

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA  
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS  
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA  
COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS

# PROJETO BACIA DO SÃO FRANCISCO

PROVÍNCIA MINERAL BAMBUÍ (MG)

**Coordenação:** Claiton Piva Pinto, Geól. MSc.

**Comitê Gestor:** Claiton Piva Pinto - CPRM  
José Fernando Coura - SEME  
Marcelo Arruda Nassif - COMIG

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA  
DO MUNICÍPIO DE BONFINÓPOLIS DE MINAS**

**Execução:**

Ely Soares de Oliveira

**Coordenação:**

Maria Antonieta Alcântara Mourão

**Apoio:**

Angélica Garcia Soares  
Reynaldo Murilo D. A. de Brito

## **APRESENTAÇÃO**

---

O Projeto São Francisco é resultado do convênio entre a CPRM - Serviço Geológico do Brasil, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia e a Secretaria de Estado de Minas e Energia - SEME e Companhia Mineradora de Minas Gerais, para executar trabalhos de mapeamento geológico e avaliação de recursos minerais e hídricos subterrâneos na bacia do São Francisco, em Minas Gerais.

Este relatório apresenta os resultados da caracterização hidrogeológica do município de Bonfinópolis de Minas, com base no cadastramento de 37 poços, dos quais 21 pertencentes ao setor privado e 16 ao setor público. São apresentados a caracterização da água subterrânea quanto aos aspectos físico-químicos e bacteriológicos, bem como os resultados da avaliação sobre sua qualidade para consumo humano, agrícola, industrial e na pecuária. Riscos potenciais de contaminação foram avaliados com base nas deficiências construtivas dos poços e quanto a fontes potenciais de contaminação. O diagnóstico atual de exploração, incluindo a estimativa de expansão do volume bombeado, foi estabelecido visando orientar o planejamento de ações que requerem o uso da água subterrânea.

Em anexo é apresentado o mapa de localização de pontos do município.

# SUMÁRIO

---

1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - OBJETIVOS .....	3
3 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO .....	5
4 - MÉTODOS EMPREGADOS .....	7
5 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS .....	9
6 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS .....	11
6.1 - Relevo .....	11
6.2 - Solos .....	11
6.3 - Vegetação .....	12
6.4 - Hidrografia .....	12
6.5 - Clima .....	12
7 - ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	13
8 - DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS .....	15
8.1 - Aquífero Cárstico .....	15
8.2 - Aquífero Fissurado .....	16
8.3 - Aquífero Granular .....	16
8.3.1 - Aquíferos Aluviais .....	17
8.3.2 - Aquífero de Depósitos Terciário-Quaternários .....	17
8.3.3 - Aquíferos Cretácicos .....	17
8.3.4 - Aspectos Construtivos e Hidráulicos dos Poços nos Aquíferos Granulares .....	18
9 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	19
10 - CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	23
11 - O USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	27
11.1 - Uso da Água para o Consumo Humano .....	27
11.2 - Uso Agrícola e na Pecuária .....	28
11.3 - Uso na Indústria .....	29
12 - DIAGNÓSTICO ATUAL DA EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	31
13 - PRINCIPAIS QUESTÕES RELACIONADAS À OUTORGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE MINAS GERAIS .....	33
14 - CONCLUSÕES .....	35
15 - RECOMENDAÇÕES .....	37
16 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
ANEXOS	
1 - Características Locacionais, Construtivas, Hidráulicas e Físico-Químicas ' In Loco' .....	41
2 - Características Organolépticas, Físico-Químicas, Químicas e Bacteriológicas .....	47
3 - Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água .....	51
GLOSSÁRIO .....	69
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA .....	71

## 1 - INTRODUÇÃO

---

A água subterrânea, um dos mais ou senão, o mais importante recurso natural do planeta, corresponde a 97% de toda água doce disponível, sendo os rios e lagos responsáveis pelos 3% restantes. Origina-se da infiltração da água de chuva e de águas de superfície, armazenando-se entre os poros e/ou em fissuras e condutos das rochas.

A possibilidade de interligação das águas subterrâneas com os cursos superficiais e o seu papel na manutenção do fluxo de base das drenagens em períodos de estiagem, através dos pontos de descarga (nascentes e aluviões dos rios), destacam a importância de se conhecer as disponibilidades hídricas e a dinâmica de fluxo para que se promova a regulação do uso e a adoção de medidas de proteção.

O papel do recurso subterrâneo no abastecimento é bastante expressivo, sendo utilizado como fração complementar ao atendimento das áreas urbanas e como principal fonte na zona rural. A ampliação do uso de forma sustentável esbarra na falta de informações de disponibilidades hídricas ou de dados mais detalhados com relação ao grau de exploração.

As reservas e as características qualitativas da água subterrânea podem ser afetadas por intervenções no meio físico tais como extração da cobertura vegetal, ocupação desordenada do solo, lançamento de efluentes no solo ou nos rios, captação excessiva dos recursos hídricos e aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes. Neste sentido, o cadastramento das fontes subterrâneas de abastecimento funciona como importante instrumento de avaliação das condições atuais do uso desse recurso.

## **2 - OBJETIVOS**

---

Os objetivos foram: levantamento completo da situação atual dos poços tubulares profundos; caracterização física e química dos aquíferos; determinação da qualidade

da água em termos da vocação de uso e indícios de contaminação; estimativa da disponibilidade e expansão do uso da água.

### 3 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O município de Bonfinópolis de Minas, com 1789km<sup>2</sup>, localiza-se no noroeste do Estado de Minas Gerais, fazendo parte da Microrregião Administrativa de Unaí (Figura 1). O acesso pode ser feito pela BR-040 a partir

Belo Horizonte, sentido Sete Lagoas, percorrendo-se aproximadamente 400km. Em seguida, toma-se a MG-181, passando por Brasilândia de Minas e alcança-se a sede do município, após 154km.



Figura 1 - Localização e vias de acesso.

## 4 - MÉTODOS EMPREGADOS

Em vista da enorme extensão territorial da bacia, os levantamentos foram setorizados nas microrregiões administrativas. A microrregião de Unaí, dada a sua vocação agrícola, que implica na utilização crescente de recursos hídricos, foi escolhida como área piloto. Abrange os municípios de Unaí, Bonfinópolis de Minas, Arinos, Buritis, Formoso, Cabeceira Grande, Natalândia, Dom Bosco e Uruana de Minas.

Na fase inicial, levantou-se todas as informações disponíveis, as quais foram reunidas em um banco de dados. Os dados obtidos nessa etapa serviram para orientar o cadastramento de campo, auxiliando na identificação dos poços.

O cadastramento consistiu na localização de poços tubulares, para os quais procurou-se obter as seguintes informações "*in loco*": coordenadas do poço; profundidade; nível estático; condutividade elétrica, pH, e temperatura da água; número de famílias atendidas; uso da água; capacidade de reservação; equipamento de adução e recalque; tipo de revestimento; condições da captação e existência de fontes potenciais de contaminação. Também foram feitas descrições de afloramentos, procurando caracterizar o tipo litológico e as superfícies de descontinuidades, tais como fraturas, juntas e falhas.

Os dados hidráulicos, construtivos e físico-químicos das fontes de abastecimento, quando não obtidos na etapa de coleta de dados, foram solicitados às prefeituras ou aos proprietários.

Durante o cadastramento foram selecionados cerca de 10% dos poços para execução de

amostragem da água, visando a caracterização da qualidade físico-química e bacteriológica.

Concluído o levantamento, efetuou-se a atualização do banco de dados e o tratamento estatístico das informações a fim de estabelecer, para cada tipo de aquífero, os parâmetros hidráulicos e a caracterização físico-química, bem como o estudo da qualidade da água para o consumo humano, agrícola e industrial. Por fim, foi estabelecido o diagnóstico da exploração atual de água subterrânea através de poços tubulares profundos.

É importante ressaltar que a falta de dados completos dos pontos d'água cadastrados representou uma das grandes dificuldades enfrentadas durante o trabalho, o que de certa forma interferiu na caracterização dos aspectos hidráulicos, construtivos, químicos e de definição de sistemas aquíferos captados, de modo mais preciso e homogêneo para a área. Apenas 13 poços possuem perfil litológico, 15 apresentam dados de teste de bombeamento, 3 com intervalos de entrada d'água e 15 com dados construtivos (diâmetro, tipo e comprimento do revestimento).

Os fatores que contribuíram para esta situação de relativa escassez de dados são os seguintes:

- Não localização do proprietário ou desconhecimento do informante local quanto aos principais aspectos do poço e mesmo do ano e da empresa de perfuração. Vários proprietários rurais residem nas sedes



municipais, ou em núcleos urbanos maiores como Belo Horizonte e Brasília;

- Ausência de informações detalhadas sobre poços antigos desativados ou abandonados, seja pela mudança de proprietário ou pela sucessão de várias administrações municipais que acabam por ocasionar a perda dos dados;
- Proprietários e/ou prefeituras, não mantêm os boletins de perfuração por desconhecerem a sua importância;
- Algumas empresas de perfuração não seguem as normas técnicas estabelecidas pela ABNT. Os boletins não são entregues ao cliente, ou são bastante incompletos. Normalmente faltam informações referentes ao material usado na completação, descrição litológica detalhada do material interceptado, tempo de desenvolvimento, intervalos de entradas d'água, planilha de teste de bombeamento e relatório de diâmetro de perfuração;
- A solicitação de fornecimento de dados, feita a algumas empresas, não foi atendida;
- A falta de acompanhamento dos poços produtivos e a utilização de bombas submersas com sistema de acionamento automático, impediu a determinação da vazão de exploração e do regime de bombeamento. Estimativas foram feitas com base no número de famílias atendidas, de animais ou de hectares irrigados.

## **5 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS**

---

A agricultura e a pecuária são as principais atividades econômicas do município, sendo a soja, o milho, o feijão, a cana de açúcar e a laranja, seus principais produtos agrícolas e a criação de bovinos a mais expressiva atividade da pecuária. Os agricultores contam com os serviços da EMATER e com um grande armazém da CASEMG. As indústrias metalúrgica, da madeira, alimentícia e os comércios varejistas e atacadistas se fazem presentes na arrecadação de ICMS.

O município de Bonfinópolis de Minas é bem servido por rodovias estaduais (MG-181 e MG-202) e federal (BR-251), porém, há somente um trecho asfaltado da MG-181 dentro do município de Bonfinópolis de Minas, de aproximadamente 30 km, que liga a sede à Brasilândia de Minas.

Após a emancipação política dos municípios de Natalândia e Dom Bosco, ocorrida em 1995, a população de Bonfinópolis de Minas passou de 14.464 (em 1991) para 6.172 habitantes em 1997 (INDI, 1999).

Na sede do município são ministrados cursos de 1º e 2º graus, bem como curso técnico em contabilidade e magistério de 1º grau (Enciclopédia, 1998).

Os serviços de telefonia (DDD e DDI) são controlados pela TELEBRASÍLIA e a energia elétrica pela CEMIG. O abastecimento de água e a coleta de esgoto doméstico são realizados pela COPASA. Há serviços de correio e telégrafos (EBCT), como também de caixa postal eletrônica (EMBRATEL). A cidade conta com dois hotéis e uma agência do Banco do Brasil S.A.. (Enciclopédia, 1998).

## 6 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A descrição dos aspectos fisiográficos foi feita com base nas informações contidas no Planoroeste (CETEC, 1981) e PLANPAR (Ruralminas/ Consórcio Magna / Dam /Eyser, 1996).

### 6.1 - Relevo

O relevo constitui-se, basicamente, dos seguintes compartimentos geomorfológicos: 1) extensos planaltos com capeamento sedimentar, denominados de Planaltos Residuais do São Francisco e 2) amplas depressões dispostas na mesma direção dos principais cursos d'água, representando a Depressão Sanfranciscana.

Os Planaltos Residuais do São Francisco compõem superfícies tabulares ou chapadas com topos nas cotas de 800 a 1000 metros. Essas superfícies desenvolveram-se sobre sedimentos detríticos inconsolidados. Uma feição típica na região são as cabeceiras de drenagem, constituídas por vales rasos de fundo plano, denominadas "veredas" que têm origem nos planaltos e em suas encostas.

A Depressão Sanfranciscana corresponde a extensas áreas rebaixadas e aplainadas, com cotas entre 400 e 600 metros, distribuídas ao longo do rio São Francisco e seus principais afluentes. É representada por superfícies aplainadas, superfícies onduladas e pedimentos ravinados.

### 6.2 - Solos

O município de Bonfinópolis de Minas apresenta solos de diversos tipos: solos com horizonte "B" latossólico, com horizonte "B" câmbico, solos hidromórficos, solos areno-

quartzosos profundos e solos pouco desenvolvidos.

Os solos com horizonte "B" latossólico apresentam teores de silte muito baixos em relação às frações areia e argila. São solos muito intemperizados ou se desenvolveram a partir de materiais ricos em sílica e óxido de alumínio, resultando em perfis profundos e de boa drenagem. Estes solos possuem um potencial agrícola condicionado à aplicação de fertilizantes e corretivos. São desenvolvidos, principalmente, sobre os depósitos de cobertura do Cretáceo/Terciário e sedimentos detríticos do Terciário/Quaternário como também dos sedimentos originários da decomposição dos arenitos cretácicos.

Solos com horizonte "B" câmbico referem-se a solos rasos ou medianamente profundos, acidez normalmente elevada e baixa fertilidade natural. São bem drenados superficialmente, mas tendem a moderadamente drenados em profundidade, sendo muito susceptíveis à erosão. Formam-se sobre as rochas ardosianas do Grupo Bambuí.

Os solos hidromórficos são solos com características associadas a encharcamento, que pode determinar acumulação de matéria orgânica ou presença de "horizonte gley" caracterizado por cores neutras. São formados geralmente nas partes planas e dissecadas do relevo, onde o lençol freático está próximo à superfície do terreno. Ocorrem de maneira pouco expressiva no município.

Os solos areno-quartzosos profundos compreendem solos não hidromórficos, de

classes granulométricas areia e areia franca, possuindo espessura de no máximo 2m. São derivados de sedimentos areno-quartzosos terciários ou de decomposição de arenitos cretácicos.

Os solos pouco desenvolvidos apresentam como principal característica o pequeno desenvolvimento do perfil, podendo ser agrupados em solos aluviais e litólicos. Os solos aluviais são provenientes de deposições recentes, caracterizando-se como solos férteis. Suas principais limitações referem-se aos riscos de inundações dada a proximidade com os cursos d'água. Os solos litólicos ocorrem em área dissecada, com predominância de relevo fortemente ondulado e montanhoso, onde as forças erosivas são muito ativas, resultando na formação de perfis muito rasos e portanto, pouco utilizados para atividade agrícola, devido à baixa fertilidade.

### **6.3 - Vegetação**

A área estudada apresenta vegetação predominantemente do tipo cerrado, onde se distingue o cerrado e suas gradações. Existe ainda a vegetação do tipo Vereda, além de matas secundárias como o Capoeirão, a Capoeira e a Capoeirinha.

O Cerrado mostra árvores tortuosas, de cascas grossas e gretadas e algumas árvores de porte ereto, com a presença de estrato arbustivo e subarbustivo denso de composição florística muito variável. Sua parte arbórea mostra, de maneira geral, fisionomia sempre verde e o estrato arbustivo-herbáceo, perde sua parte aérea no estio, rebrotando com o início das chuvas. Gameleira, Tingui, Cagaiteira, Pequi, Tamburil, Pau-Ferro, Jatobá e Barú são espécies que podem ser observadas.

A vegetação do tipo vereda é encontrada em depressões e em alguns vales. Ocorre como uma comunidade especial hidrófila, de fisionomia sempre verde, rodeando e acompanhando nascentes, constituída por um estrato arbóreo-arbustivo envolvido por

área graminosa. O estrato arbóreo é representado quase exclusivamente por agrupamentos de "buritis".

O Capoeirão, a Capoeira e a Capoeirinha assemelham-se às matas tropicais latifoliadas perenes, distinguindo-se destas somente pelo menor porte e diâmetro de seus indivíduos.

### **6.4 - Hidrografia**

Os ribeirões Santa Cruz e o das Almas correspondem aos principais cursos d'água de regime permanente. O ribeirão das Almas encontra-se com o ribeirão Santa Cruz, a sudeste da cidade de Bonfinópolis de Minas, o qual deságua no rio Urucuia, afluente do São Francisco. A região de chapadas contribui, através de várias e expressivas nascentes, com grande quantidade de água superficial. A região da Depressão Sanfranciscana exibe maior escassez de água superficial, sendo que na época de estiagem culmina com a paralisação do fluxo dos cursos.

Os sedimentos terciário-quadernários e cretácicos que ocorrem geomorfologicamente, como superfícies tabulares, apresentam padrões dendríticos de drenagem caracterizados pelo fraco controle estrutural (rios inseqüentes). Nas áreas de afloramento das rochas pré-cambrianas (Depressões Sanfranciscanas) os cursos d'água apresentam-se instalados, preferencialmente, ao longo de linhas de fraqueza (rios subseqüentes).

### **6.5 - Clima**

O clima da região é tropical, marcado por invernos secos e verões chuvosos, com precipitação média anual de 1.200mm (ANEEL, 1997). A temperatura média anual mínima é de 12°C e máxima de 32°C. A umidade relativa do ar varia entre 68%, em agosto e 87%, em janeiro. A evapotranspiração potencial média é de 1.121,6mm.

