde o uso das águas subterrâneas, explorada por meio de poços tubulares profundos, possui grande importância para a população devido a pouca disponibilidade hídrica superficial, aliada ao pouco número de outorgas existentes foi selecionada para a implantação dessa rede piloto.

Neste contexto, a primeira rede de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas em Minas Gerais foi implantada no norte do Estado (Figura 01), engloba as sub-bacias dos rios Verde Grande, Jequitaí e Riachão, inseridas na Bacia do Rio São Francisco.

Esta região é delimitada pelos paralelos 8036066 e 8363098 e meridianos 588368 e 690555 e abrange uma área aproximada de 36.000 Km², contemplando 24 municípios. A relação de municípios por sub-bacia é apresentada na tabela 01.

A rede de monitoramento piloto insere-se no âmbito do Programa de Revitalização de Bacias Hidrográficas em Situação de Vulnerabilidade Ambiental no São Francisco. Recebe apoio do convênio firmado entre a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF e o Instituto Mineiro de Gestão Das Águas – IGAM.



Figura 2 - Localização da rede de monitoramento piloto

Tabela 1 - Relação de municípios inseridos na rede de monitoramento piloto por sub-bacia.

Sub-bacia	Área (Km ²)	Município
Verde Grande	27.040	Capitão Enéas, Espinosa, Francisco Sá, Gameleiras, Jaíba, Janaúba, Matias Cardoso, Monte Azul, Montes Claros, Pai Pedro, São João da Ponte, Serranópolis de Minas, Varzelândia e Verdelândia.
Jequitaí	8.694	Bocaiúva, Claro dos Poções, Engenheiro Navarro, Francisco Dumont, Jequitai, Joaquim Felício, Lagoa dos Patos e São João da Lagoa.
Riachão	1.122	Coração de Jesus e Mirabela.

3.2 Caracterização Hidrogeológica da Área

Na bacia do São Francisco em Minas Gerais são individualizados quatro domínios hidrogeológicos (Mourão *et al.*, 2001) baseados nos aspectos litoestruturais e no tipo de permeabilidade das rochas, sendo eles:

- Aqüíferos Granulares – compreende litótipos com permeabilidade primária, ou seja, cujo armazenamento das águas ocorrem nos espaços intergranulares;
- Sistema Aqüífero Cárstico – caracterizado por tipos rochosos em que a permeabilidade depende da dissolução dos carbonatos;
- Sistema Aqüífero Fissurado-Cárstico – engloba pacotes rochosos nos quais se verifica a mistura ou alternância de frações argilo-siltosas e carbonáticas;
- Sistema Aqüífero Fissurado – abrange as rochas cuja presença de água está associada a planos de descontinuidade como fraturas, falhas e foliação.

Os tipos litológicos relacionados aos sistemas aqüíferos são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 : tipos litológicos relacionados aos sistemas aquíferos

Unidade Hidrogeológica	Unidade Geológica	Litótipo
Aquíferos Granulares	Depósitos aluvionares	Areias, siltes, argilas e cascalhos.
	Coberturas detríticas	Eluviões e coluviões.
	Grupos Urucuia, Mata da Corda e Areado	Arenitos bem selecionados, conglomerados monomíticos, rochas piroclásticas, e subordinadamente, derrames, siltitos, argilitos e folhelhos.
Aquíferos Fissurado-Cárstico	Grupo Bambuí	Margas, siltitos, ardósias, com intercalações de calcário associadas à fácies pelito-carbonatadas.
Aquíferos Cárstico	Grupo Bambuí	Calcários e dolomitos.
Aquífero Fissurado	Grupo Macaúbas, Supergrupo Espinhaço e Complexo Porteirinha.	Metapelitos, metassiltitos, metaconglomerados, quartzitos, granitóides, gnaisses e metamáficas.

Fonte: Mourão e Filho 2002 (modificado)

Na região compreendida pelas sub-bacias dos rios Verde Grande, Jequitaí e Riachão os sistemas cárstico e fissurado-cárstico são os mais expressivos, ocupando toda a parte central da área. Recobrimo parcialmente estes domínios tem-se o sistema granular, especialmente presente na porção oeste da área. Já o sistema fissurado possui ocorrência restrita, limitando-se as porções leste e sul da área.

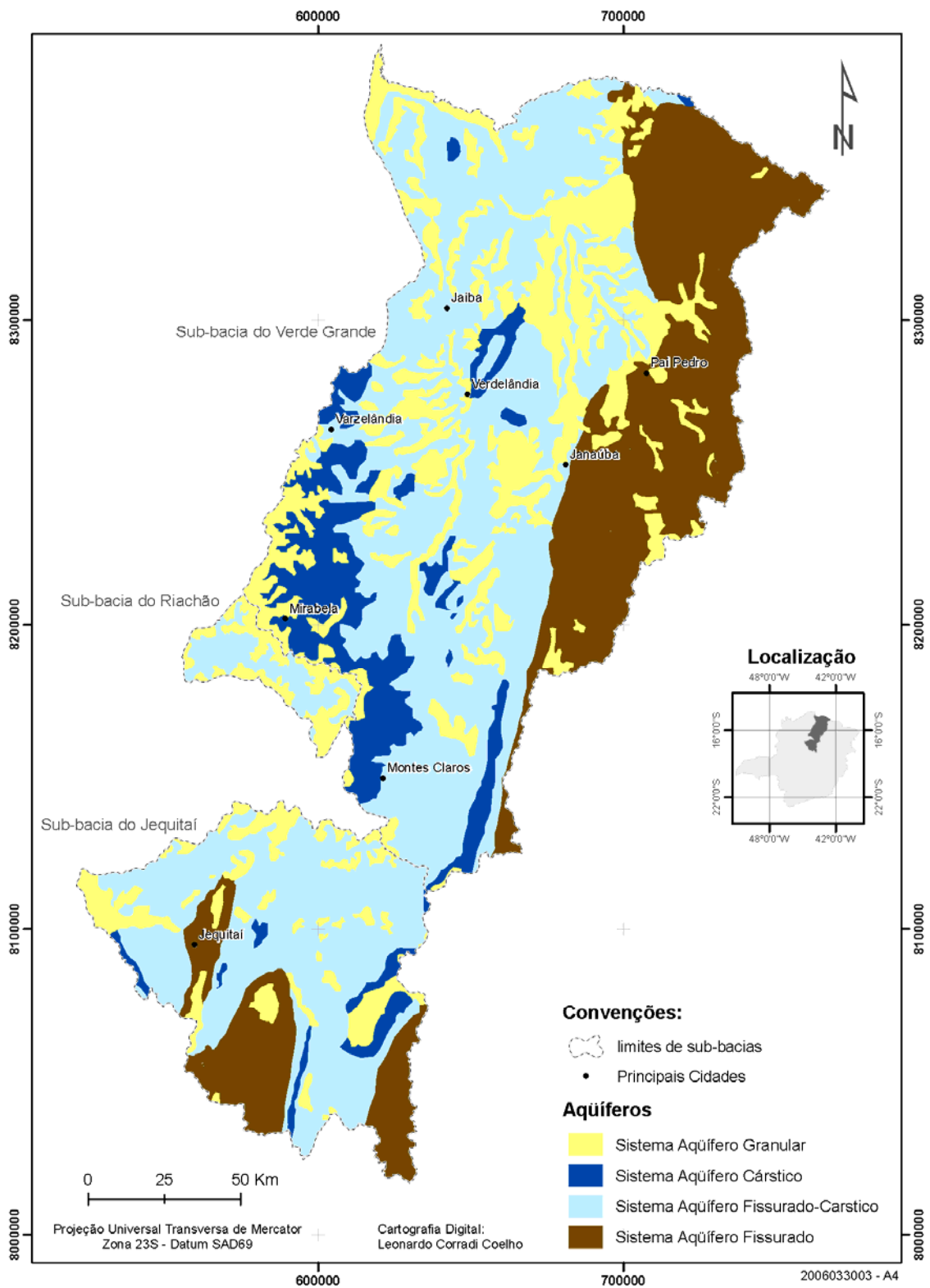


Figura 3 Figura do mapa hidrogeológico

A seguir são descritos os principais sistemas aquíferos que ocorrem na área da rede de monitoramento piloto.

3.2.1 Sistema Aquífero Granular

É representado por sedimentos e coberturas detríticas do Terciário/Quaternário e por rochas sedimentares de idade cretácica.

Aquíferos em Sedimentos Aluviais

Os depósitos aluviais são gerados pela ação dos rios ou de demais formas de escoamento superficial sendo encontrados ao longo das drenagens, canais fluviais, planícies ou terraços de inundação.

As maiores extensões destes depósitos relacionam-se aos afluentes da margem esquerda do Rio São Francisco refletindo o contexto geológico, onde predominam sedimentos clásticos e arenitos (Mourão Filho *et al.*, 2001). Quando associados a pelitos e calcário, os depósitos são, em geral, pouco espessos e caracterizados por porções siltosas e argilosas. Em regiões de predomínio de carbonatos são freqüentes ocorrências de calcrete.

A espessura varia de entre 5 a 10m, podendo alcançar 30m (RuralMinas 1990a *in* Mourão Filho *et al.*, 2001). A condutividade hidráulica varia de 0,28 a 23m/dia para depósitos de granulometria areia fina a muito grossa e 0,02 a 0,11m/dia para níveis silteosos. Em virtude de níveis potenciométricos rasos, porosidade e permeabilidade elevadas e facilidades de escavação, os depósitos aluvionares despertam grande interesse quanto a exploração de água.

Aquíferos Colúvio-Eluviais

Englobam unidades aquíferas superficiais relacionadas ao manto de decomposição das rochas e aos depósitos detríticos. Os mantos de alteração constituem aquíferos potencialmente fracos, mas importantes no processo de recarga.

Os depósitos detríticos ocorrem em cotas de 400 a 600m no vale do Rio Verde Grande e possuem predominantemente granulometria silto-argilosa, podendo apresentar níveis arenosos e depósitos de cascalheiras. Em geral, não ultrapassa 10m de espessura (Mourão Filho *et al.*, 2001). A recarga processa-se essencialmente por águas pluviais. O potencial de produção é pequeno devido a

dimensões normalmente restritas a zona saturada. A capacidade específica varia de 0,009 a $4,2\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$.

Aqüíferos Areníticos

Abrangem as rochas areníticas dos grupos Urucuia, Mata da Corda e Areado, que ocorrem como superfícies tabulares. A espessura média deste pacote é de aproximadamente 160m, atingindo no máximo 300m. A baixa densidade de drenagens superficiais reflete valores elevados de permeabilidade e de coeficientes de infiltração (Mourão Filho *et al.*, 2001).

A porosidade está em torno de 0,10 e a transmissividade média é da ordem de $58\text{m}^2/\text{dia}$ (Cetec, 1981 *in* Mourão Filho *et al.*, 2001). A capacidade específica média é de $2,09\text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$. Os valores dos parâmetros hidráulicos indicam um potencial hidrogeológico médio.

