

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 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 DA MICRORREGIÃO DE UNAÍ

Execução:

Angélica Garcia Soares
Eduardo Jorge Machado Simões
Ely Soares de Oliveira
Maria Antonieta Alcântara Mourão

Coordenação:

Maria Antonieta Alcântara Mourão

Equipe de Campo:

Angélica Garcia Soares
Eduardo Jorge Machado Simões
Ely Soares de Oliveira
Décio Antônio Chaves Beato
Haroldo Santos Viana

Apoio:

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 da microrregião de Unaí, com base no cadastramento de 892 poços, dos quais 812 cadastrados em campo e os 80 restantes de informações bibliográficas. Do total, 665 pertencem ao setor privado e 227 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 são apresentados os seguintes mapas:

- Mapa de sistemas aquíferos da microrregião
- Mapas de ponto da microrregião e dos municípios de Unaí, Arinos, Bonfinópolis de Minas, Buritis, Cabeceira Grande, Dom Bosco, Formoso, Natalândia e Uruana de Minas.

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 | 13 |
| 7 - ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS | 15 |
| 8 - DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS | 19 |
| 8.1 - Aquífero Cárstico | 19 |
| 8.2 - Aquífero Fissurado | 22 |
| 8.3 - Aquíferos Granulares | 23 |
| 8.3.1 - Aquíferos Aluviais | 23 |
| 8.3.2 - Aquífero de Depósitos Terciário-Quaternários | 23 |
| 8.3.3 - Aquíferos Cretácicos | 23 |
| 8.3.4 - Aspectos Construtivos e Hidráulicos dos Poços nos Aquíferos Granulares | 24 |
| 8.4 - Aquífero Misto | 24 |
| 9 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA | 25 |
| 10 - CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA | 31 |
| 11 - O USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA | 35 |
| 11.1 - Uso para Consumo Humano | 35 |
| 11.2 - Uso Agrícola e para Pecuária | 36 |
| 11.3 - Uso na Indústria | 37 |
| 12 - DIAGNÓSTICO ATUAL DA EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA | 39 |
| 13 - PRINCIPAIS QUESTÕES RELACIONADAS À OUTORGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE MINAS GERAIS | 41 |
| 14 - CONCLUSÕES | 43 |
| 15 - RECOMENDAÇÕES | 45 |
| 16 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 47 |
| ANEXOS | |
| 1 - Características Locacionais, Construtivas, Hidráulicas e Físico-Químicas ' In Loco' | 49 |
| 2 - Características Organolépticas, Físico-Químicas, Químicas e Bacteriológicas | 87 |
| 3 - Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água | 97 |
| GLOSSÁRIO | 115 |
| DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA | 117 |

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

A microrregião, com 27.353km², localiza-se no noroeste do Estado de Minas Gerais (Figura 1). O acesso para Unaí, principal centro urbano, a partir de Belo Horizonte,

pode ser feito pela BR-040 até a cidade de Paracatu, com percurso de 500km. Em seguida, toma-se a BR-251 por 100km.