## 7 - ASPECTOS GEOLÓGICOS

No município estudado ocorrem, principalmente, rochas da Formação Três Marias, recobertas em grande parte por sedimentos terciário-quadernários e subordinadamente por sedimentos cretácicos da Formação Urucuia (Figura 2). No extremo leste do município, as rochas do Subgrupo Paraopeba distribuem-se numa faixa de direção norte-

noroeste, de aproximadamente 5km de largura. Próximo ao limite com o município de Dom Bosco, rochas do Grupo Paranoá sustentam a serra Geral do Rio Preto, que se alinha na direção noroeste. Depósitos coluvionares, aluvionares e terraços mostram reduzida distribuição superficial, sendo identificados no extremo sul do município.

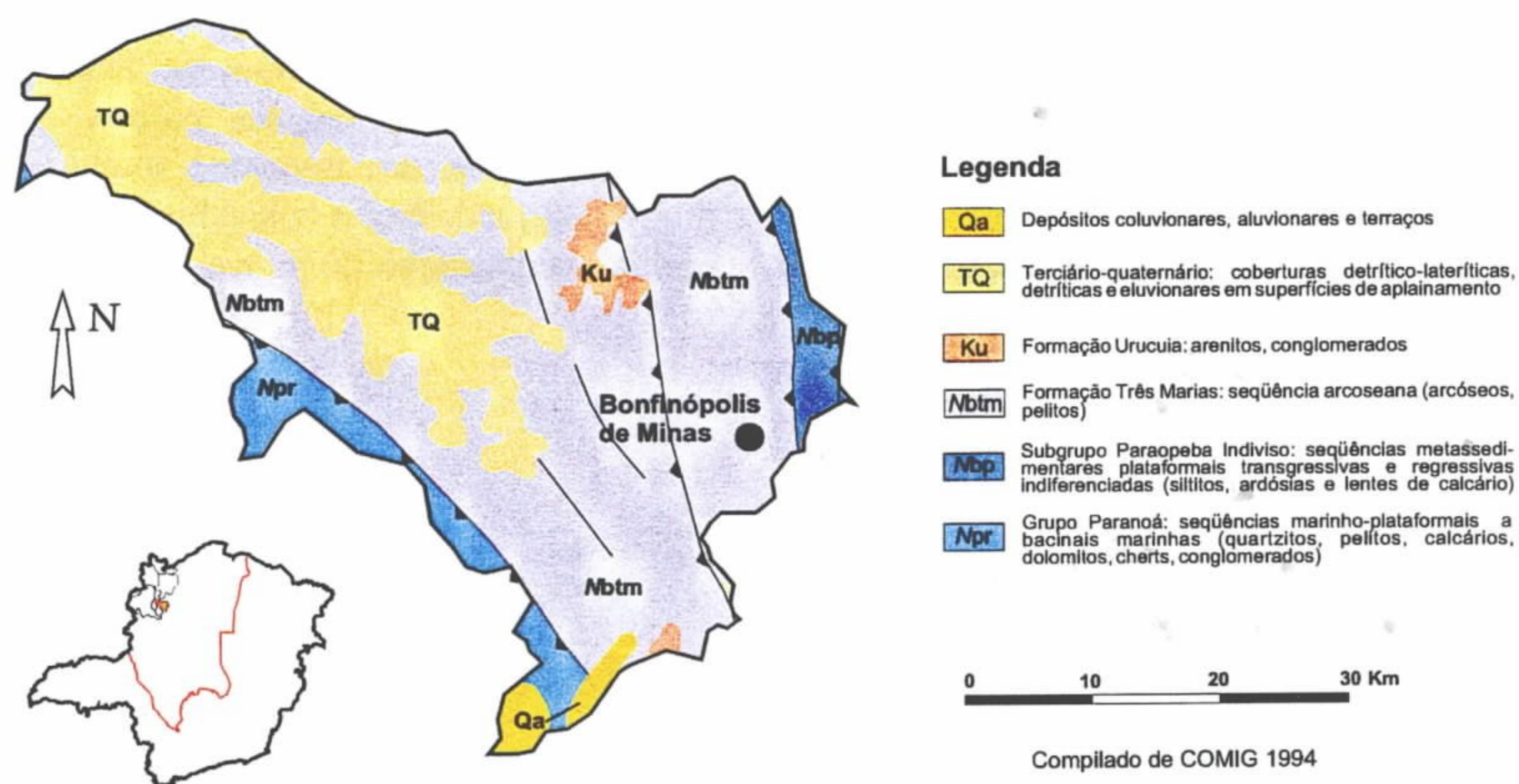


Figura 2 - Mapa Geológico do município de Bonfinópolis de Minas.

O Grupo Paranoá (Dardenne 1978 e 1979, *in* COMIG 1994), é constituído por seqüências marinho-plataformais e baciais marinhas, com predominância de quartzitos, pelitos, calcários, dolomitos, cherts e conglomerados.

Os litotipos do Grupo Bambuí constituem a principal cobertura sedimentar do Cráton do

São Francisco. De um modo geral, apresenta-se como uma seqüência metapelítica de aproximadamente 40m de espessura sobreposta a uma seqüência de calcários laminados com níveis milimétricos a centimétricos de metapelito ou às vezes ardósia. A litoestratigrafia original foi levantada por Branco & Costa (1961; *in* COMIG, 1994) e

depois ligeiramente modificada por outros autores.

A subdivisão do Grupo Bambuí compreende quatro formações (Serra da Saudade, Lagoa do Jacaré, Serra de Santa Helena e Sete Lagoas) englobadas no Subgrupo Paraopeba, abrangendo os depósitos de plataforma carbonática. A Formação Três Marias, que recobre esta sucessão pelito-carbonatada, por representar sedimentação siliciclástica, não foi incluída nesta unidade.

As rochas do Grupo Bambuí encontram-se deformadas pela tectônica Brasileira na borda ocidental da Bacia e localmente no interior do Cráton do São Francisco, como observado na Serra de São Domingos. Este evento gerou falhas inversas, através da reativação de antigas linhas de fraqueza do embasamento. Tais falhas colocam em contato as unidades inferiores do Paranoá com a Formação Três Marias e esta com as seqüências metassedimentares do Subgrupo Paraopeba. Ao longo dessas estruturas, o

mergulho das camadas apresenta-se subverticizado (Fotos 1 e 2 em anexos).

As rochas cretácicas são representadas pela Formação Urucuia, constituída por um pacote de arenitos bem selecionados, tendo na base conglomerados monomíticos com seixos de quartzo ou quartzito e arenitos argilosos. A espessura é variável de algumas dezenas de metros até 200m.

Na porção oeste-noroeste, recobrimdo as seqüências acima, ocorrem as coberturas detriticas cenozóicas de idade indiscriminada, encontradas sobre a superfície Sul-americana de aplainamento. São eluviões e coluviões, ocasionalmente associados a sedimentos aluvionares de canais suspensos que se apresentam em graus variados de laterização (Barbosa, 1970).

Os depósitos sedimentares inconsolidados do quaternário, encontram-se acumulados nos vales dos principais cursos d'água. Ocorrem ainda em encostas atuais e pré-atuais. São aluviões e coluviões relacionados com a esculturação do relevo atual.

## 8 - DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS

Três grandes unidades hidrogeológicas foram diferenciadas a partir da natureza da porosidade: aquíferos fissurado, granular e cárstico. Os primeiros são representados pelos metapelitos e quartzitos do Grupo Paranoá e Subgrupo Paraopeba e pelos arcóseos e siltitos da Formação Três Marias. Os aquíferos granulares compreendem os sedimentos cretácicos, terciários e quaternários. A unidade cárstica abrange os sedimentos carbonáticos dos grupos Bambuí e Paranoá. Dados litológicos, construtivos e análises químicas indicam ainda a captação de água a partir de sistemas mistos. Dentre os 37 poços cadastrados, 07 captam água do sistema cárstico, 06 do fissurado, 03 do granular e 04 do sistema misto (granular/cárstico, granular/fissurado e fissurado/cárstico). Os demais (17 poços), não puderam ser classificados, dada à falta de informações de natureza construtiva/litológica. Os aspectos locais, construtivos e hidráulicos mais relevantes foram reunidos em planilha apresentada no Anexo 1.

### 8.1 - Aquífero Cárstico

Esta unidade é constituída de calcários e dolomitos dos grupos Bambuí e Paranoá. O aquífero compõe-se de rochas, cuja permeabilidade depende, sobretudo, do grau de fraturamento e do desenvolvimento das cavidades e aberturas causadas pela dissolução dos carbonatos. A Foto 3 mostra sistema de fraturamento exibido por rocha carbonática nas proximidades de falhamento inverso. As condições de recarga são mais efetivas em áreas onde há drenança a partir dos aquíferos granulares sobrepostos e em

locais de aporte dos cursos d'água, em zonas preferenciais de recarga e circulação de águas subterrâneas, facilitadas pelas estruturas cársticas de dissolução.

A partir de resultados de testes de bombeamento executados em 06 poços da região Noroeste de Minas Gerais, foram obtidos valores de transmissividade hidráulica, que variam de  $1,1 \times 10^{-3}$  a  $9,9 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ , caracterizando o aquífero de regular a excelente (CETEC, 1981).

Essa unidade hidrogeológica, é alcançada a menores profundidades na região da Depressão Sanfranciscana, após atravessar a camada de material desagregado (incluindo o manto de alteração) com espessura em torno de 16m. Na região de chapadas, no entanto, o aquífero cárstico é recoberto por um pacote de sedimentos de até 300 m de espessura (CETEC, 1981) o que dificulta o aproveitamento desse sistema aquífero.

O nível estático médio da água (N.E.) é de 11,58m, determinado a partir de valores medidos (2 dados) e igual a 14,47m a partir de dados obtidos em boletins de perfuração (2 dados). A vazão média de teste é de  $13,84 \text{m}^3/\text{h}$  e a capacidade específica média equivalente a  $0,73 \text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ , ambas relativas a dois poços.

As profundidades dos poços variam de 69 a 146m, estando o valor médio relativo a seis dados, em torno de 96m. Poços perfurados neste sistema requerem revestimento não apenas da camada de solo e da porção de rocha semi-alterada, mas também de 0,5 a 2,0m cravados na rocha sã. Dados de entradas de água foram obtidos em somente

um poço e posicionam-se entre 11-12m e 22-25m de profundidade.

## 8.2 - Aquífero Fissurado

Ocorre ao longo de toda a Superfície Velhas (Depressão Sanfranciscana) sendo representado pelos arcóseos e metapelitos da Formação Três Marias, quartzitos e siltitos do Grupo Paranoá e rochas pelíticas do Subgrupo Paraopeba.

Caracteriza-se por apresentar permeabilidade derivada de fissuras e diáclases. Em geral, a capacidade dessas rochas de armazenar água e permitir apreciável circulação depende da extensão, continuidade e interligação dos fraturamentos, bem como da abertura ou volume de vazios causados por estas estruturas. A Foto 4 ilustra os sistemas de fraturas apresentados pelos metassiltitos do Subgrupo Paraopeba.

Resultados de testes de bombeamento realizados em 04 poços da região indicaram uma transmissividade entre  $1,5 \times 10^{-4}$  a  $7,4 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ , caracterizando o aquífero como de baixo fornecimento de água (CETEC, 1981). No entanto, poços perfurados nesse sistema, permitem o atendimento às demandas de comunidades rurais.

As possibilidades de infiltração direta de água nesse sistema, a partir das águas pluviais, são reduzidas, considerando que as fraturas constituem feições relativamente localizadas. A alimentação dos aquíferos pode se verificar principalmente nas zonas de coincidência ou de superposição entre as fraturas e a rede de drenagem, ou por infiltrações verticais descendentes através do manto de alteração ou dos aquíferos sobrejacentes de cobertura.

O encaixamento de drenagens em direções de zonas de fraturas, evidencia a possibilidade de infiltração através das aberturas da rocha, propiciando o armazenamento em

subsuperfície e constituindo um bom indicativo para locação de poços. As direções preferenciais de fraturas, conforme medidas de campo, são norte-noroeste e norte-nordeste

O aquífero fissurado, assim como o cárstico, pode ser interceptado a menores profundidades na região da Depressão Sanfranciscana, onde localmente ocorrem intercalados.

O nível estático da água nos poços é bastante variável, desde 7,0 a 25,0m, os valores encontrados "*in loco*" para dois poços desse sistema. Dados de N.E. obtidos de boletins de perfuração apontaram valor médio de 4,54 para 3 poços. A vazão média de teste, é de  $11,9 \text{m}^3/\text{h}$  e a vazão específica média igual a  $0,44 \text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ , ambas referentes também a 3 poços.

As profundidades dos poços variam de 75,0 a 144,0m, estando o valor médio, obtido a partir de seis dados, em torno de 94,0m. Nesse sistema, podem haver problemas na perfuração, principalmente em zonas intensamente fraturadas. Os poços requerem revestimento da camada de solo, da porção de rocha semi-alterada, mas também de 0,5 a 2,0m cravados na rocha sã.

## 8.3 - Aquífero Granular

São aquíferos onde a água subterrânea preenche os poros ou interstícios da rocha, sendo representados pelos depósitos aluviais recentes do Quaternário, por coluviões e coberturas detríticas do Terciário-Quaternário, e pelos sedimentos cretácicos. Ocorrem nos Planaltos Residuais do São Francisco e ao longo dos extensos pediplanos. São classificados em depósitos não consolidados, os quais envolvem os aquíferos aluviais, em depósitos de pedimentos terciário-quarternários e em depósitos clásticos consolidados



### 8.3.1 - Aqüíferos Aluviais

São constituídos por materiais muito finos, resultantes da erosão das ardósias e metapelitos do Grupo Bambuí, e por areias originadas da Formação Três Marias e das rochas cretácicas. As variações de composição granulométrica podem ser bastante acentuadas, sendo comuns as alternâncias de leitos arenosos, sílticos e argilosos, com menor frequência dos termos grosseiros ou depósitos de cascalho (CETEC, 1981).

Os aqüíferos aluviais correspondem aos depósitos do quaternário de origem fluvial. São encontrados ao longo da rede de drenagem, nos canais fluviais, nas planícies de inundação e nos terraços.

São caracterizados, em geral, como um meio de alta permeabilidade, podendo fornecer volumes expressivos de água. Constituem zonas de intensa troca de água com os cursos d'água, recebendo contribuições dos rios nos períodos de cheia e alimentando-os durante as estiagens. Não são aproveitados no município, em razão da inexpressiva extensão superficial

Com base na composição granulométrica, pode se admitir um valor médio para o coeficiente de transmissividade da ordem de  $150\text{m}^2/\text{dia}$  ( $1,7 \times 10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$ ) e uma porosidade eficaz de 15% (CETEC, 1981).

### 8.3.2 - Aqüífero de Depósitos Terciário-Quaternários

A unidade aqüífera do Terciário-Quaternário corresponde ao manto de alteração das rochas e aos depósitos detríticos de cobertura, constituídos, basicamente, de areias de granulação média a fina, misturadas com material argiloso, sendo também comuns os depósitos de cascalheiras com seixos de quartzo e quartzitos. Pode alcançar espessura de até 80m. Aparecem no topo das chapadas

e chapadões, representativos do aplainamento Sul-americano, e nas regiões pediplanizadas.

A recarga ocorre diretamente pela infiltração das águas meteóricas. Em áreas restritas, são também alimentados pelas aluviões sobrejacentes. Nas áreas onde esses depósitos recobrem as rochas impermeáveis e semi-impermeáveis do Grupo Bambuí, aparecem as fontes e surgências. Algumas delas possuem vazão elevada e contribuem de forma relevante na alimentação dos cursos d'água.

As condições geomorfológicas e hidrogeológicas de ocorrência dos aqüíferos terciário-quaternários, dificultam o aproveitamento da água subterrânea, em vista de possuírem, muitas vezes, pequenas espessuras ou localizarem-se, comumente, em zonas de recarga do aqüífero, onde o nível da água é geralmente muito profundo e a espessura saturada, pequena.

A porosidade eficaz pode variar muito devido à heterogeneidade da textura desses sedimentos, mas valores típicos estão próximos de 10%. A permeabilidade varia com a proporção de argilas e intercalações de leitos argilosos, sendo da ordem de  $1,7 \times 10^{-4}\text{m/s}$ . A transmissividade possui valor de  $1,9 \times 10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$  (CETEC, 1981).

### 8.3.3 - Aqüíferos Cretácicos

Os arenitos cretácicos, caracterizados como aqüíferos livres, podem atingir nas porções mais espessas até 300m (CETEC, 1981). São representados pela Formação Urucuia, de restrita distribuição superficial, aflorando somente na porção nordeste do município. É composta por arenitos avermelhados e, de forma subordinada, por conglomerados.

Esses aqüíferos fazem parte dos denominados "Planaltos Residuais do São Francisco". A recarga se faz a partir da infiltração de água de chuva, nas regiões de afloramento destas

rochas ou através do aquífero sobrejacente (depósitos terciário-quadernários), por toda a superfície das chapadas. Valores de coeficientes de infiltração situam-se entre 9 e 15% (CETEC, 1981).

As áreas de descargas principais situam-se no sopé das elevações, junto ao contato com o substrato impermeável do Grupo Bambuí. Nestes locais formam-se as veredas que constituem feições geomorfológicas notáveis. Tal como os aquíferos de sedimentos terciário-quadernário são pouco aproveitados em decorrência da localização em zonas de recarga, caracterizadas por níveis estáticos profundos e pequena espessura da camada saturada.

Cabe destacar o papel dos aquíferos cretácicos como reguladores do regime dos principais rios da região, contribuindo para a manutenção dos seus fluxos de base. O represamento das águas das veredas e seu uso para irrigação pode comprometer esta parcela substancial do escoamento total.