A recarga se faz por infiltração de água meteórica nas regiões de afloramento ou por meio do aquífero sobrejacente (depósitos terciário-quadernário). As áreas de descargas situam-se no sopé das elevações, junto ao contato com o substrato impermeável do Grupo Bambuí.

Caracterização físico-química das águas do Sistema Aquífero Granular

Os aquíferos granulares são, em geral, pouco mineralizados devido ao reduzido tempo de contato da água com meio percolado. As águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas (Mourão Filho *et al.*, 2001).

Os aquíferos colúvio-eluviais e aluviais apresentam maior concentração em sais dissolvidos comparativamente ao aquífero arenítico. Os valores mais elevados associam-se aos mantos de alteração das rochas, onde o processo de lixiviação de minerais configura aporte significativo de sais à água (Mourão Filho *et al.*, 2001). Os aquíferos colúvio-eluviais e aluviais apresentam valores médios de condutividade elétrica em torno de $160\mu\text{S}/\text{cm}$, pH 7 e dureza total em torno de $55,0\text{mg}/\text{l CaCO}_3$. No aquífero arenítico a condutividade elétrica média é $82,0\mu\text{S}/\text{cm}$, pH 6,75 e dureza total em torno de $43,0\text{mg}/\text{l CaCO}_3$. Localmente, o valor de pH pode ser superior a 7 devido à presença de camadas de cimentos calcítico nos arenitos.

3.2.2 Sistema Aquífero Fissurado-Cárstico

Este sistema possui ampla área de ocorrência e agrega as unidades constituídas por intercalações de rochas pelíticas e carbonáticas representadas por margas, siltitos e ardósias com níveis de calcário ou dolomito. Compreende a fácies pelito-carbonatadas do Grupo Bambuí (Mourão Filho *et al.*, 2001).

Os sedimentos localizados nas bordas do Cráton e faixas móveis apresentam feições estruturais marcadas por falhas e dobras, contrastando com o restante da área que se mostra praticamente indeformada. O maior potencial hidrogeológico ocorre nas porções tectonizadas e em locais com ocorrência de espessas camadas carbonáticas.

Este sistema aquífero exibe comportamento hidráulico variado em função do litótipo e do contexto estrutural. Em regiões deformadas apresenta características hidrodinâmicas típicas de um sistema fissurado, enquanto que em regiões com espessas camadas de calcário o comportamento é típico de um sistema cárstico. Características intermediárias aos dois sistemas também coexistem.

A recarga pode ser direta por infiltração de água meteórica em áreas de afloramento, por drenagens estruturalmente conectadas com o sistema subterrâneo e ainda por drenança dos sistemas granulares sobrejacentes. A transmissividade varia de 2,3 a 506 m²/dia, com média de 109 m²/dia. A capacidade específica média é de 2,23m³/h*m (Mourão Filho *et al.*, 2001).

Caracterização físico-química das águas do Sistema Fissurado-Cárstico

As águas apresentam composição físico-química intermediária entre tipos característicos de aquíferos cársticos e de rochas pelíticas, sendo bicarbonatadas magnesianas, bicarbonatadas sódicas e mistas. São menos mineralizadas que as do sistema cárstico, como indica a média de condutividade elétrica, 427 µS/cm. Em média, o pH é 8,00 (Mourão Filho *et al.*, 2001). Localmente foi descrita a ocorrência de flúor acima dos padrões de potabilidade em poços que exploram o sistema aquífero Bambuí (Dias & Bragança, 2004). A sua origem foi atribuída à dissolução do mineral fluorita presente nos calcários (Menegasse *et al.*, 2004).

3.2.3 Sistema Aquífero Cárstico

Nos aquíferos cársticos predominam rochas carbonáticas de idade Pré-Cambriana pertencentes ao Grupo Bambuí, Formações Lagoa do Jacaré, Serra de Santa Helena e Sete Lagoas.

Os calcários possuem ampla área de ocorrência na região das sub-bacias dos rios Verde Grande, Jequitai e Riachão e ocorrem, em geral, sob a forma de planos horizontalizados. Nestas rochas a porosidade é secundária e resulta da dissolução de superfícies de descontinuidades tais como fraturas, planos de acamamento e falhas formando canais de circulação interna. As feições de dissolução são mais intensas onde as camadas de calcário exibem espessuras significativas.

A recarga do sistema cárstico apresenta maior eficiência em áreas de afloramento, em locais onde ocorre drenança a partir dos aquíferos granulares sobrepostos e em pontos de aporte de dos cursos d'água superficiais.

Os níveis de base são os rios de maior porte, que mostram, em alguns trechos, situações de efluência (restituição ao aquífero) ou influência (perda para o aquífero) como observado ao longo do Rio Verde Grande e alguns de seus afluentes na região de Montes Claros (Mourão Filho *et al.*, 2001).

Os aquíferos carbonáticos apresentam maior capacidade de produção em relação aos demais aquíferos da região. Fornece boas vazões onde o processo de carstificação é mais intenso, como observado na região do município de Jaíba. Os parâmetros hidrodinâmicos exibem ampla variação refletindo a heterogeneidade de comportamento dos aquíferos carbonáticos. Neste contexto, a transmissividade varia de 233 a 7700m²/dia e a capacidade específica média é de 12,7 m³/h*m (Mourão Filho *et al.*, 2001).

Caracterização físico-química das águas do Sistema Cárstico

Os processo de dissolução de carbonatos resulta em concentrações elevadas de sólidos dissolvidos e dureza, levando localmente a restrições quanto ao uso das águas subterrâneas.

As águas são predominantemente do tipo bicarbonatadas cálcicas e apresentam caráter levemente alcalino, indicado pelo pH médio de 7,8 podendo chegar a 9,0. A média de condutividade elétrica é 463 µS/cm, variando de 420 a 2.336 µS/cm. A

média da alcalinidade é 210,4 mg/L e a dureza total é elevada, com média de 219,7 mg/L. Esses valores refletem a interação entre água e rochas calcárias, Ramos & Paixão (2003).

3.2.4 Sistema Aquífero Fissurado

Representa o sistema em que a porosidade está relacionada à presença de fraturas, falhas, fendas e diáclases geradas por processos tectônicos de natureza rúptil e rúptil-dúctil, resultando em um meio aquífero heterogêneo e anisotrópico.

Em função da diversidade litológica que implica em características hidrodinâmicas e hidroquímicas distintas este sistema aquífero foi subdividido nas unidades de rochas metapelíticas e xistosas, quartzíticas, ígneas e metamórficas de alto grau.

Este sistema aquífero ocorre na porção extremo oriental da bacia do Rio Verde Grande.

Aquíferos em rochas metapelíticas e xistosas

Incluem metapelitos e xistos relacionados aos Grupos Bambuí e Supergrupo Espinhaço, sendo também incluídos tilitos e metadiamicictitos das de matriz pelítica da Formação Jequitai e Grupo Macaúbas.

Os litótipos finos (ardósias, siltitos, sericita-xistos) exibem conseqüentemente planos de descontinuidades estreitos e sem conexão hidráulica em profundidade dificultando o armazenamento e circulação da água subterrânea. Já litótipos como os micaxistos apresentam maior potencial a exploração em função da xistosidade.

A recarga ocorre principalmente por fluxo vertical descendente de unidades granulares descendentes. A transmissividade varia de 0,86 a 846 m²/dia (Cetec, 1984 *in* Mourão Filho *et al.*, 2001) e a capacidade específica é mais baixa (0,85 m³/h*m) comparativamente às demais unidades, exceto com a unidade de rochas ígneas e metamórficas.

Aquíferos em rochas quartzíticas

Constituído por quartzitos, metarenitos e metaconglomerados associados ao Grupo Bambuí e ao Supergrupo Espinhaço. As rochas quartzíticas destacam-se no relevo e sustentam serras como a Espinhaço e Tombador. A fisiografia é caracterizada por

planaltos, com pouca ou nenhuma cobertura detrítica, em que se destaca o os quartzitos densamente fraturados.

A recarga pode ser direta pelos sistemas de fraturas, por infiltração pelo manto de intemperismo ou por drenança de sistemas granulares sobrepostos.

Aqüíferos em rochas Ígneas e Metamórficas

Compreendem granitóides e gnaisses do Complexo Porteirinha, além de rochas básicas. O relevo é caracterizado por colinas suaves. Esta unidade apresenta grande variabilidade de parâmetros hidrodinâmicos em função de tipos rochosos distintos.

De modo geral, os litotipos mais antigos apresentam rede mais densa de descontinuidade em função de sucessivos eventos tectono-metamórficos resultando em um maior potencial hidrogeológico (Mourão Filho *et al.*, 2001). As rochas intrusivas tardi a pós-tectônicas exibem menor capacidade de produção, funcionando localmente como barreiras hidráulicas.

A recarga pode ocorrer por drenança a partir do manto de intemperismo. A transmissividade média é de 25 m²/dia e a capacidade específica varia de 0,001 a 8,0 m³/h*m (Mourão Filho *et al.*, 2001).

Caracterização físico-química das águas do Sistema Fissurado

Os aqüíferos em rochas metapelíticas e xistosas apresentam teores elevados em sólidos totais dissolvidos e dureza relacionados à constituição litológica, baixa velocidade de circulação e conseqüentemente maior tempo de contato água/rocha (Mourão Filho *et al.*, 2001). Com relação ao tipo predominam águas bicarbonatadas cálcicas. A condutividade elétrica média é 311,5 µS/cm, dureza apresenta valor médio de 138,6mg/l e o pH médio é 7,5 (Mourão Filho *et al.*, 2001).

Nos aqüíferos em rochas quartzíticas, a composição físico-química das águas apresenta grande variabilidade em função de diferentes unidades geológicas. Os quartzitos do Supergrupo Espinhaço são, em geral, puros contendo pequena proporção em micas e óxidos, conseqüentemente os valores de condutividade elétrica e dureza total são muito baixos. As águas são predominantemente bicarbonatadas cálcio-magnesianas e o pH médio é 7,3.

A composição das águas do aquífero em rochas ígneas e metamórficas sofre forte influência do fator climático dado pelo baixo índice pluviométrico e déficit hídrico significativo. Neste contexto, a condutividade elétrica média é de 701 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a dureza média é 362mg/l e o cloreto apresenta média de 181,3mg/l. Estas concentrações elevadas têm origem na lixiviação dos sais e concentradas pela elevadas taxas de evapotranspiração.

3.3 Fontes de Poluição e Condições de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas

Nas sub-bacias dos rios Verde Grande, Riachão e Jequitaí as fontes potenciais de poluição e/ou contaminação estão associadas, em geral, às atividades urbanas, industriais e agrícolas.

Nesta região já se configuram conflitos de uso das águas devido à baixa disponibilidade hídrica superficial. Portanto, o intenso uso das águas subterrâneas em atividades como a irrigação potencializa os riscos de contaminação por agrotóxicos, tendo em vista a vulnerabilidade natural de sistemas aquíferos cársticos, principal aquífero da área.