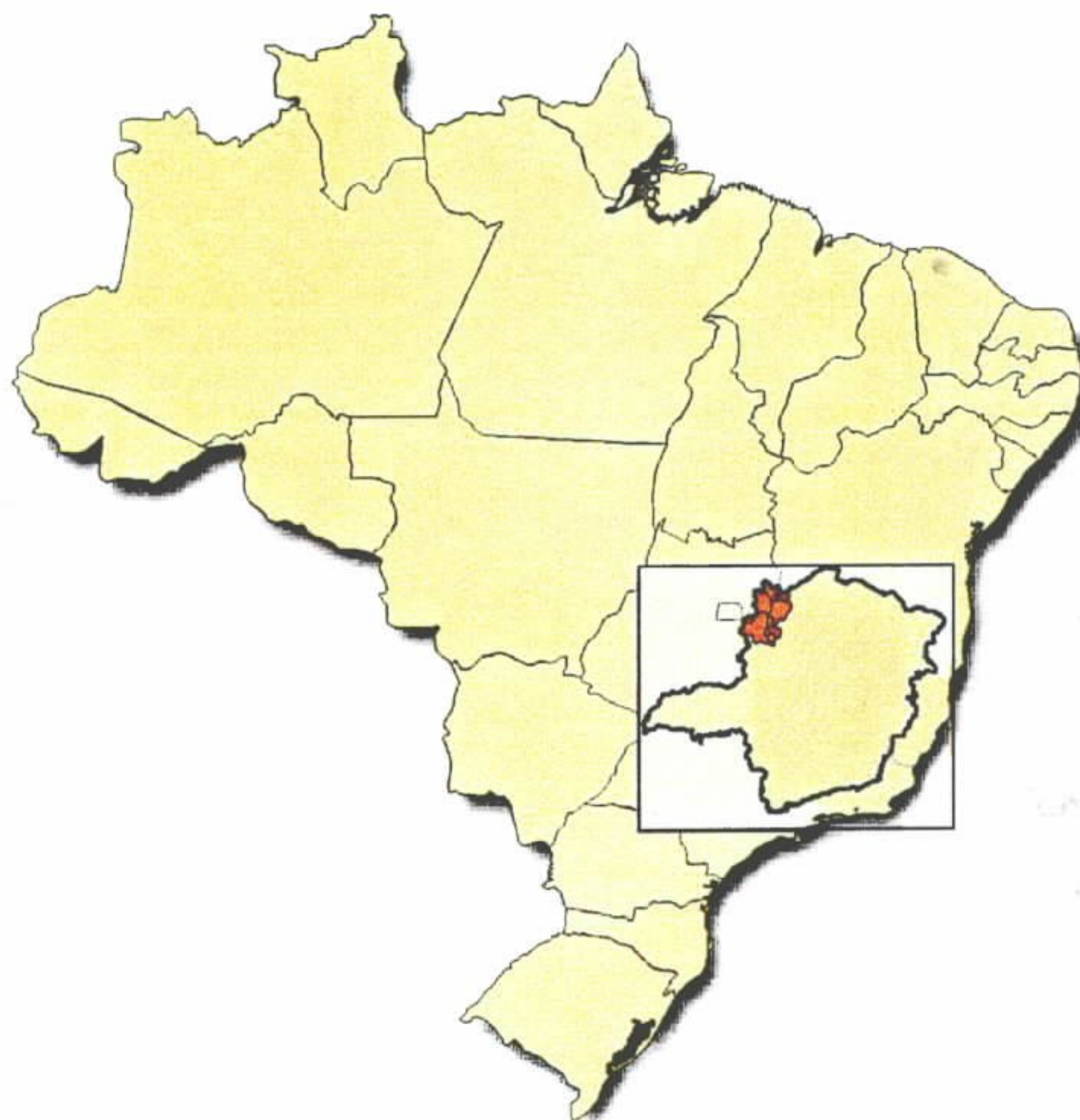


Figura 1 - Localização da microrregião de Unaí.

4 - MÉTODOS EMPREGADOS

Em vista da enorme extensão territorial da bacia, os levantamentos foram setorializados nas microrregiões administrativas. A microrregião de Unaí, dada a sua vocação agrícola, que implica 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. A organização final dos dados bem como a definição e caracterização dos sistemas aquíferos baseou-se nas informações contidas em boletins de perfuração consistidas e complementadas por dados coletados no cadastramento (aspectos construtivos, operacionais, físico-químicos e resultantes de levantamento geológico-estrutural), resultados de análises químicas, mapa hidrogeológico do CETEC (1980) e mapa geológico e nota explicativa da COMIG (1994). Mesmo na ausência dos boletins, procurou-se, tentativamente, definir as unidades aquíferas e geológicas a partir dos demais dados disponíveis. Os critérios utilizados para classificação encontram-se especificados no próprio banco de dados.