#### 8.3.4 - Aspectos Construtivos e Hidráulicos dos Poços nos Aquíferos Granulares

Em virtude do pequeno número de dados e falta de informações detalhadas não foi possível realizar a análise e caracterização individual dos sistemas aquíferos que compõem os aquíferos de porosidade granular. Desse modo, optou-se pelo tratamento em conjunto.

O nível estático da água foi medido em um poço, sendo o valor 2,0m. Dados de N.E., vazão e capacidade específica foram obtidos em boletins de perfuração para 2 poços: N.E. de 4,0 e 10,0m, com respectivas vazões e capacidades específicas de 20,84 e 5,55m<sup>3</sup>/h, e 1,39 e 0,11m<sup>3</sup>/h/m.

As profundidades de dois poços são 60,0 e 140,0m. Os poços requerem revestimento de toda coluna, em uma ou em várias seções de filtros, bem como a aplicação de pré-filtros. Em vista das características texturais e composicionais, recomenda-se o desenvolvimento prolongado para assegurar a adequada operacionalidade.

## 9 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

As características físico-químicas da água subterrânea dependem de fatores relativos ao próprio aquífero, tais como: a composição mineralógica da rocha, das condições de circulação e armazenamento da água, mas também de fatores externos como o clima, a composição da água da chuva e atividades antrópicas.

Visando estabelecer a caracterização físico-química da água subterrânea, foram realizadas 07 análises a partir de amostras selecionadas de acordo com os seguintes critérios: avaliação da existência de risco potencial de contaminação, representatividade quanto aos aquíferos e localização dos pontos amostrados dentro do município, de modo a permitir uma distribuição homogênea. Os poços públicos foram priorizados levando em conta tais critérios.

As sete amostras selecionadas foram analisadas pelo laboratório da SANEAR-Engenharia Sanitária, em termos de seus constituintes iônicos, bacteriológicos e de suas características físicas. Um grupo de 05 análises, cedidas pela COPASA, foram também utilizadas no estudo físico-químico. Planilhas contendo os principais dados químicos, físico-químicos e organolépticos são apresentadas no Anexo 2. A descrição dos parâmetros analisados quanto aos limites permitidos de potabilidade, origem, inconveniente/toxicidade e formas de tratamento encontra-se apresentada no Anexo 3.

Os constituintes iônicos analisados foram: cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ),

bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), ferro total ( $\text{Fe}^{+2} + \text{Fe}^{+3}$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), manganês total (Mn), fluoreto ( $\text{F}^-$ ), alumínio total (Al), sílica ( $\text{SiO}_2$ ), nitrogênio orgânico e amoniacal.

Quanto às propriedades físicas, determinou-se: turbidez, cor, alcalinidade, sólidos totais dissolvidos e durezas de carbonatos e de não carbonatos. Durante o cadastramento de campo foram feitas medidas "in loco" de condutividade elétrica, pH e de temperatura em 14 poços ativos e que se encontravam em condições de amostragem.

Dentre as sete amostras analisadas pela SANEAR, duas correspondem ao aquífero cárstico, quatro ao sistema misto e uma ao granular. Essas águas são classificadas, em conjunto, conforme o diagrama de Piper (Figura 3), como bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, havendo predomínio das primeiras. Para as cinco análises da COPASA, três referem-se ao aquífero fissurado, uma ao cárstico e outra não pôde ser identificada dada a falta de informações..

As águas do sistema cárstico tendem a possuir uma maior concentração de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , em razão da dissolução de calcários calcíticos e/ou dolomíticos. O teor de sódio no sistema fissurado, pode estar associado à dissolução de feldspatos sódicos presentes nos arcóseos e/ou assimilação pela água, através de trocas catiônicas, do íon adsorvido em argilominerais presentes em metassiltitos e ardósias. Este íon pode também ocorrer dissolvido na água de chuva e se concentra no solo ou na rocha em

regimes climáticos em que o déficit hídrico (evapotranspiração superior à precipitação) é elevado.

A única amostra do sistema granular, apresentou concentrações de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{HCO}_3^-$  elevadas se comparadas aos demais íons. O  $\text{Ca}^{+2}$  pode advir da dissolução de minerais como o feldspato e/ou gipso e o  $\text{HCO}_3^-$  pode ser resultante do  $\text{CO}_2$  atmosférico ou da decomposição de substâncias orgânicas existentes no solo. Os dois íons podem também ser originados de cimento carbonático presente entre os grãos dos sedimentos consolidados.

As amostras do sistema misto exibem características peculiares aos sistemas de origem: cárstico (teores elevados de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{HCO}_3^-$ ), fissurado (alta concentração de  $\text{Na}^+$ ) e granular (equivalência entre as proporções de cátions).

A condutividade elétrica é uma medida da facilidade da água em conduzir corrente elétrica, estando ligada à presença de sais dissolvidos na forma de íons. De um modo geral, o aquífero cárstico exhibe valores de condutividade elétrica acima das médias dos demais, com exceção do sistema misto, tendo média de  $428,67\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $25^\circ\text{C}$ . O sistema fissurado possui média de  $134,00\mu\text{S}/\text{cm}$  e o granular de  $30,85\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $25^\circ\text{C}$ . Para o sistema misto, a condutividade elétrica é de  $560,00\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $25^\circ\text{C}$ .

O pH da água é um parâmetro controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons presentes. Pode variar entre 1 e 14, apresentando valor neutro quando for igual a 7. As águas exibem caráter ácido

para valores de pH abaixo de 7 e básico para valores acima. Os sistemas cárstico, fissurado, granular e misto, mostraram os seguintes valores médios: 7,19; 6,12; 6,05 e 7,17, respectivamente.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) correspondem à concentração de todo material dissolvido na água, seja volátil ou não. O aquífero cárstico apresentou valor médio igual a  $257,0\text{mg}/\text{L}$ , o fissurado de  $93,0\text{mg}/\text{L}$  e o granular de  $21,0\text{mg}/\text{L}$ . A concentração mais elevada,  $392,0\text{mg}/\text{L}$ , refere-se ao sistema misto.

A dureza da água é a capacidade da mesma em neutralizar o sabão pelo efeito da presença, principalmente, de cálcio e magnésio, ou de outros elementos como ferro, manganês, etc. Águas do aquífero cárstico apresentaram média de dureza total equivalente a  $150,0\text{mg}/\text{L}$ , enquanto no fissurado esta média foi de  $92,0\text{mg}/\text{L}$ . A única amostra do sistema granular mostrou valor de dureza total de  $13,0\text{mg}/\text{L}$ . No sistema misto, o valor médio é de  $221,3\text{mg}/\text{L}$ .

A alcalinidade representa a capacidade da água em neutralizar ácidos devido à presença de carbonatos e bicarbonatos. Esses íons são, geralmente, resultantes da dissolução de rochas carbonáticas, por isso o aquífero cárstico é o que apresenta alcalinidade de bicarbonatos mais elevada, sendo o valor médio igual a  $221,83\text{mg}/\text{L}$ . A alcalinidade média do fissurado é de  $191,15\text{mg}/\text{L}$  e para a única amostra do granular, o valor da alcalinidade encontrado foi de  $15,0\text{mg}/\text{L}$ . Para o sistema misto, o valor médio é igual a  $221,47\text{mg}/\text{L}$ .

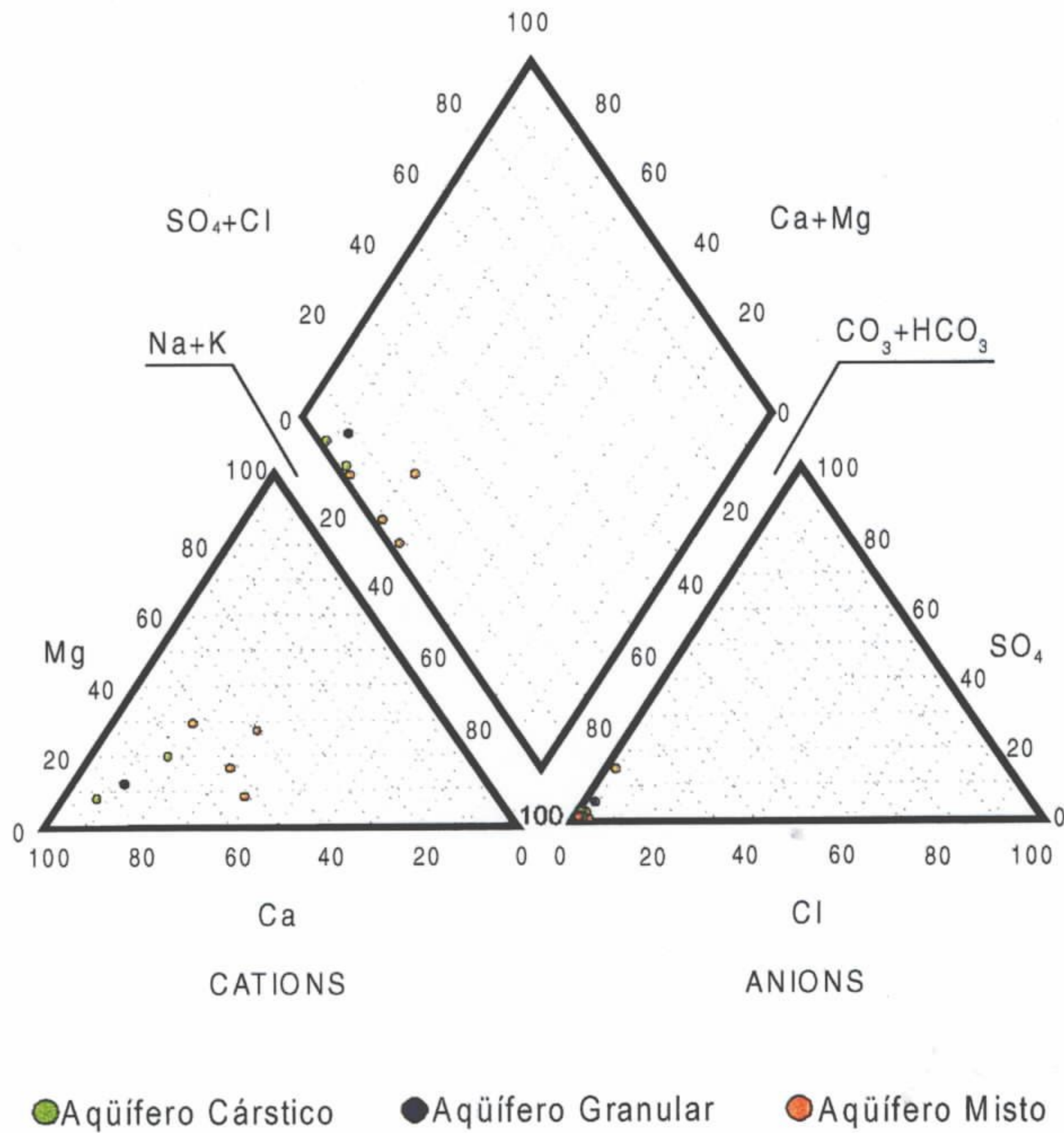


Figura 3 - Diagrama de Piper para os tipos aquíferos.

## 10 - CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Entende-se por contaminação, a alteração da qualidade físico-química e/ou biológica da água, suficiente para ultrapassar os limites ou padrões de tolerância pré-estabelecidos. Os padrões de qualidade da água dependerão do tipo de uso ao qual será destinada.

Os aquíferos mais propensos à contaminação correspondem aos sistemas granulares. Os aquíferos cársticos exibem alta vulnerabilidade nas regiões de afloramento, mas estas, por se tratarem de áreas serranas, não exibem atividade antrópica relevante. Quando sotopostos a uma sequência metapelítica ou espessa camada de depósitos de cobertura, mostram-se mais protegidos em virtude da possibilidade de atenuação e mesmo remoção dos contaminantes durante a infiltração. A situação de vulnerabilidade restringe-se a locais em que existem depósitos de cobertura pouco espessos recobrendo o sistema cárstico. Os aquíferos fissurados mostram-se relativamente menos vulneráveis, em vista da presença da cobertura cretácica ou terciário-quadernária, a não ser quando estas unidades estão ausentes, podendo haver contaminação através do sistema de fraturas.

O risco potencial de contaminação do aquífero foi avaliado, com base nas características construtivas e de manutenção dos poços. Dessa forma, foi considerado como risco potencial muito alto, o poço não cercado, sem a proteção sanitária e com problemas, tais como ausência de tampa e/ou orifício na mesma e o espaço anelar, entre o tubo de revestimento e a parede de perfuração, não preenchido (Fotos 5 e 6). Poços com risco potencial alto são aqueles que exibiam

algum desses problemas, mas mostravam-se cercados ou possuíam laje de concreto. O risco foi considerado médio, quando o poço encontrava-se com cerca e laje de proteção, mas com algum problema, não muito sério, relativo à manutenção ou operação. Ainda foram identificados poços com risco potencial baixo, sendo aqueles, que além de não apresentarem imperfeições de natureza construtiva ou manutenção inadequada, estavam protegidos com cerca e laje de concreto.

Com base nessas características, verificou-se que 9 (nove) poços públicos encontravam-se sob potencial de risco de contaminação muito alto, devido principalmente à irregularidade na desativação e abandono dos poços. Sob risco alto, identificou-se 1 (um) poço, sob risco médio 4 (quatro) e sob risco potencial baixo, 2 (dois) poços. A situação dos poços privados é menos preocupante, pois apenas 4 (quatro) estavam sob risco muito alto e 1 (um) sob risco alto. Treze poços encontravam-se sob risco médio e 3 (três) sob risco baixo. Com relação aos poços em produção, ao todo 14 (quatorze), 8 (oito) encontravam-se sob risco potencial médio, 5 (cinco) sob risco baixo e apenas um sob risco alto. A Figura 4 ilustra a proporção das situações potenciais de risco apresentadas.

A contaminação por atividades domésticas compreende toda sorte de introdução no aquífero de compostos de natureza orgânica e biológica originada de fossas sépticas, fossas negras, vazamentos de redes de esgoto e chorumes de aterros sanitários. Na zona rural, foi encontrado somente um poço

localizado à pequena distância de fossa negra. A existência de contaminação por rompimentos da rede de esgoto e por fossas na sede municipal, apesar de não constatada, é de ocorrência possível.

As atividades de pecuária constituem, na região, a principal fonte potencial de contaminação para as águas subterrâneas. Dezoito poços foram encontrados nas proximidades de currais.

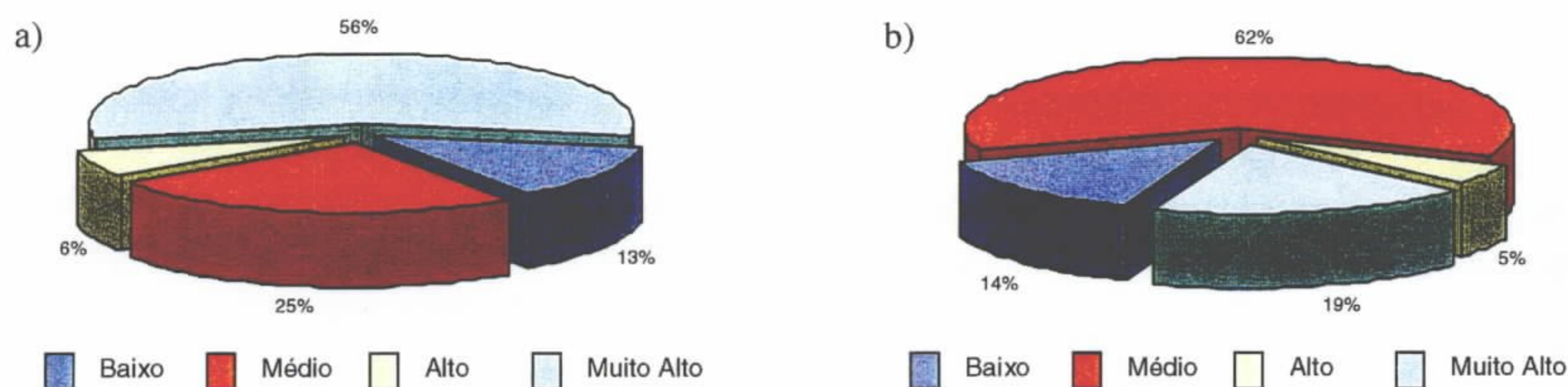


Figura 4 - Diagrama da situação dos poços quanto ao risco de contaminação: a) Setor Público e b) Setor Privado.

A agricultura contribui potencialmente para a introdução de diversos tipos de contaminantes no sistema aquífero. As principais formas de contaminação são decorrentes de: 1) irrigação contínua, provocando a salinização do solo; 2) utilização de fertilizantes orgânicos (dejetos humanos e de animais) e inorgânicos (à base de nitratos, fosfatos e potássio); 3) emprego de agrotóxico (inseticidas, herbicidas, praguicidas, etc.); 4) aplicação de sulfato de cálcio como corretivo do solo. O uso de pesticidas é especialmente preocupante, em vista da expansão da área agricultável e a comprovação de seu lançamento maciço em alguns locais.

Em 14 (quatorze) poços não foram constatadas situações que pudessem comprometer a qualidade da água. Dentre os 14 (quatorze) poços produtivos, 8 (oito) localizavam-se próximos a currais, 1 (um) próximo à área de cultivo e em 5 (cinco) poços não foram identificadas fontes potenciais de contaminação.

A contaminação das águas subterrâneas por derivados de petróleo pode ocorrer pela operação incorreta ou falta de manutenção de compressores a diesel, resultando no extravasamento do óleo junto ao poço ou

ainda, através de vazamentos de tanques de armazenamento de combustíveis em posto de gasolina. Foram encontrados, especialmente na zona rural, vários compressores localizados muito próximos aos poços, com óleo derramado no solo ao seu redor.