Na identificação das fontes potenciais de poluição é essencial distinguir as fontes pontuais, de mais fácil constatação, e as fontes difusas de caráter menos evidente, em função das medidas e controle a serem adotados.

Os contaminantes podem ser classificados em biodegradáveis ou persistentes e móveis. A capacidade de depuração e atenuação dos processos de contaminação estão relacionados à natureza dos materiais da zona de acesso do aquífero e às distâncias, velocidades de transporte e tempos de trânsito, além dos processos físico-químicos e biológicos durante o percurso subterrâneo, Macedo (2002).

No caso de contaminação microbiológica, a atenuação e autodepuração atuam de forma mais efetiva na medida que o fluxo subterrâneo atravessa camadas semiconfinantes de natureza argilosa, limitando a extensão da contaminação. Estima-se um tempo de trânsito da ordem de 50 a 100 dias ou uma distância de 50 a 100 metros, para que ocorra a depuração natural do meio aquífero para este tipo de contaminante, Macedo (2002).

Em contaminantes persistentes e móveis o maior distanciamento permitirá tempos de trânsito maiores e conseqüente degradação. Portanto na análise dos impactos de contaminação em determinada área as distâncias e tempos de trânsito dos agentes poluidores representam fatores bastante significativos.

3.4 O Uso da Água Subterrânea na Área de Abrangência da Rede Piloto

O estado de Minas Gerais possui 7164 emitidas para o uso de água subterrânea (banco de dados IGAM 2/2/2007), a região de abrangência da rede piloto de monitoramento de água subterrânea possui 909 outorgas emitidas, o que corresponde a 12,7% do total de outorgas emitidas no estado. A vazão outorgada total de água subterrânea no estado é de $196,9 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$, a vazão outorgada na área em questão é $84 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$, o que representa cerca de 32% da vazão total outorgada.

No entanto, apesar de significativos, esses dados não refletem o real uso das águas subterrâneas na região, o que deverá exigir do órgão gestor um grande trabalho de fiscalização e cadastramento das captações existentes que estão fora do sistema legal do estado.

Considerando os diferentes tipos de uso da água subterrânea na área considerada pode-se verificar que, o principal uso da água subterrânea, em termos de número de outorgas emitidas, é a irrigação que representa quase 60% das outorgas emitidas e 47% da vazão outorgada. O abastecimento público representa o segundo uso em termos de número de outorgas emitidas, enquanto que em termos de vazão outorgada representa apenas 5%. Outro uso expressivo verificado para a região é o industrial, que corresponde a 18% das outorgas emitidas e 46% da vazão outorgada.

Os gráficos 1 e 2 apresentam a distribuição do número e da vazão outorgada de acordo com os usos.

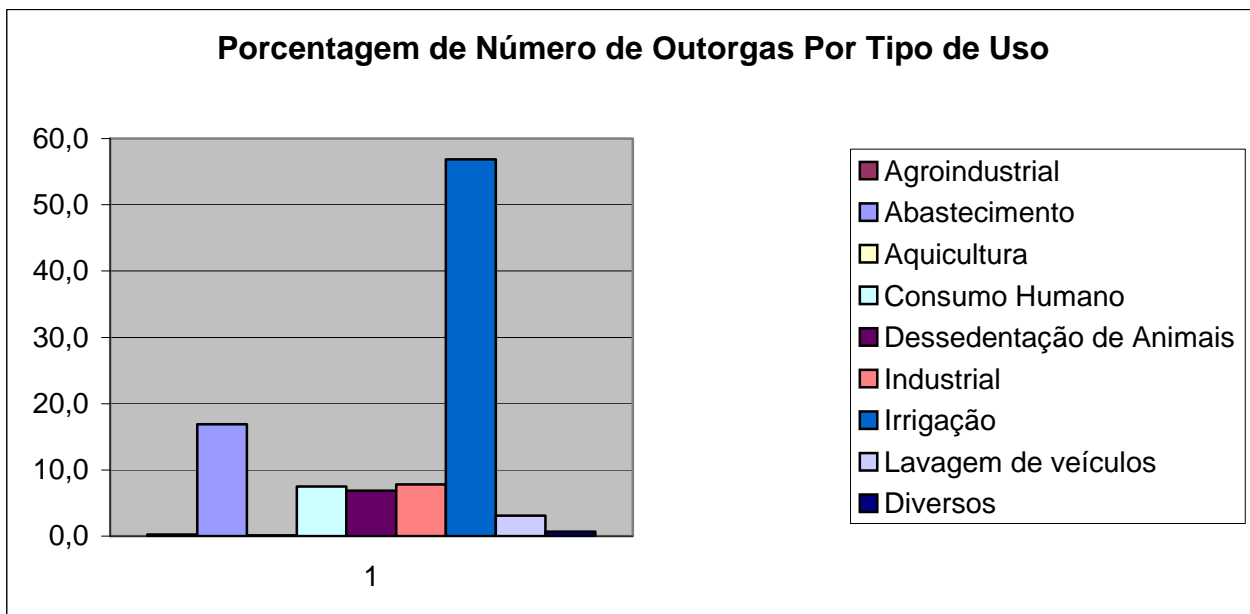


Gráfico 1: Porcentagem de outorgas por tipo de uso

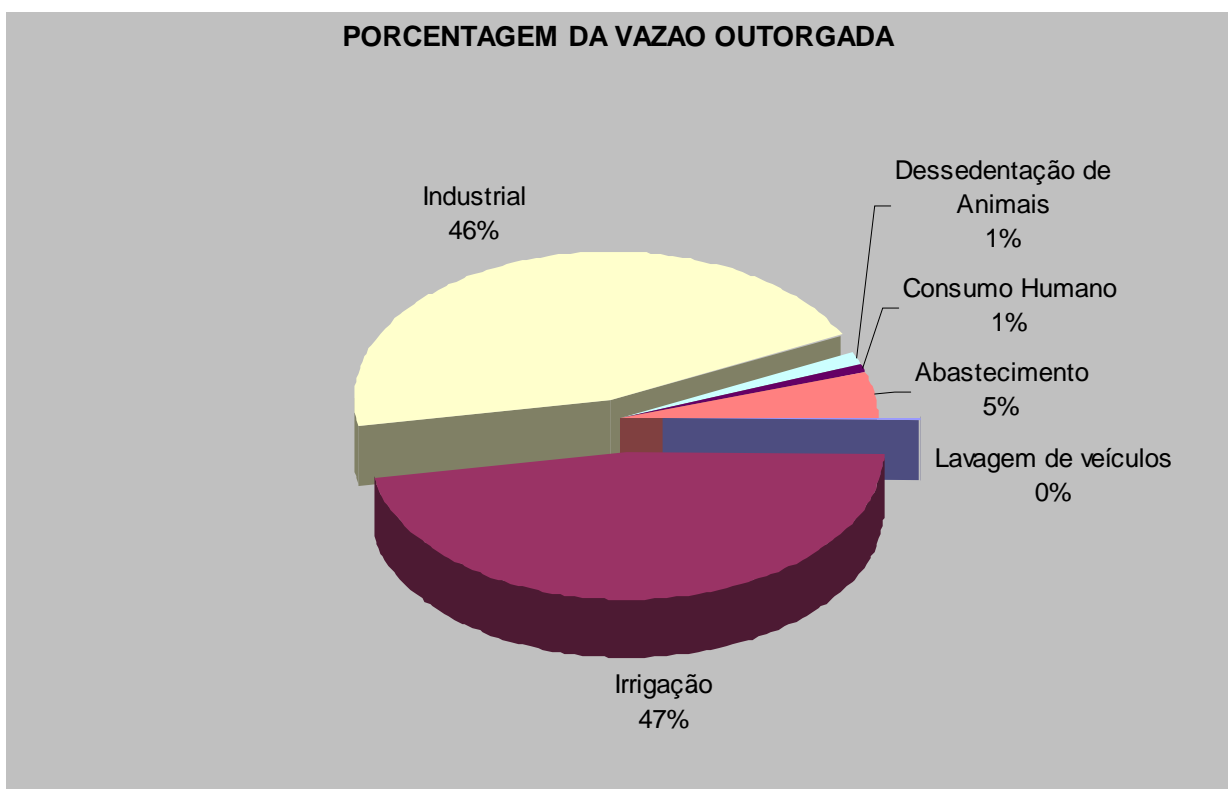


Gráfico 2: Porcentagem de vazão outorgada por tipo de uso

3.5 Caracterização da Rede de Monitoramento

A rede de monitoramento de águas subterrâneas é constituída de 39 poços tubulares profundos sendo que destes, 27 são utilizados para abastecimento público e 12 para fins particulares.

Inicialmente foram pré-selecionados poços tubulares outorgados no IGAM, entretanto os dados disponíveis eram insuficientes para a configuração da rede. Desta forma, o cadastro inicial foi acrescido de dados obtidos junto à CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) e CODEVASF. Estes dados foram lançados no sistema de georreferenciamento do IGAM, tendo sido traçada uma malha regular de 20 x 20km abrangendo toda a área de estudo, a partir da qual buscou-se selecionar ao menos um poço por quadrícula.

Posteriormente foram realizadas etapas de campo objetivando a caracterização dos poços selecionados, a verificação das condições ambientais e das possibilidades de amostragem. Durante as etapas de campo também foram cadastrados novos poços que passaram a integrar o banco de dados existente.

Utilizando todas as informações disponíveis, procedeu-se à seleção dos poços, observando os seguintes critérios:

- ***Poços utilizados para abastecimento público***

Estes poços foram priorizados em função da intensa exploração e da importância do conhecimento da qualidade das águas subterrâneas.

- ***Abrangência da área de estudo***

Para uma ampla caracterização da qualidade das águas subterrâneas foram escolhidos poços localizados em 25 municípios, cobrindo toda a área do projeto.

- ***Condições de amostragem***

Foram priorizados poços que possibilitassem a amostragem direta ou nas imediações destes.

- ***Vulnerabilidade***

Procurou-se representar condições variáveis de vulnerabilidade a contaminação dos aquíferos. Sendo assim, foram selecionados poços com condições construtivas

precárias e os localizados em áreas agrícolas passíveis de contaminação devido ao uso de agrotóxicos, fertilizantes e pesticidas. Além desses, selecionou-se também poços localizados em áreas com pouca interferência antrópica, de baixa vulnerabilidade, que permitissem a avaliação das condições físico-químicas naturais dos aquíferos.

- ***Geologia***

A composição da água subterrânea depende do contexto geológico local. Desta forma, foram escolhidos poços que pudessem representar e abranger as diferentes litológicas existentes na área.

- ***Documentação disponível***

A análise dos documentos relativos aos poços da rede de monitoramento é de essencial importância para o programa, visto que informações a respeito do perfil litológico e dados construtivos destes poços possibilitam a melhor compreensão da natureza dos aquíferos e da dinâmica das águas subterrâneas. No entanto, a maioria dos poços selecionados não dispõe de informações geológicas e/ou construtivas ou quando estas existem são incompletas.

A caracterização e localização dos poços tubulares que integram a rede de monitoramento são apresentadas, respectivamente, na tabela 3 e figura 2.