Por fim, foi estabelecido o diagnóstico da exploração atual de água subterrânea através de poços tubulares profundos. Foram elaborados relatórios para a microrregião de Unaí e municípios em que o uso da água subterrânea é mais significativo, quais sejam: Unaí, Buritis, Bonfinópolis de Minas, Arinos, Dom Bosco. Os relatórios municipais são acompanhados de mapas contendo a localização dos pontos d'água classificados através de atributos quanto à vazão espe-

cífica, propriedade, estado atual e existência de análise química. Para a microrregião optou-se por apresentar mapa de sistemas aquíferos com a localização dos pontos d'água com informações mais completas. A esses pontos foram associados os valores de profundidade, condutividade elétrica, nível estático, nível dinâmico, vazão específica e tipo aquífero. Perfis litológicos representativos completam o mapa. Os mapas de pontos d'água dos municípios de Uruana de Minas, Cabeceira Grande, Formoso e Natalândia foram inseridos no relatório da microrregião.

É importante ressaltar que a obtenção 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 189 poços possuem perfil litológico, 297 apresentam dados de teste de bombeamento, 68 com intervalos de entrada d'água e 253 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 desconhcerem 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 ocupação humana na microrregião de Unai começou a intensificar-se a partir da inauguração de Brasília. Entretanto, os dados do Censo de 1991 mostraram uma baixa densidade demográfica, que apesar de crescente, ainda demonstra ser esta uma região que apresenta grandes vazios populacionais. Dados censitários de 1997 mostram população de 131.524 habitantes.

A economia tem sua estrutura sustentada no setor agropecuário, principal gerador de emprego e renda. Os demais setores (indústria e comércio) ocupam uma posição intermediária, tanto como atividade complementar, quanto suporte na formação dessa economia.

No que se refere à educação, os setores públicos estadual e municipal respondem pela maioria dos estabelecimentos educacionais, onde são oferecidos ensino completo de 1º e 2º graus e cursos profissionalizantes de 2º grau nas áreas de agropecuária,

edificações, enfermagem, processamento de dados, magistério e contabilidade. O município de Unai possui ensino de nível superior, oferecido na Faculdade de Ciência e Tecnologia (FACTU).

Quanto à saúde, a microrregião conta com 7 hospitais, 3 centros de saúde e 3 postos de assistência médica, estando integrada ao Sistema Único de Saúde - SUS. Em termos de atendimento hospitalar, a situação é precária, apesar da população contar com um total de 199 leitos, tendo por vezes que se deslocar para outros centros de atendimento melhor estruturados, como Brasília ou Belo Horizonte.

O fornecimento de energia elétrica é feito pela CEMIG, enquanto o abastecimento de água é realizado, em grande parte, pelo SAAE ou COPASA. No plano das comunicações telefônicas, a população é atendida pela TELEMAR que opera através de terminais instalados e postos de serviços.

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; 2) amplas depressões dispostas na mesma direção dos principais cursos d'água, representando a Depressão Sanfranciscana e 3) relevo das Cristas de Unaí, constituído de serras alinhadas na direção NNW.

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 sopés dos 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, onduladas e pedimentos ravinados.

As Cristas de Unaí são constituídas por alinhamentos de cristas orientadas na direção NNW, entre as quais se intercalam

zonas rebaixadas e aplainadas. As áreas rebaixadas são muitas vezes recobertas por colúvios e constituem o prolongamento da Depressão Sanfranciscana.

6.2 - Solos

A microrregião 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 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 ardósianas do Grupo Bambuí.

Os solos hidromórficos são solos com características associadas a encharcamento, que pode determinar acumulação de matéria orgânica ou presença de "horizonte glei"

caracterizado por cores neutras. São formados geralmente nas partes planas e dissecadas do relevo, onde o lençol freático está próximo à superfície do terreno.

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 forte ondulado e montanhoso, onde as forças erosivas são muito ativas, resultando na formação de perfis muito rasos e, portanto, pouco são utilizados para atividade agrícola, devido à baixa fertilidade.

6.3 - Vegetação

A vegetação predominantemente é 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 enquanto 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 gramínea. 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 rios Preto, São Miguel, Urucuaia, Piratinga e São Domingos são os principais cursos d'água, sendo todos eles pertencentes à bacia hidrográfica do São Francisco. O rio Preto nasce no município de Formosa em Goiás e tem uma extensão de 378km até a sua foz a sudeste do município de Dom Bosco, quando deságua no Paracatu, afluente do São Francisco. O rio São Miguel nasce no município de Buritis, próximo à divisa com Goiás e corre numa direção aproximadamente oeste-leste, desaguando no rio Urucuaia, a sudeste do município de Arinos. Os rios Piratinga e São Domingos nascem no extremo noroeste do município de Formoso e correm para sul, desaguando também no Urucuaia, afluente do São Francisco.