Os poços mal construídos e os abandonados, não lacrados, constituem importantes condutos para o fluxo vertical, direto e sem diluição, de poluentes que podem atingir zonas aquíferas relativamente protegidas da contaminação. As análises físico-químicas e bacteriológicas de poços em produção indicam a severidade e extensão do problema construtivo (Figura 5). Os parâmetros que ocorrem com maior frequência, acima dos limites de potabilidade, são turbidez, ferro, manganês, cor e coliformes totais. A má qualidade das águas reflete, em parte, a construção deficiente, seja por não apresentar selo sanitário e cimentação, seja pela má seleção ou falta de critério técnico na escolha da abertura dos filtros e da granulometria do pré-filtro ou mesmo pela ausência de desenvolvimento. A intensificação dos problemas, muitas vezes decorrente do uso prolongado, conduz ao abandono do poço.

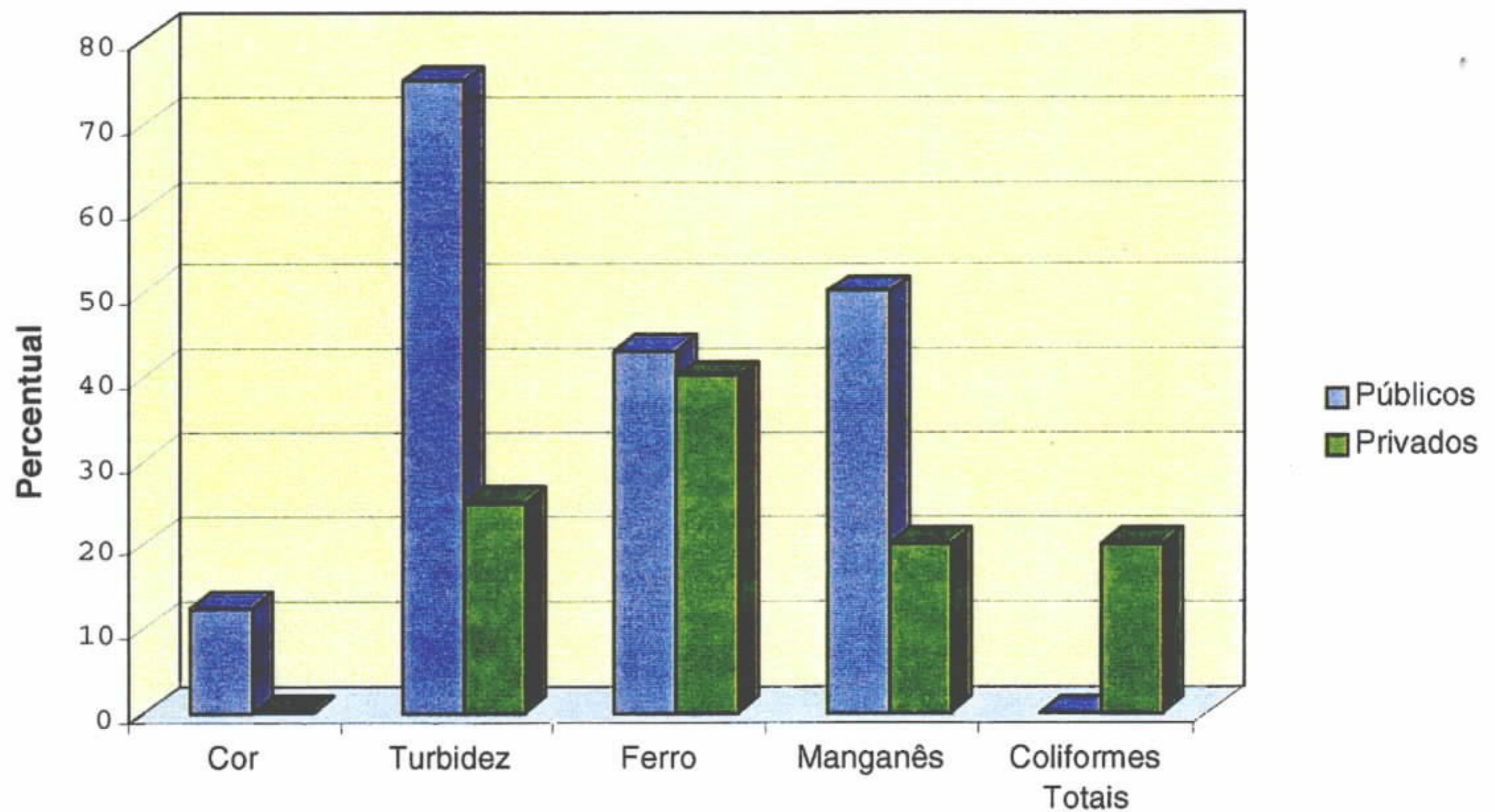


Figura 5 - Proporção dos parâmetros acima dos níveis de potabilidade.

Os poços abandonados, de maneira geral, não recebem o tratamento recomendado que consiste na selagem com material impermeável ou cimento. São encontrados em várias situações, tais como: com a bomba em seu interior; com tampa de madeira ou de metal (soldada ou não); com cobertura de plástico ou borracha;

destampados; preenchidos com areia ou cascalho e com evidências de solapamento das paredes laterais pela infiltração e percolação da água superficial ao longo do revestimento. Dessa maneira, servem de veículo para todo tipo de contaminante, desde resíduos tóxicos até animais mortos e dejetos.



## 11 - O USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A água subterrânea vem se destacando, nos últimos anos, como uma importante fonte alternativa de abastecimento. Conforme observado no levantamento de campo, a ampliação das áreas irrigadas com o uso de pivôs juntamente com o barramento de nascentes que alimentam os cursos d'água, têm provocado redução nas vazões das drenagens, em especial naquelas de menor porte. Este fato reflete-se na intensificação das perfurações, de tal forma que 39% (12) dos poços cadastrados, com indicação do ano de perfuração, foram construídos a partir de 1995.

A água subterrânea tem atualmente um papel significativo para o abastecimento público, contribuindo como parcela complementar no atendimento às áreas urbanas e como praticamente único manancial nas zonas rurais. O aproveitamento da água subterrânea é feito basicamente através de poços tubulares, poços escavados e captação de nascentes. Regiões com maior potencial hidrogeológico, em especial aquelas inseridas no domínio de terrenos cársticos, têm no recurso subterrâneo, uma fonte potencial importante.

O aproveitamento dos aquíferos granulares é feito comumente através de poços escavados. No entanto, poços tubulares são também encontrados nas chapadas onde as espessuras das coberturas sedimentares são mais expressivas. Quanto aos aquíferos fissurados e cársticos, a única forma de captação consiste de poços tubulares. Na sua maioria, os poços atravessam o material de cobertura e a seqüência metapelítica, captando água exclusivamente do sistema cárstico sotoposto.

Na zona rural, o recurso subterrâneo é utilizado basicamente para abastecimento doméstico e dessedentação animal. Nos períodos chuvosos, vários poços são paralisados e o atendimento da demanda é feito por meio de captações de cursos d'água.

A aptidão para as diversas formas de uso (consumo humano, agrícola e industrial) da água subterrânea relaciona-se às características hidroquímicas. As diferenças nas concentrações de íons e nas propriedades físico-químicas demonstradas pelos sistemas aquíferos fazem com que estes apresentem vocações específicas.

### 11.1 - Uso da Água para o Consumo Humano

A qualidade da água para o consumo humano é baseada na portaria número 36/1990 do Ministério da Saúde, que estabelece vários limites de potabilidade em relação aos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos. Conforme demonstrado no item de contaminação, as águas subterrâneas do município apresentam, em proporção elevada, restrições de consumo vinculadas a alguns aspectos físicos, organolépticos, químicos e bacteriológicos. Grande parte dos problemas de qualidade da água está relacionado a fatores construtivos, operacionais ou de localização da obra de captação com referência a focos contaminantes.

Concentrações médias de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Al}$  e  $\text{F}^-$  são relativamente baixas em todas as amostras, considerando-

se os limites para o consumo humano. Entretanto, dentre as 12 análises, cinco apresentaram concentração média de ferro total acima do limite de potabilidade, com valor igual a 1,02mg/L (limite = 0,30mg/L), duas das quais correspondem a amostras recentes de poços que estão em produção e três referem-se a dados analíticos antigos, de poços que atualmente encontram-se abandonados. Alto teor de ferro em água de poço tubular, pode ser originado de minerais ferromagnesianos ou de cimentos em arenitos, como também relacionado à ocorrência de ferrobactérias ou à corrosão do revestimento e/ou do filtro. A carência de ferro no organismo humano pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes.

Com referência à concentração de manganês, dentre as 12 análises, cinco apresentaram teor acima do limite de potabilidade, com uma média de 0,25mg/L (limite = 0,10mg/L) das quais uma corresponde a um poço ativo e o restante a poços abandonados. O manganês é menos abundante que o ferro nas rochas e em decorrência disto, também nas águas naturais.

A cor da água pode evidenciar algum tipo de contaminação, estando associada, principalmente, às substâncias orgânicas dissolvidas na mesma. As sete amostras coletadas no Projeto, apresentaram valores abaixo do limite de potabilidade (equivalentes a 5,0Pt/L). Dentre as 5 análises da COPASA, realizadas nas décadas de 70 e 80, apenas uma está acima deste limite, no entanto o poço encontra-se atualmente abandonado e preenchido com terra/entulho.

A turbidez representa a dificuldade da água em transmitir a luz, devido à contaminação por sólidos em suspensão (silte, argila, matéria orgânica, entre outros). Dentre as sete amostras coletadas, apenas duas

exibiram valores acima do limite de potabilidade (1UNT), equivalentes a 10,77 e 7,59UNT. Os dados analíticos da COPASA, referentes a 5 poços, mostraram valores acima daquele fixado para consumo, porém, 2 deles encontram-se desativados, 3 abandonados e 1 tamponado.

Exames bacteriológicos foram realizados em sete amostras, para verificar uma possível contaminação da água. Constatou-se que em apenas um poço foi detectado a presença de coliformes totais (4NMP em 100mL). É importante ressaltar que a presença de coliformes em número inferior a 10NPM/100mL deve ser confirmada através de análises sucessivas. A portaria número 36/1990 fixa que em análises periódicas 95% das amostras devem apresentar ausência de coliformes totais em 100 ml, e nas 5% restantes serão tolerados até 10 coliformes totais em 100 mL, desde que não ocorram em duas análises consecutivas.

### **11.2 - Uso Agrícola e na Pecuária**

Para avaliar o risco de sodificação do solo foi adotado o critério proposto pelo United States Salinity Laboratory - U.S.S.L. que se baseia na razão de adsorção de sódio (SAR) e na condutividade elétrica. A análise dos diagramas elaborados para cada tipo aquífero (Figura 6) permite prever as suas aptidões para o cultivo.

A maioria das amostras possui baixa razão de sódio e condutividade elétrica média entre 250 e 750 $\mu$ s/cm a 25°C. Em relação ao uso agrícola, isso significa que estas águas podem ser usadas na maioria dos solos, com pequena chance de se promover a redução da permeabilidade dos mesmos, o que tornaria a terra infértil e difícil de ser arada. O cultivo de plantas moderadamente tolerantes aos sais, pode ser feito, sem exigência de controle rígido.

Em relação à pecuária, verifica-se que não há restrição quanto ao uso da água na dessedentação animal. Segundo Logan, 1965 (*in* Feitosa & Filho, 1997), o gado deve consumir água com valor de sólidos totais dissolvidos menor ou igual a 2.500mg/L. De acordo com os dados obtidos, o valor máximo de STD encontrado é 716,80mg/L. Portanto, todas as águas analisadas são apropriadas para o uso animal.

A classificação da água quanto ao consumo animal, levando em consideração o resíduo seco, estabelece que, se a concentração estiver entre 7.800 a 9.375mg/L, a água é suportável pelo gado (Bateman apud Costa, 1979; *in* Feitosa e Filho, 1997). O valor máximo de resíduo seco encontrado nas águas estudadas é igual a 538,95mg/L, teor bem inferior aos limites acima sugeridos, o que torna seu uso apropriado para a dessedentação animal.

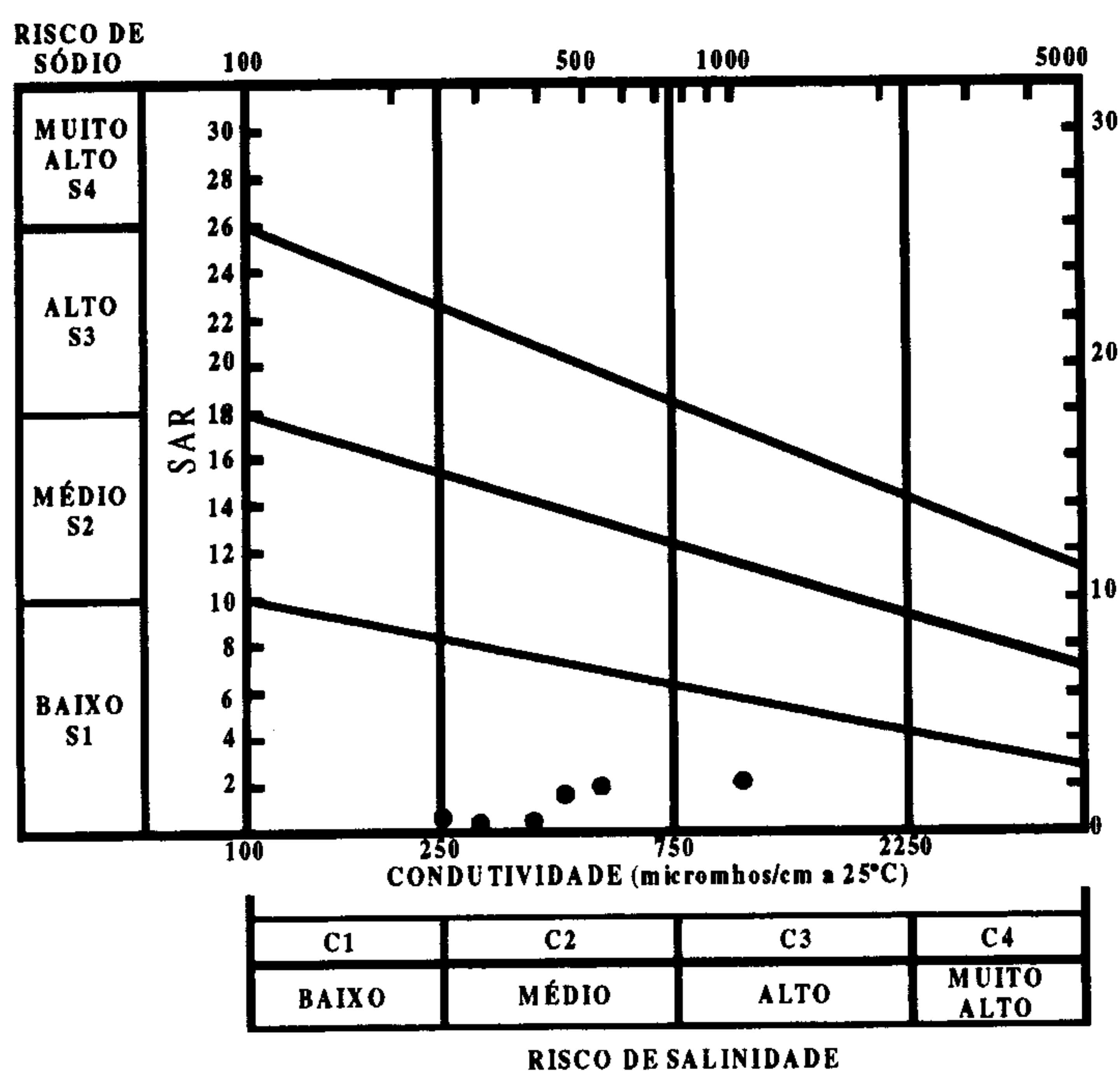


Figura 6 - Diagrama de Wilcox.

### 11.3 - Uso na Indústria

Os padrões de qualidade da água para o uso industrial são variáveis, devido à grande diversidade de indústrias. A capacidade de ataque químico pela água, é um parâmetro que afeta a maioria das indústrias. Assim sendo, procurou-se determinar a agressividade, a neutralidade ou a incrustabilidade da água, a partir das médias de pH "in loco", da temperatura e da alcalinidade total, alcançando-se o índice de estabilidade de carbonato de cálcio.

Dessa forma, verificou-se, segundo a classificação de Custódio & Llamas, 1993 (*in* Feitosa & Filho, 1997), baseada nos valores do índice de estabilidade do carbonato de cálcio (índice de Rysnar), que dentre os 7 poços analisados, 2 exibiram águas pouco incrustantes ou agressivas, um água agressiva, 3 águas francamente agressivas e 1 água muito agressiva. Há restrição quanto ao uso dessas águas na maioria das indústrias. Entretanto, a qualidade natural da água poderá ser modificada através de tratamento, sendo neste caso, recomendada

uma avaliação técnica, para verificar sua viabilidade econômica.

Quanto aos padrões de dureza e alcalinidade, as águas do aquífero cárstico, com base na análise de 3 poços, não se adequam aos requisitos exigidos para diversos tipos de indústrias, em decorrência dos valores médios elevados de dureza (entorno de 200,0mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ) e alcalinidade (entorno de 220,0mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ). As águas do aquífero fissurado não são apropriadas para a refrigeração e para as indústrias de bebidas, curtume, têxtil e papel, devido aos valores de dureza (média de 92,75mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ), baseado na análise de 3 poços. O emprego extensivo das águas destes dois tipos aquíferos requer a adoção de técnicas

de abrandamento. Já os aquíferos granulares exibem características hidroquímicas que permitem seu uso generalizado em praticamente todas as atividades industriais, exceto quanto ao caráter agressivo, como exposto anteriormente.