Com o auxílio de mapas geológicos e dos raros perfis construtivo-litológicos disponíveis, verificou-se que a maior parte dos poços captam água das rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí, sendo que 33% representam o aquífero cárstico e 39% o fissurado-cárstico. Os aquíferos fissurados, dentre os quais destacam-se aqueles relacionados ao Complexo Porteirinha, ao Grupo Macaúbas e ao Sg Espinhaço, somam 22% dos poços. O restante, 6%, inclui os aquíferos granulares e poços mistos. é pertinente observar que estes percentuais refletem a representatividade areal dos diversos sistemas aquíferos presentes nas sub-bacias estudadas.

Tabela 3: Relação dos pontos formadores da rede de monitoramento.

Código	Município	UTMx	UTMy	Bacia Hidrográfica	Prof (m)	Uso Água
1	Bocaiúva	627415	8109613	Rio Jequitaiá	96	Industrial
2	Bocaiúva	612687	8067529	Rio Jequitaiá		Consumo humano
3	Capitão Enéas	651091	8219830	Rio Verde Grande	80	Abastecimento público
4	Coração de Jesus	576317	8184971	Rio Riachão	60	Abastecimento público
5	Coração de Jesus	564099	8184072	Rio Riachão	72	Abastecimento público
6	Engenheiro Navarro	608770	8091241	Rio Jequitaiá	66	Abastecimento público
8	Espinosa	690555	8363098	Rio Verde Grande	66	Abastecimento público
10	Francisco Dumont	566339	8070155	Rio Jequitaiá	60	Abastecimento público
14	Francisco Sá	692207	8207296	Rio Verde Grande	80	Abastecimento público
15	Gameleiras	699225	8335912	Rio Verde Grande		Abastecimento público
18	Janaúba	678300	8298346	Rio Verde Grande		Abastecimento público
19	Janaúba	683096	8249539	Rio Verde Grande		Lavagem de veículos
20	Janaúba	654342	8253743	Rio Verde Grande	71,5	Irrigação de banana, consumo humano
21	Jequitaiá	572701	8099327	Rio Jequitaiá	90	Abastecimento público
23	Joaquim Felício	588368	8036066	Rio Jequitaiá	89	Abastecimento público
24	Joaquim Felício	597345	8049957	Rio Jequitaiá	120-130	Abastecimento público
25	Juramento	644243	8149024	Rio Verde Grande	47	Abastecimento público
26	Lagoa dos Patos	544546	8122536	Rio Jequitaiá	190,7	Abastecimento público
27	Matias Cardoso	634481	8352067	Rio Verde Grande	93	Abastecimento público
30	Montes Claros	632757	8177519	Rio Verde Grande	100	Irrigação
33	Montes Claros	598804	8130507	Rio Jequitaiá	120	Abastecimento público
34	Montes Claros	606156	8180687	Rio Riachão	48	Abastecimento público
35	Pai Pedro	707795	8275213	Rio Verde Grande		Abastecimento público
36	São João da Lagoa	572146	8129260	Rio Jequitaiá	66	Abastecimento público
37	São João da Ponte	606345	8246944	Rio Jequitaiá	50	Abastecimento público
NR4-1	Monte Azul	703453	8314317	Rio Verde Grande	~45	Abastecimento público
NR4-11	Varzelândia	600123	8258280	Rio Verde Grande		Abastecimento público
NR4-12	Mirabela	576384	8195639	Rio Riachão		Abastecimento público
NR4-13	Jequitaiá	561337	8097928	Rio Jequitaiá		Abastecimento público
NR4-14	Bocaiúva	609726	8067798	Rio Jequitaiá	80	Dessedentação animal, consumo humano e irrigação
NR4-15	Bocaiúva	611273	8071494	Rio Jequitaiá	48	Irrigação, dessedentação animal, agroindustrial e consumo humano
NR4-2	Matias Cardoso	661166	8349854	Rio Verde Grande		Abastecimento público
NR4-3	Jaíba	634386	8299589	Rio Verde Grande	~60	Irrigação de banana
NR4-4	Jaíba	637510	8298307	Rio Verde Grande	60	Irrigação de banana
NR4-5	Jaíba	638708	8304173	Rio Verde Grande	88	Irrigação de banana, feijão e consumo humano
NR4-6	Verdelândia	644741	8287815	Rio Verde Grande		Abastecimento público
NR4-7	Serranópolis de Minas	723204	8240411	Rio Verde Grande		Abastecimento público
NR4-8	Montes Claros	618620	8153085	Rio Verde Grande	160	Industrial
NR4-9	Francisco Sá	645384	8195873	Rio Verde Grande	~70	Consumo humano

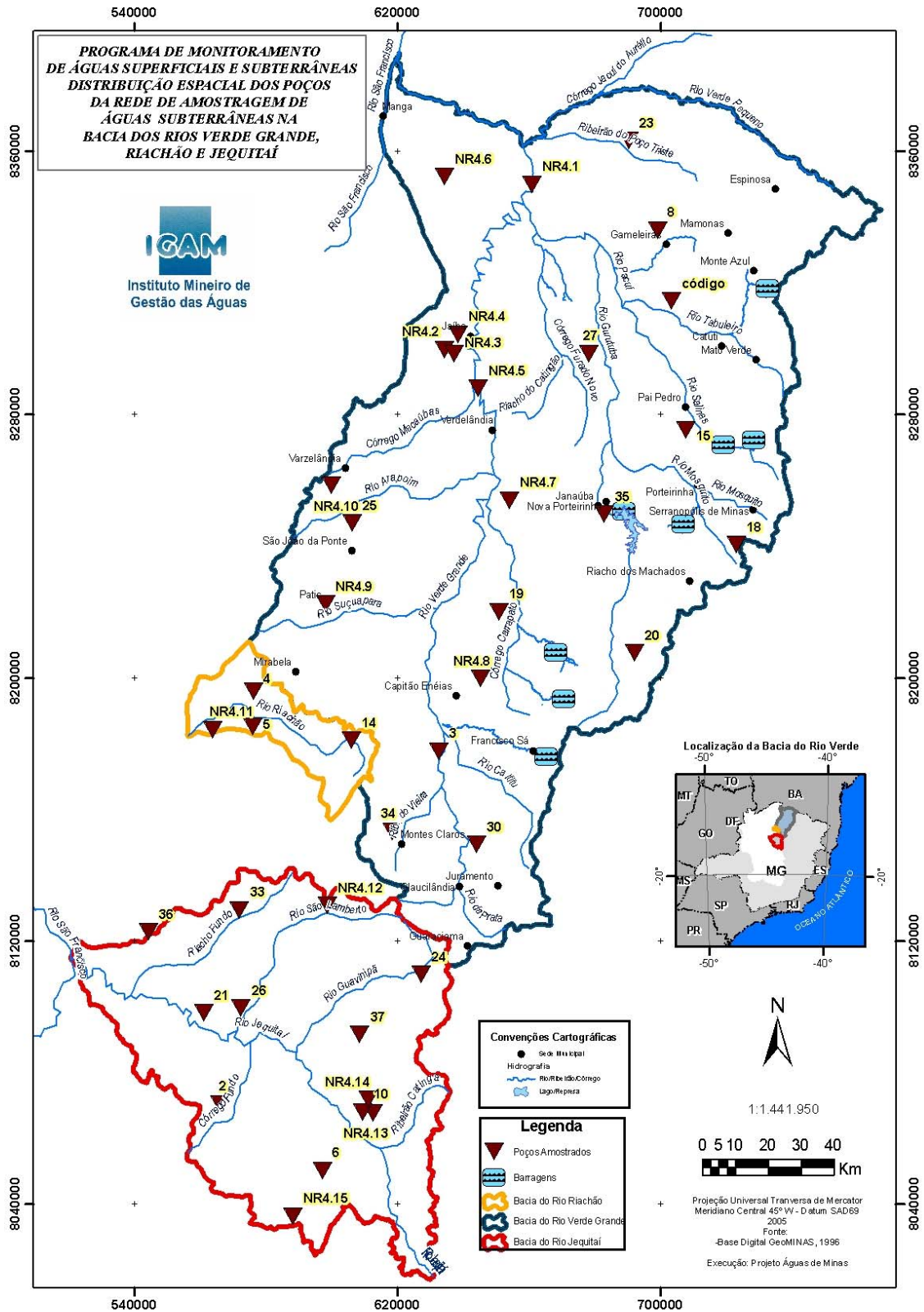


Figura 4 : Mapa de localização da rede de monitoramento nas -bacias dos rios Verde Grande, Jequitai e Pacui

3.6 Parâmetros Monitorados

As características qualitativas das águas subterrâneas são obtidas por meio da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Os parâmetros monitorados neste projeto foram selecionados tendo em vista a caracterização físico-química das águas subterrâneas e a verificação da qualidade em função dos principais usos a que estas são destinadas: abastecimento público e irrigação. Foram ainda selecionados parâmetros que propiciassem avaliações quanto a indícios de contaminação das águas em função das características de uso e ocupação dos solos. Os parâmetros monitorados neste projeto são apresentados na tabela xx.

Tabela 4: Parâmetros analisados em campo e em laboratório.

Parâmetros Físicos e Propriedades Iônicas	Parâmetros Químicos
<ul style="list-style-type: none">• Alcalinidade;• Condutividade Elétrica;• Cor;• Dureza;• pH;• Sólidos Totais Dissolvidos;• Temperatura da Água;• Turbidez;	<ul style="list-style-type: none">• Cloretos;• Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);• Demanda Química de Oxigênio (DQO);• Fenóis;• Fosfatos;• Fluoretos,• Metais (alumínio, arsênio, bário, cádmio, cálcio, chumbo, cobre, cromo, ferro, magnésio, manganês, mercúrio, níquel, potássio, silício, sódio, zinco e vanádio);• Microbiológicos (coliformes termotolerantes e estreptococos fecais);• Oxigênio Dissolvido;• Série Nitrogênio (nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrato e nitrito);• Sulfatos;• Agrotóxicos (atrazina, heptaclor, heptacloropóxido, hexaclorobenzeno, lindano, metoxicloro, molinato, permetrina (cis+trans), simazina, trifluoralina, 4,5,6-triclorofenol).

3.7 Levantamento de Dados – Coletas e Análises Laboratoriais

3.7.1 Coletas

Foram realizadas 4 campanhas de amostragem, em diferentes estações climáticas (Tabela 5) com o objetivo de acompanhar possíveis variações nas concentrações dos constituintes das águas subterrâneas.

As técnicas de coleta e preservação das amostras hídricas seguiram especificações da NBR 9898, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, ou, na sua ausência, as Normas do Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater APHA-AWWA-WPCF.

Tabela 5: Coletas de amostras subterrâneas

Período	Coleta	Estação Climática
Abril/2005	1º Campanha de amostragem	Intermediária
Julho/2005	2º Campanha de amostragem	Seca
Novembro/2005	3º Campanha de amostragem	Intermediária
Março/2006	4º Campanha de amostragem	Chuvosa

3.7.2 Análises *in situ* e laboratoriais

Os parâmetros analisados *in loco* e em laboratório foram condutividade elétrica, pH e temperatura da água. Os demais parâmetros foram analisados em somente em laboratório.

As análises laboratoriais foram realizadas no laboratório do CETEC – Fundação Centro de Tecnológico do Estado de Minas Gerais, e atenderam às normas aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e na sua ausência, aos métodos indicados no Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater APHA-AWWA-WPCH.

Na tabela 6 são apresentados o método analítico e seu respectivo limite de detecção para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos monitorados.

Tabela 6: Métodos de Ensaio, Referência e Limite de Quantificação

Ensaio	Tipo de ensaio	Referência	Limite de detecção (mg/L)
Agrotóxicos	Cromatografia a gás	APHA 2320 B	Diversos
Alcalinidade	Potenciometria	APHA 2320 B	1,0
Bário	Espectrometria de AA -Plasma	APHA 3120 B	0,005
Cádmio	Espectrometria de AA -Forno de Grafite	APHA 3113 B	0,0005
Chumbo	Espectrometria de AA -Forno de Grafite	APHA 3113 B	0,005
Cloreto	Espectrofotometria	USGS -I -1187 78	0,30
Cobre	Espectrometria de AA -Plasma	APHA 3120 B	0,004
Coliformes Fecais	Tubos Múltiplos	APHA 9221 E	2
Condutividade Elétrica	Condutimetria	APHA 2510 B	---
Cor Real	Colorimetria	APHA 2120 B	5
DBO	Winkler/Incubação	ABNT NBR 12614/1992	2
DQO	Titulometria	ABNT NBR 10357/1988	5
Dureza de Total	Titulometria	APHA 3500	1,0
Estreptococos	Tubos Múltiplos	APHA 9230 B	2
Ferro Solúvel	Espectrometria de AA -Plasma	APHA 3120 B	0,03
Ferro Total	Espectrometria de AA -Plasma	APHA 3120 B	0,03
Fósforo	Espectrofotometria	APHA 4500-P C	0,01
Índice de Fenóis	Espectrofotometria	ABNT NBR 10740/1989	0,001
Manganês	Espectrometria de AA -Plasma	APHA 3120 B	0,003
Mercúrio	Espectrometria de AA -Vapor Frio	APHA 3112 B	0,0002
Amônia	Espectrofotometria	ABNT NBR 10560/1988	0,1
Nitrato	Espectrofotometria	APHA 4500-NO ³ -E	0,01
Nitrito	Espectrofotometria	ABNT NBR 12619	0,001
Oxigênio Dissolvido	Titulometria	ABNT NBR 10559/1988	0,5
pH	Potenciometria	APHA 5520 B	---
Sódio	Espectrometria de AA -Plasma	APHA 3120 B	0,05
Sólidos Dissolvidos	Gravimetria	ABNT NBR 10664/1989	1
Sólidos em Suspensão	Gravimetria	ABNT NBR 10664/1989	1
Sulfatos	Turbidimetria	APHA 4500-SO ⁴ ² -E	1,0
Temperatura da Água / Ar	Termometria	APHA 2550 B	---
Turbidez	Turbidimetria	APHA 2130 B	0,1

4 RESULTADOS

Os resultados analíticos discutidos neste relatório referem-se às 4 campanhas de amostragem realizada entre os meses de março de 2005 e abril de 2006, totalizando 156 amostragens. Os dados físico-químicos e microbiológicos das amostras de água subterrânea encontram-se no anexo deste volume.

4.1.1 Caracterização das Águas Subterrâneas

Balanço Iônico

Os parâmetros químicos das amostras de águas subterrâneas foram submetidos a avaliações quanto ao cálculo do balanço iônico. Dentre as 151 amostras analisadas cerca de 71% são consideradas válidas para classificação hidroquímica segundo os critérios de Logan (1965), que considera como correta a análise que o coeficiente de erro seja não superior a 10%.

Parâmetros Físicos e Propriedades iônicas

A condutividade elétrica *in situ* apresenta uma ampla variação na área abrangida pela rede piloto, o que reflete a variação dos aquíferos existentes. Os valores variam no intervalo de 103 a 2030 μ S/cm. A média encontrada de 687,7 μ S/cm.

As águas apresentam o pH *in situ* variando de ácidas a básicas, editando o valor do pH compreendido no intervalo de 5,4 e 8,6. O valor médio de pH encontrado foi de 7,11 e o desvio padrão apresentado foi de 0,52.

A temperatura medida *in situ* variou de 22,6 a 32,3°C. A média das temperaturas medidas é de 26°C.

De acordo com a classificação proposta por Custodio & Lhamas(1983), que leva em conta a Dureza, que é uma medida da capacidade da água em consumir sabão e formar incrustações e deve-se principalmente à presença de compostos de Ca e Mg provenientes da dissolução de rochas calcárias, as águas amostradas podem ser classificadas como pouco duras (5%) , duras (40%) e muito duras (55%).

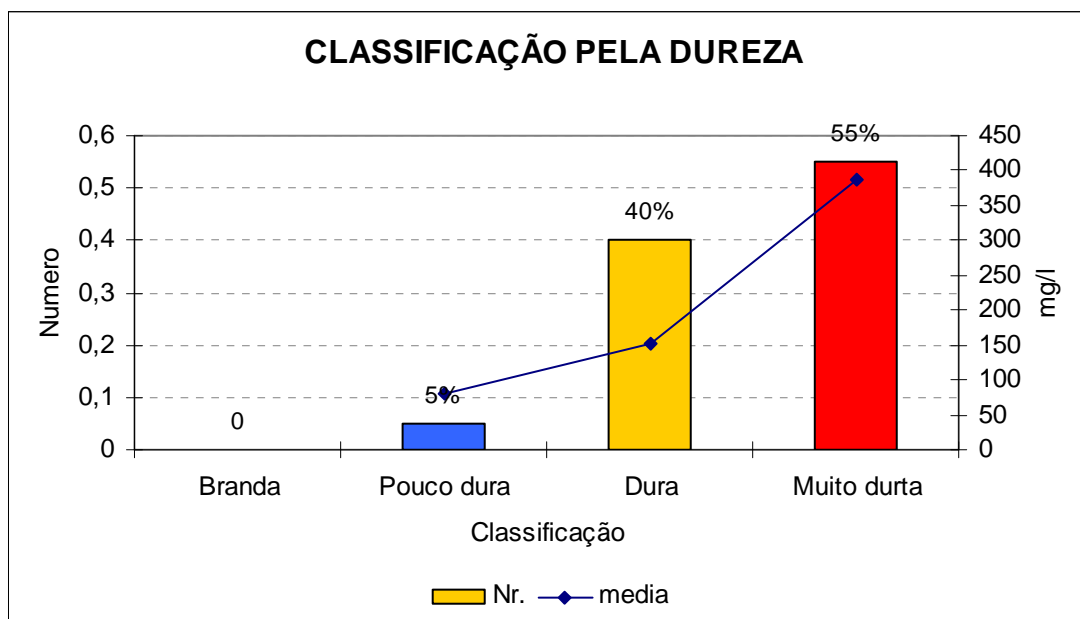


Gráfico 3: Variação na ocorrência do tipo de água segundo a Dureza

Parâmetros Químicos

Entre os cátions principais o Ca^{2+} apresenta a maior concentração seguido por Na^+ , Mg^{2+} e K^+ . Já entre os ânions predomina HCO_3^- , seguido por Cl^- e SO_4^{2-} . As concentrações mínimas, máximas e médias destes elementos são apresentadas na tabela 7.

Tabela 7: Concentrações mínimas, máximas e médias de cátions e ânions principais.

Elemento	Ca	Na	Mg	K	HCO_3	Cl^{2-}	SO_4
Mínimo	19,6	0,9	5,0	0,4	25,9	0,3	0,1
Máximo	605,7	124,1	292,1	16,3	423,5	294,0	275,8
Média	194,6	25,3	77,3	2,7	228,0	33,9	19,4
Desvio Padrão	117,8	27,8	64,2	2,8	92,1	57,0	35,8

Quanto ao tipo químico predominam águas bicarbonatadas cálcicas (Figura 5) refletindo a ampla distribuição de rochas de composição carbonática.

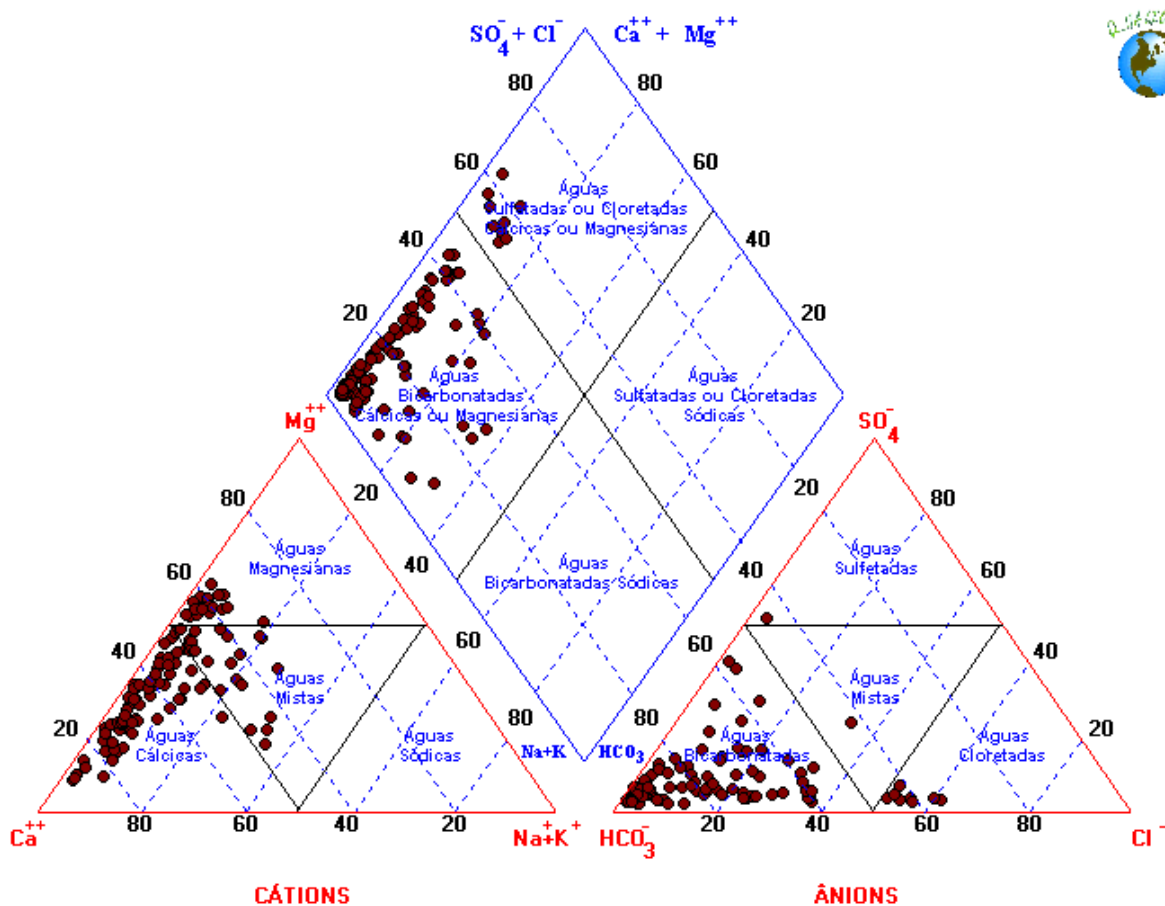


Figura 5: Diagrama de Piper classificação das águas subterrâneas

Os tipos principais de águas identificados são: águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, águas bicarbonatadas, águas cálcicas, águas magnesianas. Águas do tipo mistas e cloretadas aparecem secundariamente.