Vale destacar que o ferro apresenta-se, para 4 poços (dentre 12 análises), acima dos limites industriais aceitáveis. É provável que estas concentrações decorram de problemas construtivos e operacionais, já que não é um elemento abundante nos aquíferos, em especial nos cársticos e fissurados. Portanto, espera-se que poços corretamente construídos apresentem valores menores, permitindo o uso industrial mais abrangente.

## 12 - DIAGNÓSTICO ATUAL DA EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Levantou-se um total de 37 poços, sendo 21 pertencentes ao setor privado e 16 ao público. Atualmente 14 poços estão ativos, 05 tamponados, 06 desativados, 09 são

considerados secos e 03 foram abandonados. A Figura 7 apresenta as proporções da situação atual dos poços para os setores público e privado.

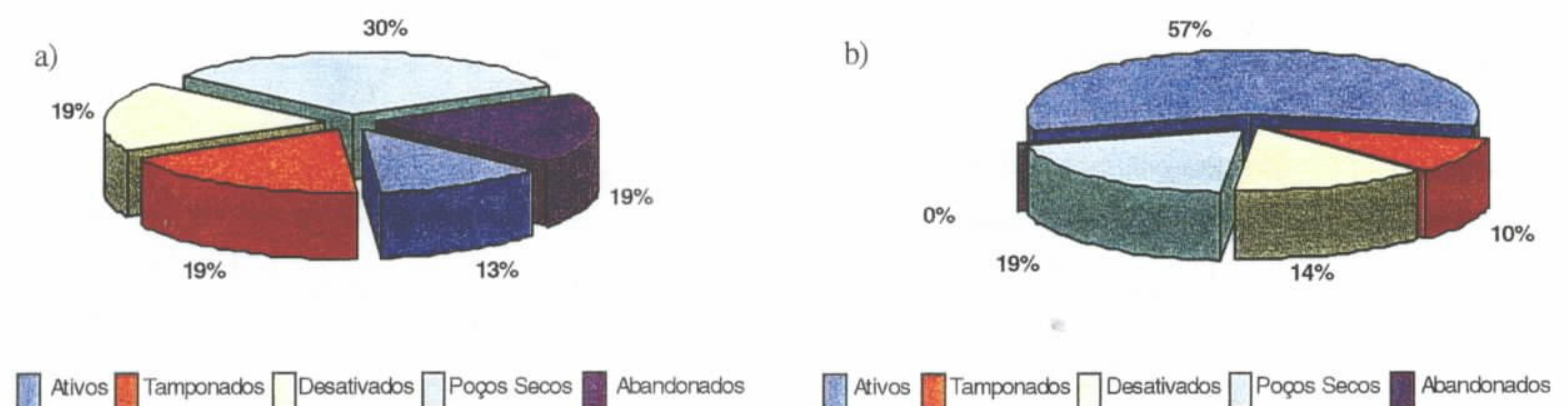


Figura 7 - Diagrama da situação atual dos poços: a) Setor Público e b) Setor Privado.

Poços tamponados correspondem àqueles que se encontram fechados com tampa, necessitando de equipamentos, como compressor ou bomba, para serem colocados em produção. Os poços desativados referem-se àqueles que chegaram a produzir água durante um determinado período e por algum motivo tiveram sua produção paralisada, mas são passíveis de serem reativados. O poço foi designado como abandonado, quando a sua paralisação ocorreu há algum tempo e seu estado físico atual é precário (ausência de tampa, revestimento danificado, entupimento, etc), o que vem a impedir sua reativação, a não ser que se proceda a avaliações e intervenções mais complexas. Poços secos são àqueles que não deram nenhum volume de água.

O aquífero cárstico é o mais explorado, contribuindo com 06 poços ativos e um abandonado. O sistema fissurado apresenta

apenas um poço ativo, dois estão abandonados, um seco e dois desativados. No domínio granular, encontram-se dois poços ativos e um tamponado. No sistema misto, os quatro poços estão em produção.

O setor público é responsável pela a maioria dos poços desativados e abandonados na sede, devido à mudança da fonte de abastecimento, com a captação e tratamento da água do ribeirão das Almas, pela COPASA.

A maioria dos poços localizam-se na região da Depressão Sanfranciscana, abrangendo a sede do município e muitas propriedades rurais, onde se encontra a maior densidade populacional. Atualmente, um mínimo de 520 pessoas estão fazendo uso da água de poços tubulares profundos, sendo 250 abastecidas pelo setor público e 270 por sistemas

particulares. O uso para a dessedentação animal é mais intenso no período de estiagem e abrange um número de 2.765 cabeças de gado. É importante ressaltar a imprecisão desses dados de utilização da água subterrânea considerando que em áreas urbanas, onde o sistema de abastecimento é misto, não se tem um número aproximado de pessoas que se utilizam exclusivamente da água subterrânea. Do mesmo modo, a informação do número de cabeças de gado é, muitas vezes, fornecida por proprietários e

empregados com bastante desconfiança e cautela.

Na tentativa de estabelecer a estimativa da disponibilidade atual e a possibilidade de expansão do volume explorado de água, a partir da reativação de poços desativados e tamponados, foi elaborado o Quadro 1 a seguir. Os setores público e privado, em conjunto, poderão aumentar a disponibilidade de água em até 79%, caso os poços desativados e tamponados sejam colocados em produção.

Quadro 1 - Estimativa da disponibilidade atual e da expansão do volume explorado.

Poços Tubulares	Estimativa da Disponibilidade Atual			Estimativa da Expansão			
	Poços Ativos	Qm (m <sup>3</sup> /h)	Qm total (m <sup>3</sup> /h)	Poços Desativados e Tamponados	Qm (m <sup>3</sup> /h)	Qm total (m <sup>3</sup> /h)	Porcentagem de Aumento da Disponibilidade
Setor Público	2	10,92	21,84	6	10,92	65,52	300%
Setor Privado	12	10,92	131,04	5	10,92	54,6	42%
Total	14		152,88	11		120,12	79%

Obs.: Qm = vazão média de teste para todos os tipos de aquíferos

Levando-se em consideração o abastecimento doméstico, urbano e dessedentação animal, tem-se que a demanda diária máxima de água captada por poços tubulares é de 32,15m<sup>3</sup>/h para 16 horas de bombeamento/dia. No entanto, enquanto a produção potencial dos 14 poços ativos, considerando

vazão média de 10,92m<sup>3</sup>/h, é equivalente a 152,88m<sup>3</sup>/h (ver QUADRO 1 acima). Somando-se esse valor aos 120,12m<sup>3</sup>/h relativos à disponibilidade potencial de poços desativados e tamponados, verifica-se que o volume captado poderá ser ampliado em aproximadamente oito vezes.

## 13 - PRINCIPAIS QUESTÕES RELACIONADAS À OUTORGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE MINAS GERAIS

- É preciso ter consciência da importância da utilização racional e conservação qualitativa dos recursos hídricos para que situações de conflito de uso sejam evitadas.
- Princípios, normas e padrões inovadores de gestão dos recursos hídricos foram estabelecidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 e pela Política Estadual de Recursos Hídricos, estabelecida em Minas Gerais pela Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Um dos principais instrumentos de gestão criados corresponde à outorga de direito de uso concedido pelo poder público (estadual ou federal), que representa o licenciamento obrigatório assegurando e regulamentando a utilização racional dos recursos hídricos. Nesse contexto, o princípio da gestão participativa e descentralizada representa um mecanismo de atuação democrática, na medida em que garante a participação dos usuários, da sociedade civil organizada, de ONGs e demais entidades nos processos decisórios das bacias hidrográficas, através dos comitês, considerados “os parlamentos das águas”.
- A utilização do sistema de outorga pelos respectivos órgãos gestores proporciona uma visualização das condições quantitativas e qualitativas da água já comprometida pelo uso, permitindo, assim, atuar de modo eficaz na gestão dos recursos hídricos, ajustando e equilibrando a disponibilidade, demanda e condições ambientais. Não deve ser entendido como um sistema punitivo, mas regulativo.

*A seguir são apresentadas questões sobre outorga da água subterrânea no Estado de Minas Gerais (extraídas do documento resultante do Workshop de Outorga e Perfuração de Poços realizado em Belo Horizonte, no dia 29 de setembro de 2000, pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas):*

- De acordo com o artigo 5º da lei estadual nº 13.199, as solicitações de outorga, para uso das águas de domínio estadual, devem ser feitas ao IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas, tendo em vista que as águas subterrâneas são de domínio dos estados.
- Antes de perfurar o poço deve ser solicitada a autorização para perfuração. Após a perfuração solicita-se a outorga de uso das águas. A concessão de outorgas é válida por um período máximo de 5 anos, para direito privado e de 20 anos para direito público. Já para as explorações consideradas insignificantes, são fornecidas certidões para o período de dois anos. Para a última modalidade não são cobradas taxas relativas à solicitação de uso.
- A documentação requerida para solicitação da outorga de uso das águas subterrâneas é fornecida em disquetes ou em papel e consta dos seguintes documentos: carta

de requerimento, os formulários técnicos (água subterrânea, cadastro de poço tubular e cadastro da qualidade da água de poço tubular), o relatório técnico e o protocolo (atestado de entrega da documentação). A elaboração do relatório técnico e o preenchimento dos formulários deve estar sob a responsabilidade de um geólogo, engenheiro de Minas ou engenheiro-geólogo. Somente estes profissionais estão habilitados para o acompanhamento técnico de obras de captação de água subterrânea.

- A análise química é exigida somente quando o poço é destinado ao consumo humano, ou em situações de risco, onde se precisa analisar os potenciais para contaminação.
- O relatório técnico deve conter a caracterização geológica e hidrogeológica

local e avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos. O grau de exigência do relatório para exploração de águas subterrâneas depende da complexidade do sistema geológico e hidrogeológico, dos conflitos de uso e da vazão a ser explorada.

- Nem todos os pedidos de outorga são julgados pelo IGAM. Existem pedidos que devem ser aprovados pelos comitês de bacias e, na sua falta, pelo COPAM. De acordo com a deliberação normativa COPAM nº 37, de 08/10/99, ficam sujeitos a esta autorização os empreendimentos de grande porte ou com potencial poluidor, como por exemplo: captações em cabeceiras de bacias ou em unidades de preservação ambiental, rebaixamentos de lençol freático, etc.



## 14 - CONCLUSÕES

- A intensificação das perfurações, a partir de 1995 deve-se, em parte, ao aumento das áreas irrigadas, com o uso de pivôs-centrais. Muitas vezes a reservação necessária foi obtida através do barramento de veredas, solução condenável pelos impactos negativos que promove.
- Os aquíferos cárstico e fissurado são os sistemas mais explorados, por localizarem-se na região da Depressão Sanfranciscana, onde há maior concentração populacional. Os aquíferos granulares representados por sedimentos terciário-quaternários, são pouco aproveitados dada a expressiva oferta de água superficial nos locais de ocorrência (chapadas).
- Os aquíferos cárstico e fissurado são interceptados à pequenas profundidades (em torno de 15m), na região da Depressão Sanfranciscana, sendo o cárstico o mais aproveitado, com seis poços em produção. O aquífero fissurado contribui com um poço ativo e o misto (granular/cárstico) com 4. O aquífero granular apresenta 2 poços produtivos.
- O sistema fissurado é caracterizado como um sistema de baixo fornecimento de água, mas com potencial para o abastecimento de comunidades rurais.
- As águas são classificadas, em conjunto, como bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, havendo predomínio do primeiro tipo.
- Com base nas características construtivas, verificou-se que 9 poços públicos (56 % do total) e 4 poços (19 %) relativos ao setor privado encontravam-se sob risco potencial muito alto de contaminação. O risco potencial elevado de contaminação deve-se principalmente à desativação e ao abandono irregular dos poços. Dentre os poços produtivos (14), 8 encontravam-se sob risco potencial médio, 5 sob risco baixo e apenas um sob risco alto.
- As principais fontes potenciais de contaminação dos poços tubulares na zona rural correspondem aos currais, tendo sido identificados 18 poços tubulares (48%) próximos a essas construções. Na área urbana, as fontes potenciais de contaminação são os lixões (doméstico e industrial) e possíveis vazamentos na rede de esgoto e de tanques de combustível. O uso de pesticidas nas áreas de cultura é especialmente preocupante em vista da toxicidade destes compostos e a dificuldade de remoção do solo e principalmente do aquífero, quando atingido.
- A qualidade da água subterrânea determinada com base na análise de sete poços, não indica qualquer restrição quanto ao uso agrícola ou na pecuária. No entanto, para o uso industrial, recomenda-se uma avaliação técnica para verificar sua viabilidade econômica, já que essas águas exibiram caráter natural agressivo.
- Em relação ao consumo humano, para alguns poços, as concentrações de ferro e de manganês, bem como valores de turbidez da água, superaram os limites estabelecidos pela portaria 36/1990 do Ministério da Saúde. Os exames bacteriológicos apontaram contaminação por

coliformes totais em apenas um poço, com um número de 4,0 em 100 mL. O restante das análises, inclusive em termos de coliformes e estreptococos fecais, indicaram valores abaixo de 2,0 em 100mL. O Ministério da Saúde (portaria número 36/1990) estabelece que em análises periódicas 95% das amostras devem apresentar ausência de coliformes totais em 100ml e nos 5% restantes serão tolerados até 10 coliformes totais em 100mL, desde que não ocorram em duas análises consecutivas. A presença desses parâmetros bacteriológicos é indicativo de contaminação da água por microorganismos patogênicos, recomendando-se exames periódicos para sua confirmação e adoção

de medidas preventivas e/ou de procedimentos de desinfecção.

- O volume de água subterrânea atualmente explotado ( $32,15\text{m}^3/\text{h}$ ), correspondente a uma estimativa mínima para abastecimento doméstico, urbano e pecuária, poderá ser expandido em oito vezes a partir da reativação de poços tamponados e desativados. Quando se considera a disponibilidade atual de produção ( $152,9\text{m}^3/\text{h}$ ), calculada a partir da média das vazões de teste dos poços ativos ( $10,9\text{m}^3/\text{h}$ ), esse aumento alcança 79%, o que equivale, somente para o setor público, um incremento na produção de 300%.

## 15 - RECOMENDAÇÕES

- Para se evitar que os mananciais de água subterrânea sejam contaminados deve-se adotar as seguintes medidas de precaução (CETESB, 1987; Dacach, 1979 e Leves et al., 1988):
  - Afastamento adequado dos possíveis focos de contaminação, observando-se as distâncias mínimas de:
    - Fossas secas, tanques sépticos, linhas de esgoto: 15 metros;
    - Poços absorventes, linhas de irrigação subsuperficial e estábulos e currais: 30 metros;
    - Fossas negras (solução condenada): 45 metros;
    - Depósitos de lixo e estrumeiras: 15 metros;
    - Localização do fundo das fossas secas e dos poços absorventes: 2 a 3 metros acima do lençol freático.
  - Localização das instalações de esgotamento sanitário, depósitos de lixos, currais e estábulos em cota mais baixa que a fonte ou poço;
  - Construção de valetas divisoras de águas de enxurrada;
  - Construção de cercados, a uma distância mínima de 30 metros da fonte ou poço, para impedir o acesso de animais;
  - Proteção da tomada de água de fonte por intermédio de caixas cobertas e fechadas. Manter os poços (cisternas) cobertos, e com revestimento impermeável até cerca de 3 a 4 metros de profundidade, prolongando uns 30 centímetros acima do solo;
- Retirada da água por tubulação;
- A fim de evitar entrada de águas externas (p.ex. no caso de ocorrer transbordamento de um curso d'água), o tubo de revestimento deve sobressair no mínimo 0,50 metros do terreno. Envolvendo totalmente esta porção saliente do tubo deve ser construída uma laje de concreto, fundida no local. A laje de proteção deve ter declividade do centro para a borda, espessura mínima de 15 centímetros e área não inferior a 1m<sup>2</sup>;
- Deve-se assegurar que foi feita a cimentação do poço tubular. A cimentação consiste em preencher com cimento o espaço anelar entre o tubo de revestimento e o orifício da perfuração e tem como objetivo evitar a infiltração vertical de água e contaminantes pela parte externa do poço, ou seja, através de percolação pelas paredes do tubo. A título de exemplo, para materiais não consolidados (saibro) com espessura igual ou superior a 10 metros, devem ser cimentados os 5 metros superiores;
- O poço deve ser lacrado com chapa soldada, tampa rosqueável com cadeado ou válvula de segurança;
- Quando, por qualquer motivo, um poço for desativado, este deve ser convenientemente selado a fim de evitar a contaminação de águas subterrâneas por substâncias indesejáveis ou no caso de poços jorrantes, evitar as perdas de água. Os materiais mais empregados

para selagem dos poços são: concreto, cimento, argila e areia.

- Obras de captação de água subterrânea devem ser executadas por empresas de perfuração tecnicamente habilitadas e com registro no CREA. A empresa deverá seguir as normas técnicas para a construção de poços (NB-1290), com base no projeto construtivo (NB-588). Tais normas estabe-

lecem o acompanhamento da obra por profissional de nível superior (geólogo ou engenheiro de minas), amostragem da água do poço para análise físico-química e bacteriológica, o fornecimento ao cliente de relatório de perfuração contendo os dados construtivos, perfil litológico, planilha de teste de bombeamento, medidas dos níveis estático e dinâmico e vazão de teste.