4.1.2 Qualidade das águas subterrâneas

As águas subterrâneas não dispõem atualmente de um sistema de classificação de qualidade requerida para os seus usos preponderantes como o existente para as águas superficiais, que são amparadas pela Resolução Conama 357/2005.

Considerando a inexistência de uma legislação específica e que grande parte dos poços tubulares são utilizados para abastecimento público, os resultados analíticos foram submetidos à avaliação de qualidade de acordo com os padrões de potabilidade para consumo humano estabelecidos pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

Os poços destinados à irrigação foram avaliados de acordo com padrões aceitos na literatura científica, tendo sido utilizado o método de classificação da USSL.

4.1.2.1 Potabilidade

Os valores obtidos das análises efetuadas foram comparados com aqueles apresentados na Portaria 518 do Ministério da Saúde, muito embora não seja objetivo deste trabalho avaliar a qualidade da água distribuída à população e sim a determinação da qualidade da subterrânea visando a identificação de problemas relacionados à poluição ou contaminação natural dos aquíferos que possam demandar investigações e ações corretivas ou preventivas relacionadas às fontes potenciais de poluição.

Embora a maioria dos resultados obtidos para os metais seja em termos metais dissolvidos, não se descarta a validade da comparação, uma vez que os resultados obtidos que se apresentem em desacordo com os metais totais da Portaria 518 representam uma situação menos favorável que por ela considerada.

Poços tubulares que apresentam padrões em desconformidade com potabilidade segundo a Portaria 518 do Ministério da Saúde para diferentes parâmetros

Considerando-se as 4 campanhas realizadas, os parâmetros cujos resultados apresentaram-se em desconformidade com o limite estabelecido pela portaria 518 foram: turbidez, sólidos totais dissolvidos, dureza total, concentração de bário solúvel, nitrogênio amoniacal coliformes termotolerantes e estreptococos fecais. O comportamento desses parâmetros é apresentado a seguir

Parâmetros físico químicos

Os pontos em que o parâmetro Turbidez se apresentou em desacordo com o limite estabelecido se referiu principalmente a terceira campanha realizada, exceto para os pontos 6 e 14. Para esses pontos o parâmetro se apresentou em desacordo em todas as amostragem realizadas. O gráfico 4 apresenta a variação desse parâmetro nas diferentes campanhas realizadas.

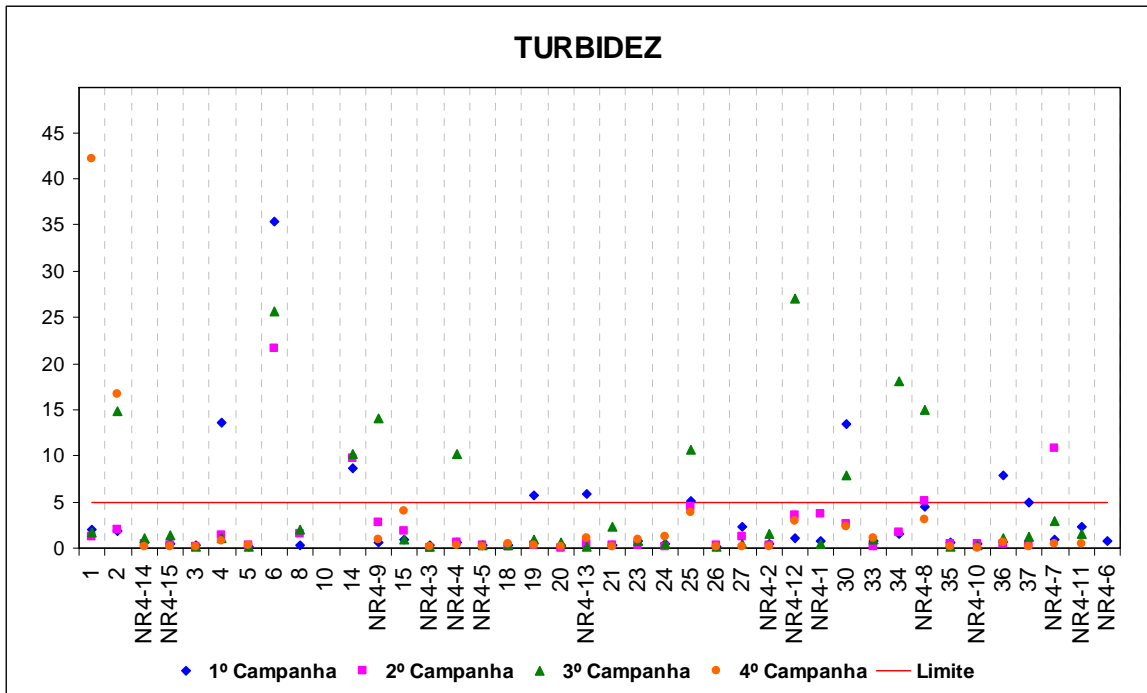


Gráfico 4: Variação da Turbidez

O parâmetro Sólidos Totais dissolvidos apresentou-se em desacordo em todas as campanhas realizadas apenas no ponto 20. Para os outros pontos em que se apresentou em desacordo, ponto 1 e 35, o limite foi ultrapassado em apenas uma das campanhas realizadas. O gráfico 5 apresenta a variação desse parâmetro nas diferentes camachas.

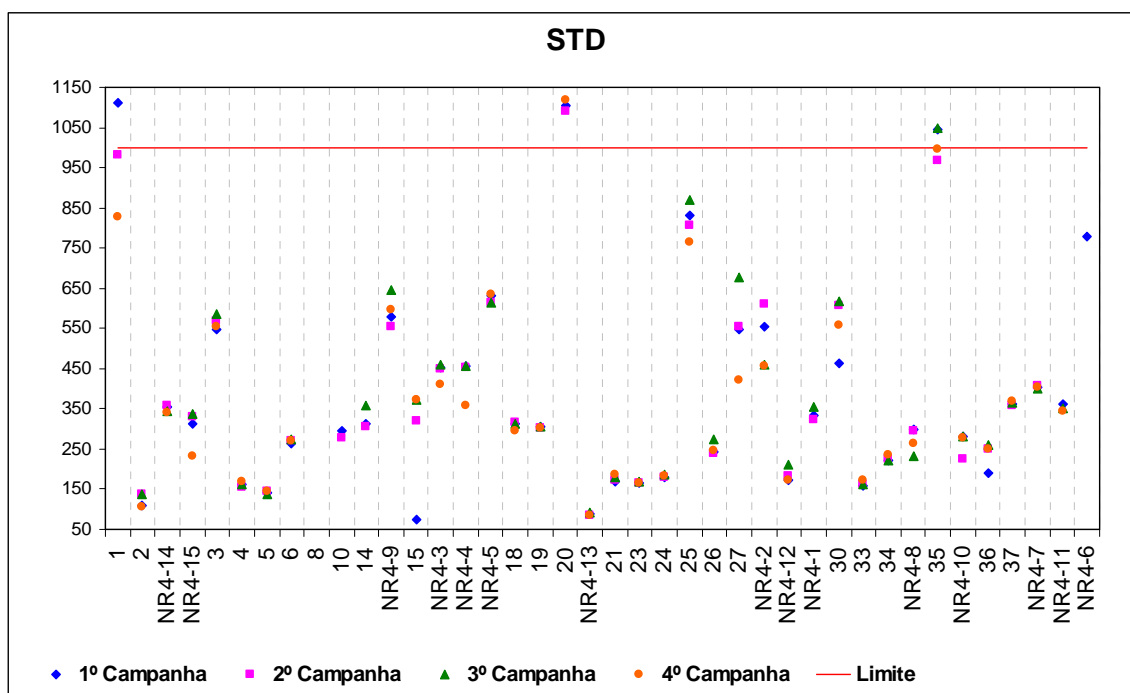


Gráfico 5: Variação dos Sólidos Totais Dissolvidos

Os poços que apresentam o valor da Dureza Total em desacordo com o estabelecido em todas as campanhas foram os pontos 2, 8, NR 13. Os poços correspondentes aos pontos 25, 27 e 35, se apresentaram fora dos padrões em apenas 2 campanhas. O gráfico 6 apresenta a variação desse parâmetro nas diferentes camachas.

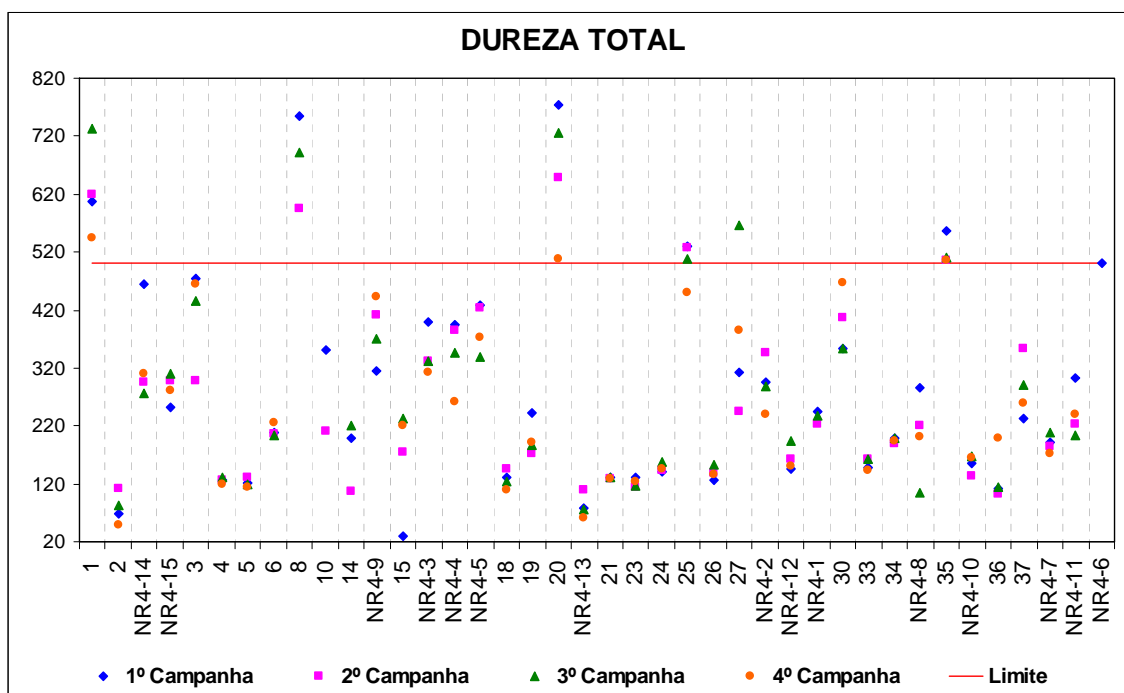


Gráfico 6: Variação da Dureza Total

Parâmetros químicos

O parâmetro Nitrogênio Amoniacal se apresentou em desacordo com o limite estabelecido nas duas ultimas campanhas realizadas, correspondentes ao inicio e final do período chuvoso. A desconformidade foi verificada em 12 poços (3,14,20,26,27,36,NR3, NR4, NR9, NR10, NR11). O gráfico 7 apresenta a variação desse parâmetro nas diferentes camachas.

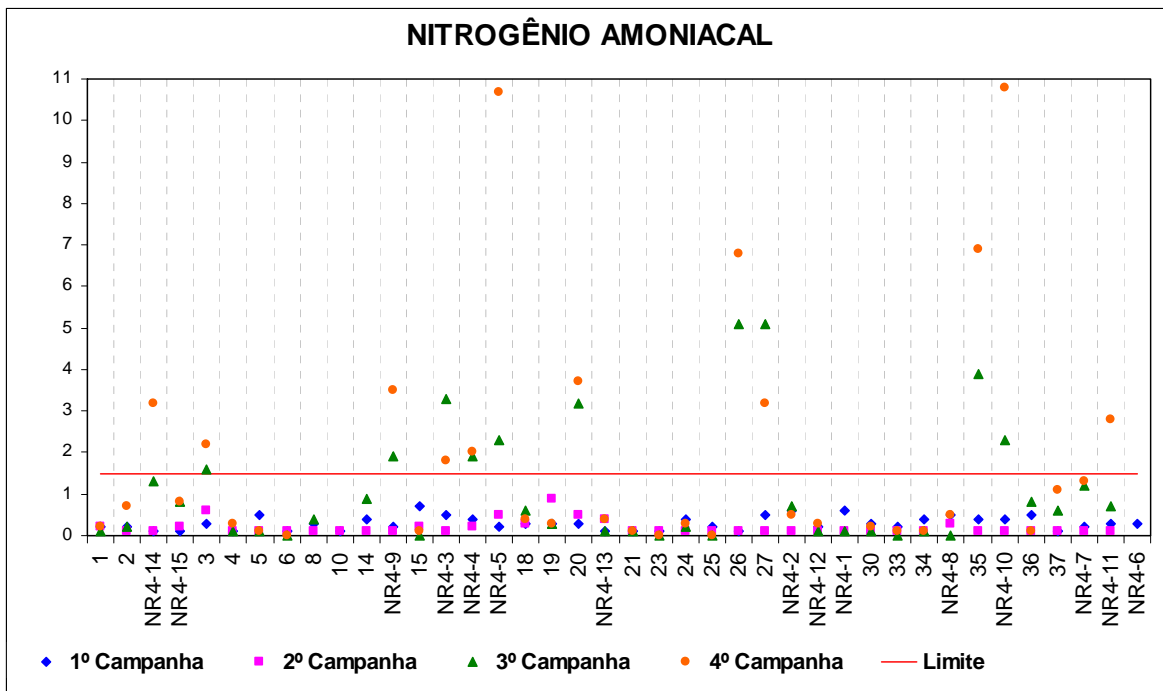


Gráfico 7: Variação da Concentração de Nitrogênio Amoniacal

O poço situado no município de Pai Pedro, ponto 36 da rede, foi verificado a concentração acima do limite para o elemento bário em todas as campanhas realizadas. Esse parâmetro concentração média de. O gráfico 8 apresenta a variação desse parâmetro nas diferentes campanhas.

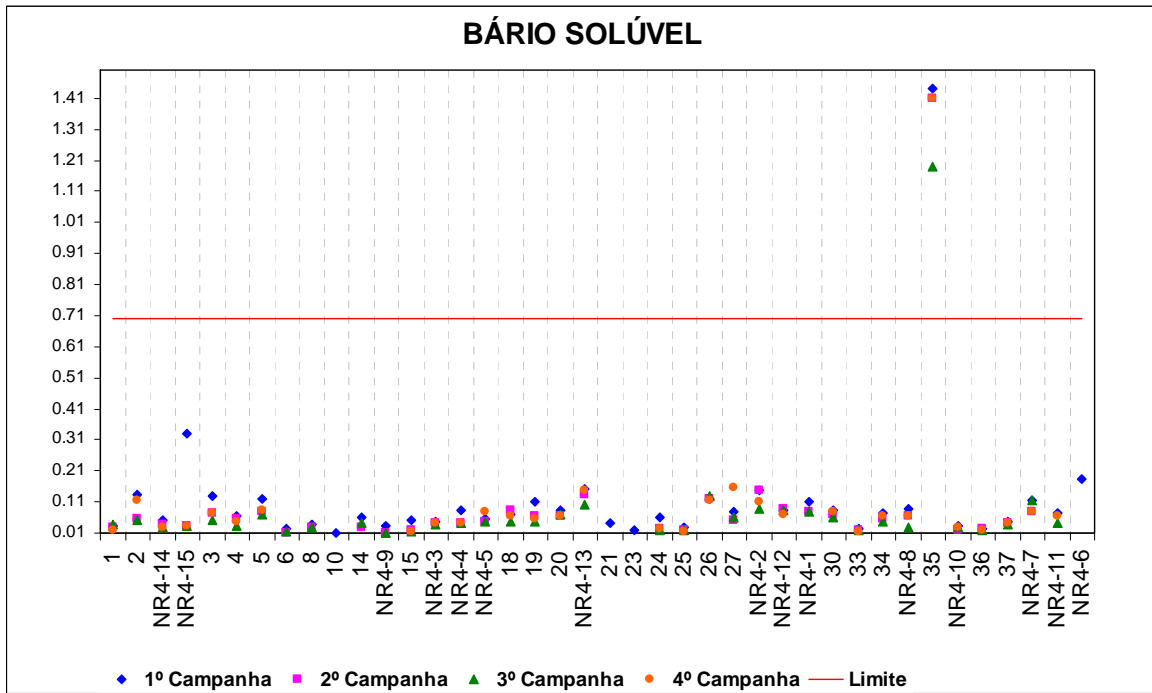


Gráfico 8: Variação da concentração de Bário Solúvel

Parâmetros biológicos

Os parâmetros biológicos que refletem as condições sanitárias das águas, coliformes termotolerantes e estreptococos fecais, foram encontrados em desconformidade com os limites apresentados em apenas 5% das amostras. Essas desconformidades podem representar não só a contaminação do poço como da própria amostra durante coleta. O comportamento desses parâmetros nas campanhas efetuadas são apresentados nos gráficos 9 e 10.