## 16 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL - Agência nacional de Energia Elétrica. Análise de Consistência de Dados Pluviométricos da Bacia do Rio São Francisco - Mapa de Isoetas de Precipitação. Belo Horizonte: CPRM/ANEEL, 1997.
- APPELO, C.J.A. & POSTMA D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Netherlands, A.A. Balkema Publishers. 1994. 250p.
- BARBOSA, O. *Projeto Goiânia*. Goiânia. DNPM. 1970. 74p.
- CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Planoroeste: hidrogeologia subterrânea*. Belo Horizonte: CETEC, 1981. v.2.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água*. São Paulo. 1987.
- CHADHA, D. K. A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. *Hydrogeology Journal*, New Delhy, v. 7, n. 5, oct., 1999, p.431-439.
- COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais. *Nota explicativa dos mapas geológicos, metalogenéticos e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, 1994. 97p.
- CUSTÓDIO, E., LLAMAS, M., R., *Hidrologia Subterrânea* Barcelona: Ed. Ômega, 1976. v.2.
- DACACH, N.G. *Saneamento Básico*. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos. 1979.
- DOMENICO, P.A. & SCHWARTZ, F.W. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Willey & Sons. 1990. 824p.
- ENCICLOPÉDIA DOS MUNICÍPIOS MINEIROS: Bonfinópolis de Minas - Belo Horizonte; Armazém de Idéias, 1998. Vol. 2, pg. 70.
- FEITOSA, F.A. & FILHO, J.M. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM / UFPE - Laboratório de Hidrogeologia, 1997. 412p.
- INDI - Instituto de Desenvolvimento de Minas Gerais. Boletim de Sócio-Economia da Microrregião de Unaí: município de Bonfinópolis de Minas. Belo Horizonte: BDMG/INDI, 1999.
- JULIÃO, J. Apostila da disciplina química sanitária e ambiental. Material exclusivo para treinamento não comercializado. Belo Horizonte. 1995. 124p.
- LEVES, W.J., FOSTER, S., DRASAR, B.S. *Análisis de Contaminacion de las Águas Subterráneas por Sistemas de Saneamento Básico*. Centro Panamericano de Ingenieria

- Sanitária. Programa Regional de Prevencion e Control de la Contaminacion de Águas Subterráneas, Lima, Peru. 1988. 102p.
- MESTRINHO, S.S.P. Apostila de curso de contaminação de aquíferos. Material exclusivo para treinamento não comercializado. Belo Horizonte. 1996. 99p.
- PATRUS, M. R.A. Estudo Hidrológico e de Qualidade de Água. Belo Horizonte. IBAMA/CPRM, 1998. v.1. In: APA Carste de Lagoa Santa; Meio Físico.
- PINTO, M.C.F. 2000. Parâmetros de Qualidade de Água. CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Belo Horizonte. Relatório Interno. 9p.
- PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PARACATU (PLANPAR). R3-Inventário de Recursos Hídricos, Tomo III - Hidrogeologia, Volume 1 - Texto e Anexos. Seapa-MG/Ruralminas, Consórcio Magna/ Dam/ Eyser. Belo Horizonte. 1996.
- PORTO, R.L., BRANCO, S.M., CLEARY, R.W., COIMBRA, R.M., EIGER, S., LUCA, S.J., NOGUEIRA, V.P.Q., PORTO, M.F.A. *Hidrologia Ambiental*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Editora da Universidade de São Paulo. 1991.v.3.
- SPERLING, M. von S. Apostila de ensino sobre Qualidade de Água. Material exclusivo para treinamento não comercializado. Belo Horizonte. 35p.
- VIANNA, M. R. 1992. *Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento da Água*. Belo Horizonte. Instituto de Engenharia Aplicada.

# **ANEXO 1**

---

Características Locacionais, Construtivas, Hidráulicas e Físico-Químicas 'in loco'

Nº do Ponto	Município	Localidade	Setor	Coordenadas		Data da Perfuração	Profundidade (m)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h.m)	Situação do poço	Tipo de Aquífero	Parâmetros "in loco"			
				Longitude UTME	Latitude UTMN									pH	C.E (mmho/cm)	STD	Temp. (oC)
BON-01	Bonfinópolis de Minas	CASEMG	Particular	395055	8168912	05/06/90	108,00	25,03	39,42	15,30	1,06	Ativo	Cárstico	6,68	305,00	213,50	26,10
BON-02	Bonfinópolis de Minas	Rua Manoel Luis Brandão, 347	Público	394722	8167926	11/09/80	69,10	3,90	34,93	12,38	0,40	Abandonado	Cárstico				
BON-03	Bonfinópolis de Minas	Rua Dalva de Abreu, s/n	Público	394759	8167464	12/07/77	84,50	5,15	27,65	23,22	1,03	Desativado	Fissurado				
BON-04	Bonfinópolis de Minas	Av. Tenente João Bispo	Público	394548	8167492	01/04/81	80,00	2,50	33,90	9,65	0,31	Abandonado	Fissurado				
BON-05	Bonfinópolis de Minas	Rua Nossa Senhora Aparecida	Público	394466	8167968	08/12/79	100,00	8,40	55,14	3,99	0,09	Desativado	Indefinido				
BON-06	Bonfinópolis de Minas	Rua São José	Público	394277	8167898	29/04/81	75,00	2,50	35,57	5,98	0,18	Abandonado	Fissurado				
BON-07	Bonfinópolis de Minas	Sede - COPASA	Público	394720	8168745	23/02/81	78,00	8,00	47,77	8,75	0,22	Desativado	Fissurado				
BON-08	Bonfinópolis de Minas	Faz. Santo Antônio do Roçado	Particular	391979	8170981	1986	146,00					Ativo	Cárstico	7,23	546,00	382,20	24,80
BON-09	Bonfinópolis de Minas	Faz. Santo Antônio do Roçado	Particular	391872	8171219	1986	74,00					Ativo	Misto	7,18	534,00	373,80	24,70
BON-10	Bonfinópolis de Minas	Santo Antônio do Barreiro	Particular	394188	8165737	1993	134,00					Poço Seco	Indefinido				
BON-11	Bonfinópolis de Minas	Faz. St. Antônio do Barreiro - Angico	Particular	389441	8166689	Out/96	42,00					Ativo	Misto	7,40	1024,00	716,80	25,70
BON-12	Bonfinópolis de Minas	Faz. Santo Antonio do Barreiro - Vargem Bonita	Particular	390135	8164994	1998	120,00					Poço Seco	Indefinido				
BON-13	Bonfinópolis de Minas	Faz. Santo Antônio do Barreiro	Particular	393831	8166514	Out/95	103,00					Ativo	Cárstico	7,20	476,00	333,20	25,90
BON-14	Bonfinópolis de Minas	Faz. Bastardo	Particular	395162	8171600	19/07/98	60,00	6,00	14,00	30,40	3,80	Tamponado	Indefinido				
BON-15	Bonfinópolis de Minas	Faz. Bela Vista	Particular	394307	8173291	Jul/93	104,00					Ativo	Fissurado	6,12	134,00	93,80	27,90
BON-16	Bonfinópolis de Minas	Faz. Morro do Gaeiro	Particular	392896	8174609	21/07/98	133,15	0,00	0,00	0,00		Poço Seco	Indefinido				
BON-17	Bonfinópolis de Minas	Santo Antônio do Roçado - Saco da Roça	Público	392507	8178867	1984	80,00					Ativo	Cárstico	7,43	372,00	260,40	27,10
BON-18	Bonfinópolis de Minas	Saco da Roça/Caraibas	Particular	390010	8179229	24/07/98	90,00	14,00	48,00	6,60	0,19	Tamponado	Indefinido				
BON-19	Bonfinópolis de Minas	Santo Antônio do Roçado - Canabrava	Público	386987	8179790	1990	85,00					Ativo	Misto	6,86	430,00	301,00	27,80
BON-20	Bonfinópolis de Minas	Morro do Galheiro	Público	396525	8176046	1998	121,10	22,00	73,00	3,30	0,06	Poço Seco	Indefinido				

Valores em vermelho indicam dados calculados



## Características Locacionais, Construtivas, Hidráulicas e Físico-Químicas 'in loco'

Nº do Ponto	Município	Localidade	Setor	Coordenadas		Data da Perfuração	Profundidade (m)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h.m)	Situação do poço	Tipo de Aquífero	Parâmetros "in loco"			
				Longitude UTME	Latitude UTMN									pH	C.E (mmho/cm)	STD	Temp. (oC)
BON-21	Bonfinópolis de Minas	Santo Antônio do Roçado - Riacho dos Machados	Público	398519	8176877	Ago/98	120,00					Tamponado	Indefinido				
BON-22	Bonfinópolis de Minas	Lagoa do Xisto	Público	399837	8185724	31/07/98	60,00	4,00	19,00	20,84	1,39	Tamponado	Granular				
BON-23	Bonfinópolis de Minas	Riacho da Calda	Público	395201	8181926	Ago/98	120,00		60,00	1,20	0,02	Poço Seco	Indefinido				
BON-24	Bonfinópolis de Minas	Lajinha do Boi	Público	394551	8187179	13/08/98	90,00	9,00	51,00	3,30	0,08	Tamponado	Indefinido				
BON-25	Bonfinópolis de Minas	Lajinha do Boi	Público	394050	8188527	Ago/98	128,00					Poço Seco	Indefinido				
BON-26	Bonfinópolis de Minas	Assa-Peixe - Lote nº 05 do INCRA	Particular	381662	8190643	12/02/95	71,00					Poço Seco	Indefinido				
BON-27	Bonfinópolis de Minas	Assa-Peixe - Igreja Nossa Senhora Aparecida	Público	381066	8189049	26/02/95	144,00					Poço Seco	Fissurado				
BON-28	Bonfinópolis de Minas	Riacho das Pedras	Público	384273	8162990	1984	80,00					Poço Seco	Indefinido				
BON-29	Bonfinópolis de Minas	Lote 11 - Área I do Projeto de Colon.de Bonfinópolis de Minas	Particular	353741	8187714							Desativado	Indefinido				
BON-30	Bonfinópolis de Minas	Faz. Matinha-Lote 03 - Área I	Particular	352104	8185750							Desativado	Indefinido				
BON-31	Bonfinópolis de Minas	Faz. Santo Antonio do Barreiro - Lote 04 (PRODECER)	Particular	352520	8186317	1988	124,00					Desativado	Indefinido				
BON-32	Bonfinópolis de Minas	Agropecuária YKK Ltda	Particular	371269	8172487							Ativo	Granular	6,01	15,20	10,64	27,30
BON-33	Bonfinópolis de Minas	Faz.Santo Antonio do Barreiro	Particular	372203	8174667		140,00	10,00	60,00	5,55	0,11	Ativo	Granular	6,09	46,50	32,55	27,10
BON-34	Bonfinópolis de Minas	Faz. Boqueirão	Particular	380310	8146539	Nov/97	102,00					Ativo	Indefinido	6,08	129,40	90,58	31,20
BON-35	Bonfinópolis de Minas	Faz. de Baixo	Particular	376155	8147553							Ativo	Cárstico	7,22	554,00	387,80	27,90
BON-36	Bonfinópolis de Minas	Faz. de Baixo	Particular	377946	8144546		70,80					Ativo	Cárstico	7,36	319,00	223,30	28,20
BON-37	Bonfinópolis de Minas	Faz. Bela Vista do Boqueirão	Particular	386272	8151422	25/04/87	110,00	25,00	49,00	4,80	0,20	Ativo	Misto	7,23	252,00	176,40	28,80

Valores em vermelho indicam dados calculados

## **ANEXO 2**

---

Características Organolépticas, Físico-Químicas, Químicas e Bacteriológicas

Nº do Ponto	Município	Localidade	Data da Coleta	Cor (mg/Pt)	Turbidez (unt)	Sólidos Totais (mg/L)	Dureza Total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Ca <sup>+2</sup> (mg/L)	Mg <sup>+2</sup> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe Total (mg/L)	Mn (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	F <sup>-</sup> (mg/L)	Fosfato Total em P	Coliformes Totais (em 100ml)
BON-01	Bonfinópolis de Minas	CASEMG	14/12/99	<1,00	0,58	298,50	241,58	9,12	1,04	87,13	5,77	312,32	ND	2,85	0,26	<0,05	<0,05	<0,05	<0,001	<0,05	<0,01	<2,00
BON-02	Bonfinópolis de Minas	Rua Manoel Luis Brandão, 347	11/09/80	29,00	28,00									2,50	62,00	0,41	0,01	4,14	0,020			
BON-03	Bonfinópolis de Minas	Rua Dalva de Abreu, s/n	11/07/77	2,50	2,70									4,85	5,00	0,72	0,02		0,001			
BON-04	Bonfinópolis de Minas	Av. Tenente João Bispo	06/04/81	2,50	7,80	416,30		42,32	2,06						8,00	0,60	0,15	2,60	0,001	0,03		
BON-05	Bonfinópolis de Minas	Rua Nossa Senhora Aparecida	10/12/79	2,00	3,60			24,61	0,70						5,00		0,15					
BON-06	Bonfinópolis de Minas	Rua São José	22/09/77	5,00	11,00										2,00	0,07	0,55		0,001			
BON-07	Bonfinópolis de Minas	Sede - COPASA	26/02/81	5,00	49,00										21,00	0,20	0,25	0,66	0,001	0,19		
BON-07	Bonfinópolis de Minas	Sede - COPASA	09/03/81		4,00	295,40		22,70	1,99						21,40		0,05					
BON-09	Bonfinópolis de Minas	Fazenda Santo Antônio do Roçado	29/09/99	4,00	10,77	427,80	260,00	76,54	1,60	88,00	9,72	443,47	ND	4,48	2,50	1,83	0,16	<0,01	<0,001	<0,05	0,05	4,00
BON-11	Bonfinópolis de Minas	Fazenda Santo Antônio do Barreiro - Angico	29/09/99	<1,00	0,89		345,00	73,31	1,60	104,00	20,65	483,73		72,81	1,50	0,23	<0,05	<0,01	0,055	<0,05	0,02	<2,00
BON-17	Bonfinópolis de Minas	Santo Antônio do Roçado - Saco da Roça	29/09/99	<1,00	0,56	325,10	184,00	15,20	1,33	56,00	10,69	253,15	ND	3,96	0,25	0,13	0,05	<0,01	0,007	<0,05	0,02	<2,00
BON-19	Bonfinópolis de Minas	Santo Antônio do Roçado - Canabrava	29/09/99	<1,00	0,34	328,00	168,00	34,72	1,21	39,20	17,01	290,36	ND	2,39	2,00	0,11	<0,05	<0,01	0,007	0,25	0,02	<2,00
BON-32	Bonfinópolis de Minas	Agropecuária YKK Ltda	18/11/99	<1,00	7,59	63,90	13,00	0,80	<0,1	4,40	0,49	18,30	ND	0,89	<0,25	1,55	<0,05	<0,05	<0,001	0,40	<0,01	<2,00
BON-37	Bonfinópolis de Minas	Fazenda Bela Vista do Boqueirão	14/12/99	1,00	0,90	176,40	112,87	9,77	1,71	29,31	9,62	153,72	8,00	0,80	0,51	<0,05	<0,05	<0,05	<0,001	<0,05	0,03	<2,00

Valores em vermelho indicam dados calculados

## **ANEXO 3**

---

### Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

Parâmetros	Limites máximos permissíveis	Características Gerais	Origem	Inconvenientes/ toxicidade	Formas de tratamento
Temperatura		<ul style="list-style-type: none"> <li>Consiste na medição da intensidade de calor. Medida em graus centígrados (°C).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo).</li> <li>origem antropogênica (intervenção humana): águas de torres de resfriamento, despejos industriais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elevações nas temperaturas aumentam a taxa de reações químicas e biológicas podendo intensificar a corrosão, incrustação e a atividade bacteriológica.</li> <li>Elevações de temperatura aumentam a taxa de transferência de gases podendo gerar mau cheiro, no caso da liberação de gases com odores desagradáveis.</li> </ul>	
Turbidez	1 UT*1	<ul style="list-style-type: none"> <li>É a dificuldade da penetração da luz nas águas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Partículas em suspensão (plânctons, bactérias, argilas, siltes) e partículas orgânicas e inorgânicas finamente divididas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inconvenientes relacionados ao abastecimento urbano - aumento dos custos, comprometimento da desinfecção por cloro e dificuldade na filtração.</li> <li>Inconvenientes de natureza estética.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os materiais que causam turbidez são bastante variáveis, portanto é praticamente impossível estabelecer regras fixas para removê-la. Para valores baixos de turbidez (&lt; 40UT e cor &lt;20UH) pode-se utilizar filtros lentos de areia, precedidos ou não de decantação, conforme o caso. Para valores maiores recomenda-se tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção).</li> </ul>
pH - potencial hidrogeniônico	6,5 a 8,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>É a relação numérica que expressa o equilíbrio entre íons (H<sup>+</sup>) e (OH<sup>-</sup>). Apresenta variação entre 0 a 14, sendo 7,0 o valor neutro. Águas com pH &lt; 7,0 são consideradas ácidas, e com pH &gt; 7,0, básicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alterações naturais advêm da presença de ácidos carbônicos e húmicos (provenientes do solo) dissolvidos.</li> <li>As maiores alterações no pH são provocadas por despejos industriais e águas residuárias de minas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Águas com pH baixo são agressivas, podendo causar corrosão em tubulações e águas com pH elevado indicam possibilidade de incrustações nas tubulações.</li> <li>Alterações bruscas de pH (&lt;5,0 ou &gt;9,0) podem causar o desaparecimento de espécies aquáticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>O controle da corrosão e/ou incrustação relativa ao pH tem sido feito nas estações de tratamento brasileiras através da adição de cal ao final do processo.</li> </ul>
Cor	5 UH*1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resulta da presença de sólidos totais nas suas diversas frações. Os sólidos correspondem a todas as impurezas das águas com exceção de gases dissolvidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: decomposição de matéria orgânica, presença de íons metálicos (Ferro e Manganês), presença de plâncton.</li> <li>Origem antropogênica (atividade humana): componentes orgânicos e inorgânicos de origem industrial ou agrícola.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inconvenientes econômicos (uso industrial) e estéticos (abastecimento público).</li> <li>Inconvenientes sanitários quando decorrente de efluentes industriais.</li> <li>A cloração da água contendo matéria orgânica dissolvida pode gerar produtos potencialmente cancerígenos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Da mesma forma que a turbidez, a cor advém de materiais variados. Pode-se utilizar filtros lentos de areia, precedidos ou não de decantação para valores baixos de cor (&lt;20UH e turbidez &lt; 40UT). Recomenda-se tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção) para valores mais elevados.</li> </ul>

### Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

Parâmetros	Limites máximos permissíveis	Características Gerais	Origem	Inconvenientes/ toxicidade	Formas de tratamento
Condutividade Elétrica		<ul style="list-style-type: none"> <li>É a capacidade da água transmitir corrente elétrica. Apresenta relação proporcional à concentração de substâncias iônicas dissolvidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>É determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Grandes variações decorrem de lançamentos de despejos industriais e de mineração e esgotos domésticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condutividade elétrica elevada pode estar relacionada a alterações de sabor e problemas de corrosão ou incrustação em tubulações e reservatórios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dependendo da natureza das substâncias dissolvidas o tratamento deverá ser direcionado para remoção da dureza ou extração dos sólidos totais dissolvidos.</li> </ul>
Dureza Total	500 mg/L CaCO <sub>3</sub> <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>É caracterizada pela dificuldade de formação de espuma pelo uso de sabões. É dada pela concentração de cátions em solução, em especial o cálcio e o magnésio. Pode ser classificada como dureza de carbonato e dureza de não-carbonato dependendo do ânion com a qual ele está associada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio (ex.: rochas calcárias).</li> <li>Grandes teores provêm de despejos de indústrias têxteis, químicas, lavanderias e curtumes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inibe a formação de espuma</li> <li>Formação de incrustações nas tubulações e equipamentos</li> <li>Sabor desagradável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A remoção da dureza pode ser feita pelos seguintes métodos:               <ul style="list-style-type: none"> <li>adição de cal e soda em quantidade precisamente calculada;</li> <li>utilização de substâncias (resinas sintéticas) que promovem a troca iônica extraindo o cálcio e o magnésio da água.</li> </ul> </li> </ul>
Na <sup>+</sup> (sódio) K <sup>+</sup> (potássio) Mg <sup>+2</sup> (magnésio) Ca <sup>+2</sup> (cálcio) HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (bicarbonato)		<ul style="list-style-type: none"> <li>A quase totalidade dos íons dissolvidos nas águas é constituída por estes íons os quais são determinantes dos aspectos químicos das águas. Teores acima do padrão regional poderão indicar contaminação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sódio: dissolução de rochas ricas em feldspato, rochas compostas por sais, efluentes urbanos e industriais.</li> <li>Potássio: dissolução de rochas ricas em feldspato e mica, efluentes industriais, minerários e agrícolas.</li> <li>Magnésio: dissolução de rochas ricas em minerais contendo Mg (dolomita, serpentina, piroxênio, anfibólio, olivina, mica).</li> <li>Cálcio: dissolução de rochas ricas em minerais contendo Ca (carbonato, gipso, feldspato, anfibólio).</li> <li>Bicarbonato: no CO<sub>2</sub> atmosférico e no CO<sub>2</sub> proveniente da decomposição da matéria orgânica no solo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cálcio e magnésio: contribuem para a dureza da água e na produção de incrustações nas tubulações.</li> <li>Sódio: é prejudicial às plantas pois reduz a permeabilidade do solo dificultando a infiltração da água. Também cria problemas de espumas em caldeiras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cálcio e magnésio: tratamento indicado para dureza (conferir abaixo).</li> <li>Sódio: tratamento indicado para sólidos dissolvidos (conferir abaixo).</li> </ul>

### Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

Parâmetros	Limites máximos permissíveis	Características Gerais	Origem	Inconvenientes/ toxicidade	Formas de tratamento
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	400 mg/L <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substância aniônica moderada a altamente solúvel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: atmosfera, dissolução de minerais que contêm o íon sulfato (gipso), oxidação de minerais que contêm enxofre na estrutura (sulfetos) presentes na rocha.</li> <li>Origem antropogênica: lançamento de esgotos e despejos industriais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Odor, sabor amargo.</li> <li>Corrosão nas tubulações.</li> <li>Efeito catártico (purgativo).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adição de cal e soda em quantidade precisamente calculada (abrandamento por cal).</li> <li>Tratamento com membrana semi-permeável (ver tratamento para sólidos totais dissolvidos).</li> </ul>
Fósforo (Fosfato total em P)		<ul style="list-style-type: none"> <li>O fósforo na água apresenta-se nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: dissolução de compostos do solo, decomposição de matéria orgânica.</li> <li>Origem antropogênica: despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Não apresenta problemas de ordem sanitária nas águas de abastecimento.</li> </ul>	
CL <sup>-</sup> (Cloro)	250 mg/L <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>É um dos principais ânions inorgânicos presentes na água e em efluentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: dissolução de sais presentes na rocha, atmosfera e concentração no solo pela evapotranspiração (evaporação da água do solo e transpiração das plantas).</li> <li>Origem antropogênica: resíduo da indústria de álcool (vinhaça), fertilizantes inorgânicos, esgoto industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gosto desagradável</li> <li>Complicações para a saúde em teores acima de 600mg/L.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para valores entre 250 e 600 exige-se coagulação, seguida ou não de decantação, filtração e desinfecção (Tratamento Convencional).</li> <li>Para valores acima de 600 além do tratamento convencional deve-se adotar métodos complementares.</li> <li>Alternativamente pode-se usar dessalinizadores para valores acima de 250mg/L.</li> </ul>
Alumínio	0,2 mg/L <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condições físico-químicas particulares favorecem ou não a solubilidade deste íon.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alumínio é abundante nas rochas e minerais. O aumento de seu teor nas águas é decorrente do lançamento de efluentes industriais, esgotos domésticos, resíduos industriais, de minerações e de produtos utilizados na agricultura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Não é considerado tóxico ou prejudicial à saúde, mas há interesse em se controlar a concentração nas águas de abastecimento público e industrial, para prevenir precipitações e sedimentações.</li> </ul>	

### Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

Parâmetros	Limites máximos permissíveis	Características Gerais	Origem	Inconvenientes/ toxicidade	Formas de tratamento
F <sup>-</sup> (Fluoretos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>As concentrações de fluoreto em água potável são estabelecidas considerando a quantidade de fluoretos ingerida diariamente, uma vez que a ingestão de água varia com a temperatura ambiente. Para temperaturas médias anuais entre 14,7° C e 32,6° C o limite mínimo para consumo é de 0,6mg/L (32,6° C) e o máximo de 1,5mg/L (14,7° C).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>São essenciais em águas para consumo humano em concentrações baixas (0,6 a 1,2mg/L) para prevenção de cáries infantis. Maiores concentrações são prejudiciais à saúde.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sua presença em águas naturais não poluídas deve-se ao contato com rochas que contenham flúor, nesse caso seu teor raramente ultrapassa 1,0 mg/L.</li> <li>Maiores concentrações ocorrem devido ao lançamento de despejos de indústrias químicas, de vidro, de beneficiamento de minério, dentre outras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentrações altas, entre 8,0 e 20,0mg/L são prejudiciais à saúde por causar fluorose dental em crianças e fluorose endêmica cumulativa, com conseqüentes lesões esqueléticas em crianças e adultos.</li> <li>Doses excessivas são letais ao homem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os intervalos de concentração de fluoreto para fins de tratamento devem ser analisados juntamente com o valores de coliformes, pH, cloretos, turbidez e cor.</li> <li>Para valores menores de 1,5mg/L apenas a desinfecção é suficiente.</li> <li>Para valores entre 1,5 e 3,0mg/L é exigida a filtração (filtros lentos de areia), precedida ou não de decantação.</li> <li>Para valores acima de 3,0mg/L recomenda-se tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção).</li> </ul>
Nitrogênio Orgânico	0,03mg/L <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>É todo o nitrogênio presente em compostos orgânicos como proteínas, aminoácidos, aminos, amidos, nitro-derivados e outros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: presente em matéria orgânica não decomposta.</li> <li>Origem antropogênica: lançamentos de esgotos domésticos e lançamentos de origem orgânica.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Emprega-se a oxidação: compreende a aplicação de um oxidante na água, sendo convencional o emprego de cloro, da ozona e do permanganato de potássio.</li> </ul>
Nitrogênio amoniacal	0,05mg/L <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resultante da decomposição do nitrogênio orgânico pela ação de bactérias saprófitas (que se nutrem de restos de animais e plantas em decomposição).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: decomposição de matéria orgânica.</li> <li>Origem antropogênica: indústria química (fibras sintéticas), fertilizantes, combustíveis, efluentes sanitários.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sua presença indica contaminação recente e perigosa, pois favorece a multiplicação de microorganismos.</li> <li>Concentrações acima de 2,5mg/L são tóxicas para algumas espécies de peixes de água doce.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aeração - introdução de ar na massa de água, pois o nitrogênio amoniacal é um composto altamente volátil. Pode-se adotar sistemas mais simples do tipo cascata, tabuleiro ou repuxo.</li> </ul>
Sólidos Totais Dissolvidos	1000 ppm	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corresponde ao peso de todas substâncias dissolvidas na água, sejam estas voláteis ou não.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os sólidos dissolvidos são naturalmente encontrados nas águas devido ao desgaste das rochas pela água. Grandes concentrações decorrem do lançamento de esgotos domésticos e despejos industriais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excesso de sólidos dissolvidos na água pode causar alterações de sabor e problemas de corrosão em tubulações e reservatórios. Em águas utilizadas para irrigação, pode gerar problemas de salinização do solo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>São usados sistemas de separação por membranas. O sistema mais comum utiliza uma corrente de alimentação (a água salinizada) pressurizada fluindo paralelamente à superfície da membrana, deixando para trás as partículas rejeitadas que se juntam à parcela remanescente da corrente de alimentação. Existem, portanto duas correntes de saída: a solução que passou através da membrana (reduzida em até 95% dos sais dissolvidos) e a solução concentrada remanescente (rejeito). São chamados dessalinizadores.</li> </ul>



### Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

Parâmetros	Limites máximos permissíveis	Características Gerais	Origem	Inconvenientes/ toxicidade	Formas de tratamento
Sólidos Totais		<ul style="list-style-type: none"> <li>Os Sólidos Totais correspondem à soma dos sólidos totais dissolvidos e os sólidos em suspensão. Os sólidos em suspensão são partículas insolúveis presentes na água. A determinação é feita filtrando-se uma amostra de água e determinando a quantidade de matéria retida no filtro utilizado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os sólidos em suspensão se dividem em duas classes:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Sólidos não Sedimentáveis são as partículas que em repouso podem formar suspensões. São as chamadas suspensões coloidais.</li> <li>Sólidos Sedimentáveis são aqueles que se depositam no fundo de recipiente com a água em repouso, em determinado intervalo de tempo.</li> </ul> </li> <li>A origem para os Sólidos Totais é a mesma estabelecida para os Sólidos Totais Dissolvidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os mesmos relacionados aos sólidos totais dissolvidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sólidos Totais Dissolvidos - tratamento descrito acima.</li> <li>Suspensões e Soluções coloidais - a remoção é feita através de processos químicos adicionando-se à água compostos designados como coagulantes e floculantes tais como: sulfato de alumínio, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloreto férrico, aluminato de sódio.</li> <li>Sólidos em suspensão (sedimentáveis) - pode-se empregar filtros de areia, tanques de decantação em que a separação dos sólidos se faz pela ação da gravidade ou tanques desarenadores em que as partículas são decantadas a partir da diminuição da velocidade da água através de barreiras.</li> <li>Em casos em que a quantidade de sólidos totais é muito elevada (turbidez acima de 40UNT) é necessária a adoção de tratamento convencional: coagulação, seguida ou não de decantação, filtração e desinfecção.</li> </ul>
Nitrato	10 mg/L * 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>O nitrato é um dos compostos que apresentam maiores problemas nas águas subterrâneas devido sua grande mobilidade, estabilidade em condições aeróbicas (com oxigênio) e risco para saúde humana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: dissolução de rochas, oxidação bacteriana de matéria orgânica, principalmente das eliminadas pelos animais e descargas elétricas.</li> <li>Origem antropogênica: fertilizantes, esgotos domésticos e efluentes orgânicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acima de 40mg/L provoca cianoses em crianças.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coagulação seguida de filtração.</li> <li>Adição de cal.</li> <li>Tratamento com membranas semi-permeáveis - custo elevado.</li> <li>Processo de troca iônica com o uso de resinas sintéticas.</li> <li>Utilização de materiais adsorventes como carvão ativado.</li> </ul>

### Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

Parâmetros	Limites máximos permissíveis	Características Gerais	Origem	Inconvenientes/ toxicidade	Formas de tratamento
Nitrito	1mg/L * 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Composto instável, produzido a partir da oxidação da amônia pela ação de bactérias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: oxidação da amônia - indicativo de contaminação recente por redução bacteriana de nitratos.</li> <li>Origem antropogênica: contaminação por gasolina, uso de fertilizantes, lançamento de esgotos domésticos e efluentes orgânicos em processo de decomposição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impotabiliza a água, pois sua presença indica poluição com possibilidade de existência de microorganismos patogênicos.</li> <li>Em meio ácido forma composto cancerígeno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantidades excessivas requerem tratamento complexo e com custo elevado, como a adsorção, no qual os compostos dissolvidos na água são transferidos para a superfície de um material adsorvente (carvão aditivado).</li> </ul>
Fe Total (Ferro Total)	0,3mg/L*1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pode ser encontrado nas formas di e trivalentes como solução, colóides, suspensão ou em complexos orgânicos e minerais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: dissolução de minerais (silicatos, siderita, hidróxidos e sulfetos), corrosão de metais (p.ex. tubos de revestimento de poço tubular).</li> <li>Origem antropogênica: lançamento de efluentes industriais, drenagem de minas ácidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possibilita o desenvolvimento de ferro-bactérias.</li> <li>Sabor desagradável.</li> <li>Propriedade de manchar a roupa lavada.</li> <li>Acúmulo de depósitos nas tubulações.</li> <li>Imprópria para uso industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aeração - consiste na introdução de ar na massa de água levando à oxidação e precipitação do ferro. Pode-se adotar sistemas mais simples do tipo cascata, tabuleiro ou repuxo ou sistemas mais sofisticados como: coluna de aeração com enchimento (PCA) ou aeração difusa.</li> <li>Adição de cloro.</li> <li>Emprego de substâncias (resinas sintéticas) que promovam a extração do ferro através de troca catiônica.</li> </ul>
Mn Total (Manganês Total)	0,1mg/L*1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Está presente em praticamente todos os solos, principalmente na forma de dióxido de manganês, solúvel sob condições anaeróbicas (sem oxigênio).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: dissolução de minerais contendo manganês.</li> <li>Origem antropogênica: mineração de manganês, lançamento de efluentes industriais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formação de incrustações nas tubulações.</li> <li>Propicia o desenvolvimento de certas bactérias que formam depósitos insolúveis de sais de manganês.</li> <li>Sabor desagradável.</li> <li>Quando em quantidade excessiva pode afetar o sistema nervoso central.</li> <li>Tóxico para plantas em níveis altos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>O manganês apresenta comportamento químico semelhante ao do ferro, portanto sua remoção pode ser feita também através da aeração (com elevação do pH para 9) ou adição de cal e soda (precedida de decantação e filtração) ou emprego de substâncias que promovam a extração do manganês através de troca catiônica.</li> </ul>
SiO <sub>2</sub> (Silica)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Os silicatos dissolvem-se lentamente, se comparados a minerais de rochas ricas em sais e carbonatos e dessa forma, têm um efeito pouco pronunciado na química das águas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dissolução de silicatos (minerais comuns nas rochas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Águas saturadas em sílica podem ocasionar a formação de duras incrustações, porém estas são bastante raras visto que as mudanças de temperatura, necessárias à precipitação da sílica, são muito pequenas no interior do poço.</li> </ul>	

### Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

Parâmetros	Limites máximos permissíveis	Características Gerais	Origem	Inconvenientes/ toxicidade	Formas de tratamento
Ferro-bactérias		<ul style="list-style-type: none"> <li>Bactérias não patogênicas (não causam doenças) que fazem parte da flora aquática. Têm a capacidade de aproveitar compostos de ferro em seu metabolismo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para que haja a multiplicação das ferro-bactérias são necessárias as seguintes condições: águas relativamente frias - abaixo de 18,5° C; águas com elevado conteúdo em ferro - mais de 1ppm; águas pouco salinas - com resíduo seco menor de 1000ppm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A multiplicação intensa de ferro-bactérias pode transformar, em pouco tempo, a água límpida e incolor em água turva e avermelhada com desprendimento de mau cheiro e aparecimento de mau gosto.</li> <li>Dependendo do gênero da ferro-bactéria, pode haver corrosão da tubulação de ferro ou a formação de depósitos volumosos de compostos férricos nas paredes dos tubos ou filtros, reduzindo a produção dos poços.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alcalinização do poço com cal ou barrilha.</li> <li>Utilização de produtos comerciais como <b>Wellclean</b>.</li> <li>Utilização de polifosfatos juntamente com cloração.</li> <li>É aconselhável o monitoramento periódico dos poços tubulares para verificar a tendência de deterioração das condições ou para controle do processo de tratamento.</li> </ul>
Coliformes totais e fecais	Até 10NMP <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os microorganismos do gênero coliforme constituem-se os melhores indicadores da possível presença nas águas de material fecal de origem humana ou de animais de sangue quente e, conseqüentemente, de organismos patogênicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tanques (fossas) sépticos, linhas de esgoto, aterros sanitários.</li> <li>Lagoas de oxidação.</li> <li>Aplicação de águas residuárias (esgoto doméstico) na terra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A presença de coliformes nas águas por si só não representa problemas de saúde, indicando apenas a possível presença de fezes e, portanto, de outros organismos presentes nas fezes transmissores de doenças como a febre tifóide e paratifóide, disenteria bacilar, cólera, hepatite, dentre outras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para valores de colif. Totais até 50 e Fecais &lt;2 a simples desinfecção é suficiente (cloro ou ozona).</li> <li>Para valores de colif. Totais até 5000 e Fecais até 1000 é necessária a filtração seguida de desinfecção.</li> <li>Para valores de colif. Totais de 10.000 e fecais até 2.000 é exigido tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção).</li> <li>Para valores de colif. Totais até 20.000 e fecais até 5.000 deve ser realizado tratamento especial.</li> <li>Para valores de colif. Totais acima de 20.000 e fecais acima de 5.000 o tratamento exige processos complexos e dispendiosos.</li> </ul>
Estreptococos fecais		<ul style="list-style-type: none"> <li>São microorganismos existentes em grande quantidade em fezes de animais e em menores quantidades em fezes humanas. A avaliação, associada à de coliformes fecais, pode indicar a origem fecal animal ou humana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ocorrem em águas contaminadas com dejetos de origem fecal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>São apenas indicadores da ocorrência de fezes de animais nas águas, não representando problemas por si só.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>As formas de tratamento empregadas para remoção de coliformes totais e fecais são eficazes também para estreptococos fecais.</li> </ul>
Sulfetos		<ul style="list-style-type: none"> <li>Relaciona-se ao íon SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Origem natural: decomposição anaeróbica da matéria orgânica.</li> <li>Origem antrópica: despejos domésticos e industriais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sob condições anaeróbicas, o íon sulfato é reduzido a íon sulfeto que, em equilíbrio com o íon Hidrogênio, forma o sulfeto de hidrogênio que provoca a corrosão de tubulações.</li> </ul>	

### Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

Parâmetros	Limites máximos permissíveis	Características Gerais	Origem	Inconvenientes/ toxicidade	Formas de tratamento
Defensivos agrícolas (organoclorados)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aldrin e Dieldrin - 0.03<sup>*1</sup> µg/L</li> <li>▪ Clordano - 0.3<sup>*1</sup> µg/L</li> <li>▪ Heptacloroepóxido - 0.1<sup>*1</sup> µg/L</li> <li>▪ Heptacloro - 0.01<sup>*3</sup> µg/L</li> <li>▪ Eldrin - 0.2<sup>*1</sup> µg/L</li> <li>▪ DDT - 1.0<sup>*1</sup> µg/L</li> <li>▪ PCB's - 0.001<sup>*3</sup> µg/L</li> <li>▪ Toxafeno - 0.01<sup>*3</sup> µg/L</li> <li>▪ Endosulfan - 0.004<sup>*3</sup> µg/L</li> <li>▪ 2,4D - 100<sup>*1</sup> µg/L</li> <li>▪ 2,4,5 - TP - 10<sup>*3</sup> µg/L</li> <li>▪ 2,4,5-T - 2.0<sup>*3</sup> µg/L</li> <li>▪ Tetracloreto de Carbono - 3.0<sup>*1</sup> mg/L</li> <li>▪ Tetracloroeteno - 10<sup>*1</sup> mg/L</li> <li>▪ Hexaclorobenzeno - 0.1<sup>*1</sup> mg/L</li> <li>▪ Tricloroeteno - 30<sup>*1</sup> mg/L</li> <li>▪ Trihalometano - 100<sup>*1</sup> mg/L</li> <li>▪ 1,1 Dicloroetano - 0.3<sup>*1</sup> mg/L</li> <li>▪ 1,2 Dicloroetano - 10<sup>*1</sup> mg/L</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ São compostos orgânicos e inorgânicos, utilizados no controle e destruição de plantas e animais nocivos à sociedade</li> <li>▪ Os defensivos agrícolas, os pesticidas dividem-se em: inseticidas, fungicidas, bactericidas, herbicidas, nematicidas, rodenticidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Origem antrópica: lixiviação de solos ou do escoamento superficial de áreas agrícolas. São também gerados pela indústria petroquímica, carvão, plástico, na fabricação de tintas, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Muitos desses compostos são resistentes à biodegradação em meio líquido, outros são altamente bioacumuláveis nas cadeias tróficas superiores, e algumas centenas deles provocam mutações, carcinogenicidade e teratogenicidade.</li> <li>▪ Os herbicidas utilizam dioxina na sua fabricação, causador de câncer.</li> <li>▪ Os inseticidas fosforados e carbonatos atuam sobre o sistema nervoso, matando por asfixia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A presença destes componentes em concentrações excessivas, conduz à necessidade de processos de tratamento com elevado custo e operação complexa envolvendo abrandamento, adsorção, aeração, oxidação, tratamento com membranas, troca iônica.</li> <li>▪ Processos de remediação de contaminação de água subterrânea são extremamente dispendiosos e muitas vezes pouco eficazes. Incluem: remoção dos contaminantes do solo, tratamento dos contaminantes in situ, atenuação dos riscos através de medidas institucionais.</li> </ul>
Óleos e Graxas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Benzeno - 10<sup>*1</sup> mg/L</li> <li>▪ Tolueno</li> <li>▪ Etilbenzeno</li> <li>▪ Para-xileno</li> <li>▪ Meta-xileno</li> <li>▪ Orto-xileno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ São substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal, tais como ácidos graxos, ceras, óleos, gorduras, sabões e graxas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Origem natural: ocorrem raramente devido à decomposição de matéria orgânica.</li> <li>▪ Origem antrópica: despejos domésticos e industriais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Podem ocasionar câncer em homens e animais além de uma série de outros problemas tais como distúrbios hepáticos, distúrbios cardio-vasculares, depressão do sistema nervoso, distúrbios psíquicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Processos de tratamento e remediação semelhantes aos requeridos para os organoclorados.</li> </ul>

\*1 - Ministério da Saúde (portaria nº 36/90)

\*2 - Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA - resolução nº 20 - 18/06/86)

\*3 - Departamento Nacional de Produção Mineral (Perfil-analítico de Águas-Minerais, boletim nº 49,-v. 2)

Fontes: Appelo & Postma (1994), CETESB (1987), Custódio & Llamas (1976), Domenico & Schwartz (1990), Julião (1995), Mestrinho (1996), Patrus (1998), Pinto (2000), Porto et. al. (1991), Sperling (apostila de ensino), Vianna (1992).

## Glossário

**Aeração** - Introdução de ar na massa de água objetivando a remoção de alguma substância, por oxidação ou volatilização.

**Adsorção** - Fixação das moléculas de uma substância (a água, no caso) na superfície de outra substância (a resina sintética).

**Adsorvente** - Substância (resina sintética) que fixa as moléculas da água.

**Ânions** - Átomos ou grupo de átomos com carga negativa (p.ex. Cl<sup>-</sup>-cloreto, F<sup>-</sup>-fluoreto).

**Cátions** - Átomos ou grupo de átomos com carga positiva (p.ex: Na<sup>+</sup> -sódio, Ca<sup>+2</sup> -cálcio).

**Coagulação** - Operação na qual é realizada a desestabilização das partículas não sedimentáveis (em suspensão) presentes na água, permitindo que elas formem flocos possíveis de serem sedimentados ou filtrados.

**Colóides** - Substâncias que não se cristalizam (não se sedimentam) ou cristalizam-se muito dificilmente e difundem-se com lentidão extrema na água.

**Complexos Orgânicos** - Compostos contendo átomos de carbono.

**Condução** - Transmissão de calor através do solo ou rocha para a água.

**Convecção** - Processo de transmissão de calor através da água que é acompanhado por correntes que se formam em seu interior.

**Decantação** - Separação dos sólidos da água pela ação da gravidade.

**Decomposição** - Processo desencadeado pela água e variações térmicas que incidem sobre as rochas promovendo alterações nos minerais e no seu estado de rigidez (as rochas tornam-se mais moles, mais fáceis de escavar).

**Dissolução** - Efeito de fazer passar uma substância para a solução.

**Efluentes** - Fluídos resultantes de um processo industrial, minerário ou de esgotamento urbano.

**Floculação** - Formação de flocos, mediante adição de substância específica que permite a aglutinação de partículas não sedimentáveis.

**Fluorose** - Intoxicação crônica com flúor, defeito do esmalte dos dentes causado pela ingestão de quantidades excessivas de flúor junto com a água potável e que consiste em aparência baça, branca, com manchas pardas.

**Fluorose endêmica cumulativa** - Fluorose que ocorre constantemente em determinada região, sem grandes variações de incidência, mas cujos efeitos aumentam em intensidade por sucessivas adições de flúor ao organismo.

**Forma Divalente** - Forma do átomo (p.ex. Fe<sup>+2</sup>) que permite a efetuação de duas ligações químicas com outros átomos para formar moléculas.

**Forma Trivalente** - Forma do átomo (p.ex: Fe<sup>+3</sup>) que permite a efetuação de duas ligações químicas com outros átomos para formar moléculas.

**Fossa Negra** - é uma escavação que recebe excretas ou despejos, desprovida de revestimento interno impermeabilizante, cujo fundo atinge ou fica a menos de 1,5 m acima do lençol freático, em condições de poluir a água utilizada para consumo doméstico, oriunda de poços.

**Fossa Seca** - corresponde a uma escavação desprovida de revestimento interno impermeabilizante que recebe excretas ou despejos, com capacidade geralmente superior a 1000 litros e que se encontra a uma distância superior a 1,5 m do lençol freático.

**Fossa Séptica** - é uma caixa de passagem dos despejos domésticos que, após nela deixarem a maior parte das matérias suspensas, vão infiltrar-se no terreno ou descarregar num curso d'água, neste caso após passar por um leito de areia adequadamente preparado.

**Incrustação** - Depósito de matéria sólida, inicialmente dissolvida na água, sobre qualquer superfície.

**Íon** - Átomo ou agrupamento de átomos com excesso ou falta de carga negativa (Ex: Na<sup>+</sup>, Fe<sup>+2</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>).

**Lixiviação** - Separação de certas substâncias por lavagem.

**Membrana semi-permeável** - Membrana através da qual é possível ocorrer a passagem da água, mas não das substâncias dissolvidas.

**Metabolismo** - Conjunto de mecanismos químicos necessários ao organismo para a formação, desenvolvimento e renovação das estruturas celulares.

**Oxidação** - Combinação de íon ou molécula com o oxigênio.

**Oxidante** - Substância que produz a combinação das moléculas com o oxigênio.

**Patogênico** - Capaz de produzir doenças.

**Plâncton** - Comunidade de pequenos animais e vegetais que vivem em suspensão nas águas.

**Poço Absorvente** - é semelhante à fossa seca no entanto, a escavação não se encontra imediatamente abaixo do piso da construção (casinha ou abrigo), mas situada em posição lateral. Conecta-se à abertura para a passagem das excretas através de tubulação. Normalmente empregado quando utiliza-se para a limpeza anal, de uma descarga manual de água.

**Precipitação** - Formação de substância sólida a partir de uma solução líquida.

**Radiação** - Processo físico de emissão e propagação de calor (ex: radiação solar).

**Resina Sintética** - Produtos elaborados artificialmente por síntese química, que se cristaliza rapidamente assumindo aspecto vítreo. Possuem a superfície carregada eletricamente.

**Soda** - soda cáustica.

**Suspensão** - diz-se de partículas que estão imersas em uma fase líquida (água).

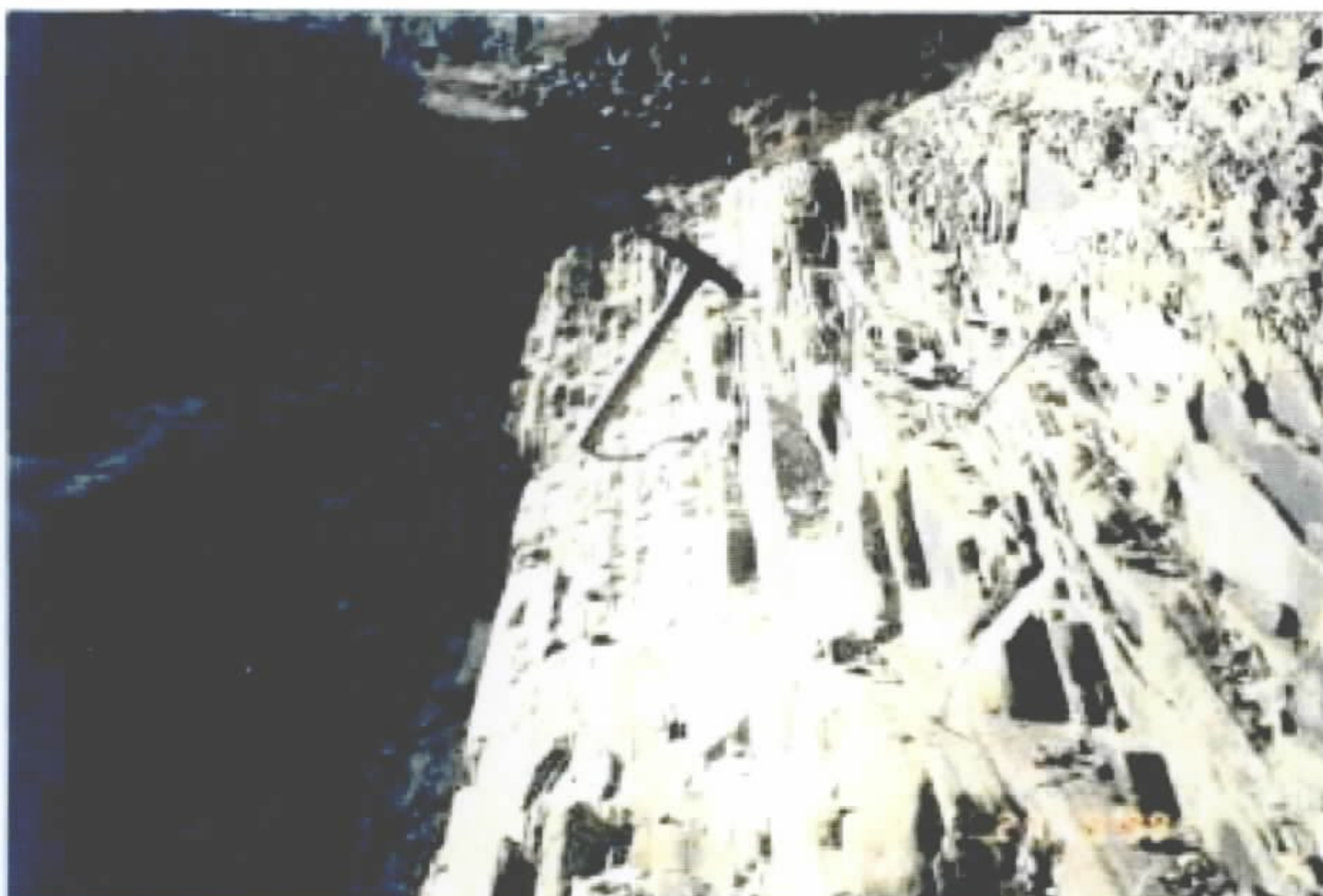
**Troca catiônica, Troca iônica** - Substituição do íon dissolvido na água por outro da superfície eletricamente carregada da água.

**Voláteis** - Substâncias que podem ser reduzidos a gás ou vapor.

# DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



**Foto 1** - Calcário do Grupo Paranoá exibindo acamamento verticalizado nas proximidades de falhamento de empurrão que coloca em contato essa unidade com a Formação Três Marias - Grupo Bambuí. UTM: 377946E/8144546N.



**Foto 2** - Acamamento subverticalizado de metassiltito do Grupo Bambuí ao longo de falhamento de empurrão que afeta o Cráton São Francisco. Serra de São Domingos. UTM: 392507E/8178867N.





**Foto 3** - Sistema de fraturamento em calcário do Grupo Paranoá. Proximidade de falhamento inverso. Detalhe da foto 1. UTM: 377946E/8144546N.



**Foto 4** - Sistemas de fraturas em metassiltito do Grupo Bambuí, ao longo de falha de empurrão. Detalhe da foto 2. UTM: 392507E/8178867N.



**Foto 5** - Poço tubular produtivo, mostrando laje de proteção sanitária suspensa em decorrência da erosão do terreno ao redor (BON 32). Risco potencial de contaminação elevado. UTM: 371269E/8172487N.



**Foto 6** - Poço tubular não instalado exibindo diversas irregularidades relacionadas à construção e manutenção: ausência de tampa e de laje de proteção sanitária e solapamento das paredes laterais ao poço (BON 21). Risco potencial de contaminação elevado. UTM: 398519E/8176877N.