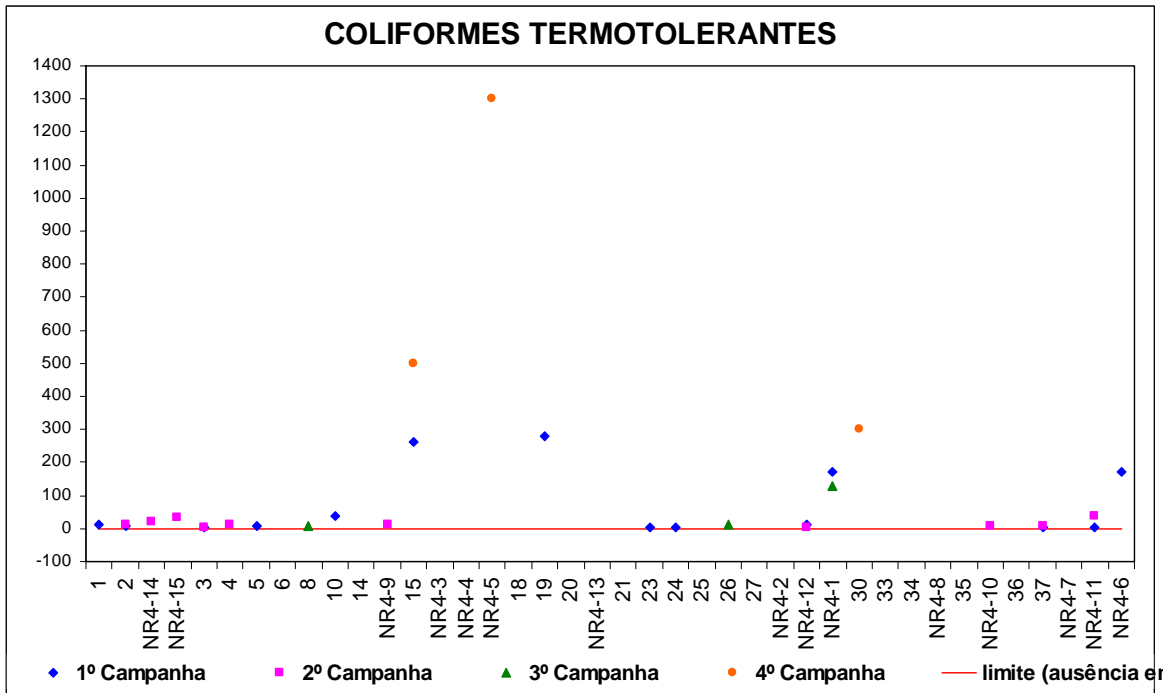


Gráfico 9: Variação da concentração dos Coliformes Termotolerantes

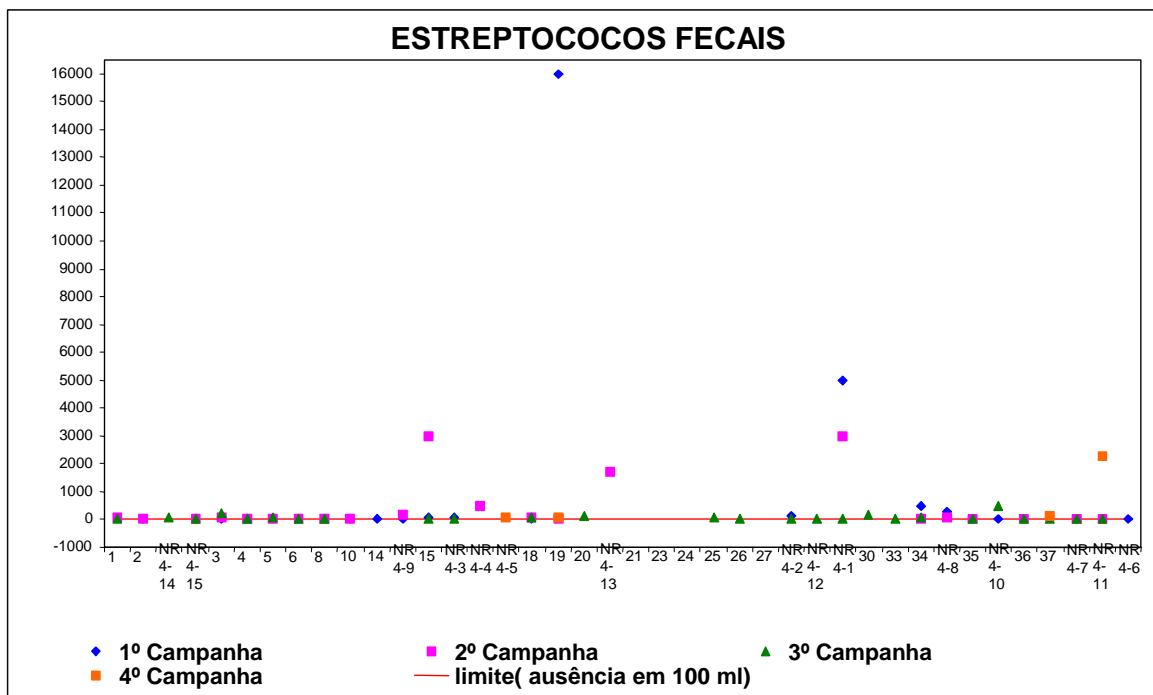


Gráfico 10: Variação da concentração dos Estreptococos Fecais

4.1.2.2 Irrigação

O potencial das águas subterrâneas para irrigação foi avaliado de acordo com os critérios de Richards (1969) do *United States Salinity Laboratory*, baseados na razão de adsorção de sódio (RAS) e na condutividade elétrica da água. O RAS indica a porcentagem de sódio contido numa água que pode ser adsorvido pelo solo, enquanto que a condutividade elétrica é associada à salinidade das águas. As classes S_1 , S_2 , S_3 e S_4 representam baixo a alto risco de sódio e, analogamente as classes C_1 , C_2 , C_3 e C_4 representam baixa a alta salinidade. As águas que representam condições ideais para irrigação são da classe C_1S_1 e as de pior qualidade são do tipo C_4S_4 .

Na região das sub-bacias dos rios Verde Grande, Riachão e Jequitaí ressalta-se o baixo risco de sódio apresentado pela totalidade das amostras, entretanto o risco de salinização varia de baixo a alto, com predominância de média, sendo identificadas três classes: C_1S_1 , C_2S_1 e C_3S_1 . Dos seis poços tubulares destinados à irrigação apenas uma amostra (NR4-15, Município de Bocaiúva) foi classificada como C_2S_1 (salinidade média e baixo risco de sódio). Já as demais amostras referentes aos poços tubulares localizados nos municípios de Janaúba (Nº 20), Montes Claros (Nº 30) e Jaíba (NR4-3, NR4-4 e NR4-5) são da classe C_3S_1 .

A Figura 6 apresenta a classificação das águas quanto ao uso para a irrigação na área estudada.

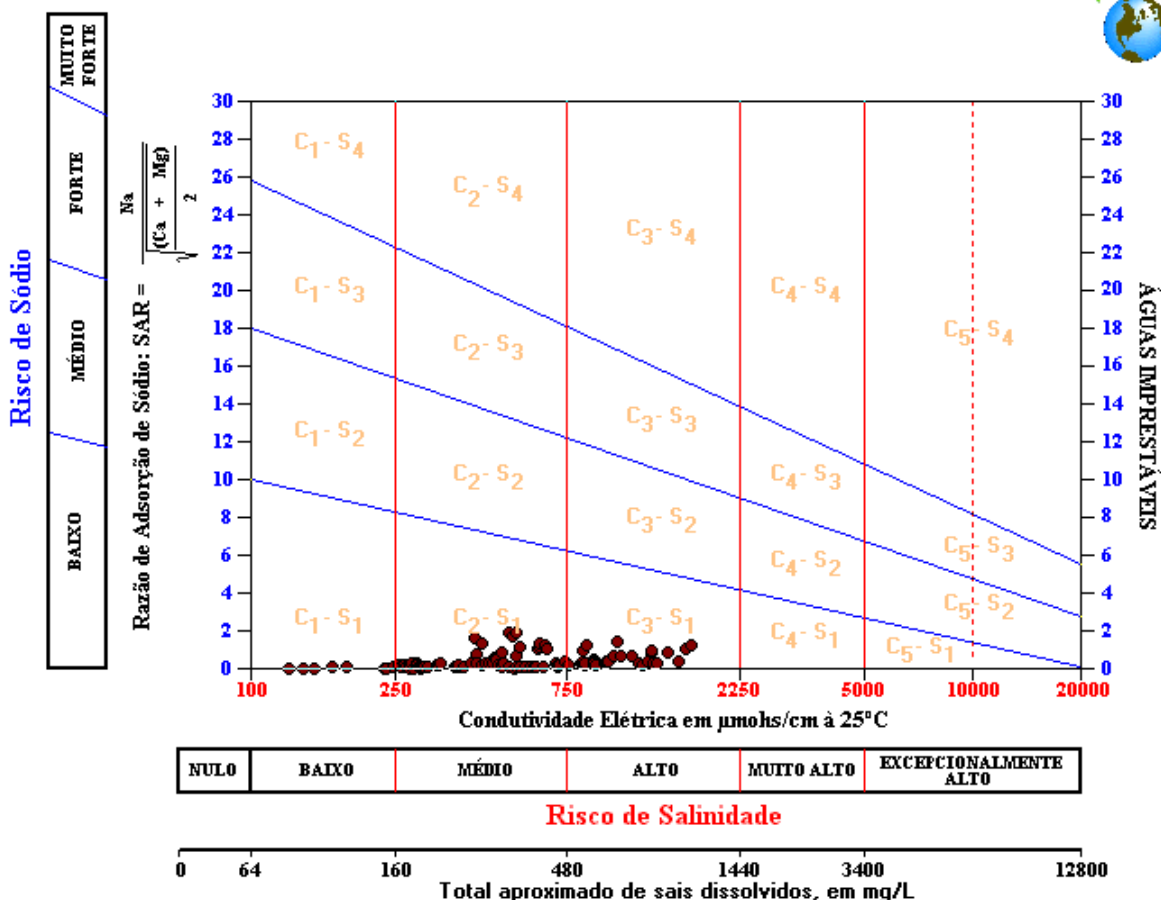


Figura 6: Classificação da água subterrânea para irrigação

As águas incluídas na classe C₂S₁, não têm restrições quanto ao risco de adsorção de sódio, mas quanto à salinidade podem ser utilizadas apenas quando houver uma lixiviação moderada do solo. As águas do tipo C₃-S₁ podem ser apenas utilizadas em solos bem drenados e em vegetais com alta tolerância salina.

É válido ressaltar que as análises de salinidade e de razão de adsorção de sódio não são suficientes para definir a possível utilização da água para irrigação. Outros parâmetros químicos devem ser utilizados, tais como: boro, potássio, cloreto e sulfato. É também necessário avaliar questões relativas às características dos solos como porosidade e permeabilidade, entre outros.

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos indicam que, de modo geral, a água subterrânea da região não apresenta comprometimento de sua qualidade proporcionado por atividade antrópica, estando propícia para utilização com diferentes finalidades.

As concentrações excessivas de turbidez, ferro e manganês podem, a princípio, ser atribuídas a falhas construtivas dos poços, bem como ausência de manutenção dos mesmos. Estes fatos são comuns na maior parte dos poços tubulares do norte de Minas Gerais.

Deve-se destacar os resultados obtidos para o poço 35, localizado na área rural do município de Pai Pedro, cuja concentração elevada de bário, embora não seja ocasionada por nenhuma atividade antrópica, está fora dos padrões estabelecidos pela legislação para o consumo humano. Para essa área é recomendável o adensamento da malha, com a incorporação de novos pontos de forma a se obter melhor conhecimento dessa área.

A pouca variação existente nas concentrações dos parâmetros analisados indica que a periodicidade da coleta pode ser maior e que o monitoramento executado com periodicidade semestral atende ao objetivo proposto.

Apesar da limitação existente provocada pela pouca informação disponível relacionada aos perfis construtivos dos poços, a continuidade do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas permitirá o estabelecimento de uma série histórica permite a verificação de qualquer mudança existente da qualidade da água subsidiará ações preventivas, mitigadoras ou restritivas quanto ao uso racional e sustentável dos recursos hídricos.

6 BIBLIOGRAFIA

- 1) ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Denominações urbanas. Disponível em <www.almg.gov.br>.
- 2) Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT/ NBR 9896/1993.
- 3) CARVALHO & PRANDINI, 1998. in GEOLOGIA DE ENGENHARIA. SÃO PAULO, ABGE. 2001 582 P
- 4) CUSTODIO E, LHAMAS, M.,R. Hidrologia Subterrânea. Barcelona. Ed Omega, 1983. V.2.
- 5) FEITOSA, A.C. & FILHO, J.M. Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações – Fortaleza: CPRM, 2000, 388p.
- 6) FOSTER, S. & HIRATA, R.. Groundwater pollution risk assessment: a methodology based on available data. Lima, Peru CEPIS/PAHO Technical Report. 1988.
- 7) MACÊDO, J. A. B. Introdução a Química Ambiental; Química & Meio Ambiente & Sociedade 1ª ed. Juiz de Fora: Jorge Macedo, 2002, 487p.
- 8) MEYBECK M., KUUSISTO E., MAKELA A., MALKKI E. WATER QUALITY. () Water quality Monitoring. In : J. Bartram, R. Balance (eds). A practical guide to the design and implementation of fresh water quality studies and monitoring programme. E&F.N. Spon, London, 1996, p9-34.
- 9) MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA N.º 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004.
- 10) RAMOS, M.L.S. & PAIXÃO, M.M.O.M.. “Disponibilidade hídrica de águas subterrâneas – Produtividade de poços e reservas explotáveis dos principais sistemas aquíferos. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco”. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2003. IGAM. Belo Horizonte-MG, 41 p.
- 11) MOURÃO, M. A. A.; CRUZ, W. B.; GONÇALVES, R. L. F. 2001. Caracterização Hidrogeológica da Porção Mineira da Bacia do São Francisco. In: Pinto, C.P. & Martins-Neto, M.A. 2001. Bacia

do São Francisco: Geologia e Recursos Minerais. SBG-MG, Belo Horizonte. p.: 327-350.

- 12) TEIXEIRA, W; TOLEDO; M.C.M; FAIRCHILD, T.M; TAIOLI; F..
Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de textos. 2000. 115 p.
- 13) TUINHOT, A.; FOSTER S.; NANNI ,H.G.M.;. Nota Informativa nº9
Requerimentos de Monitorio del Agua Subterrânea. Banco Mundial.
2005. Whashington D.C., 10 p.
- 14) PEDROSA, C. A.; CAETANO, F. C.; ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, ANA,
BRASÍLIA, 2002. 85p.
- 15) MESTRINHO, S. S. P. *in* Recursos Hídricos Conceptos Básicos y
Estúdios de casos en Iberoamérica. 2ª. edição México 2006,