Os sedimentos terciário-quadernário 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 Sanfran-

ciscanas) os cursos d'água apresentam-se instalados, preferencialmente, ao longo de linhas de fraqueza (rios subseqüentes). Predomina o padrão em treliça, em especial no domínio da Faixa Brasília, onde está condicionado por falhamentos inversos e fraturas de direção NNW e NNE. O padrão paralelo ocorre onde há presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde feições estruturais (cristas de Unaí) determinam esta configuração.

6.5 - Clima

O clima da região é tropical, marcado por invernos secos e verões chuvosos com média anual de precipitação de 1.360,4mm. Os meses mais quentes correspondem a setembro e outubro, quando as temperaturas

médias variam entre 22,5 a 25,5°C e as máximas médias chegam a valores da ordem de 33,0°C. Os meses mais frios correspondem a junho e julho, quando as temperaturas médias variam entre 20,0 a 21,0°C e as mínimas médias são de 12°C. A evapotranspiração anual média é da ordem de 1.208,0mm, com valores mensais variando de um mínimo de 60,0mm nos meses de junho e julho, a máximas de 120,0 a 130,0mm nos meses de outubro a janeiro. A umidade média anual é da ordem de 72,7%. Os meses mais úmidos correspondem aos meses mais chuvosos de verão (novembro e dezembro) quando a umidade atinge valores da ordem de 80%. O período menos úmido abrange os meses de agosto e setembro, quando a umidade cai a 63%.

7 - ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

A área insere-se em dois domínios geotectônicos: a Faixa Brasília, constituída pelas formações Paracatu e Vazante e os grupos Paranoá e Bambuí, parcialmente recobertos por unidades fanerozóicas; e o Cráton do São Francisco com as coberturas neoproterozóicas (Grupo Bambuí) e cretácicas (Formação Urucuaia e Grupo Areado), e as unidades terciárias-quadernárias.

As unidades Pré-Cambrianas da Faixa Brasília apresentam-se bastante deformadas, enquanto as coberturas do Cráton mostram suaves ondulações e arqueamentos apenas nas proximidades de zonas de falhas inversas, tais como na serra do Meio. O município de Unaí, além de abranger os dois domínios acima, é o que apresenta a maior diversidade de tipos litológicos (Figura 2).

A Formação Paracatu ocorre na extremidade oeste do município de Unaí, representada por pacote de filitos, carbonosos ou não, com intercalações de quartzitos (FREITAS SILVA & DARDENNE, 1992; *in* COMIG, 1994).

A Formação Vazante, definida por DARDENNE (1978 e 1979; *in* COMIG 1994), caracteriza-se por lentes de dolomitos estromatolíticos envolvidos por sedimentos pelíticos. Limita-se a leste com o Grupo Paranoá, através de falhas inversas de alto ângulo e a oeste, pelo cavalgamento dos filitos da Formação Paracatu (Figura 2).

O Grupo Paranoá, também definido por DARDENNE (1978 e 1979; *in* COMIG, 1994), no Estado de Goiás, tem seu prolongamento na região de Unaí, Natalândia, Dom Bosco e serra de São Domingos (Buritis, Formoso e Arinos). É constituído por uma seqüência de

quartzitos, arcósios, siltitos, dolomitos estromatolíticos, calcários e cherts. Na serra Geral do Rio Preto, falhas inversas colocam em contato as unidades inferiores do Paranoá com a Formação Três Marias. As cristas de serras de Unaí correspondem a uma seqüência destas falhas de direção N10°W e alto ângulo de mergulho, que provocou o arqueamento das seqüências sedimentares nas suas proximidades.

Os litotipos do Grupo Bambuí constituem a principal cobertura sedimentar do Cráton do São Francisco. Na microrregião de Unaí, as unidades do Bambuí predominam nos municípios de Buritis, Formoso, Arinos, Uruana de Minas e Bonfinópolis de Minas. Em Unaí, restringe-se à extremidade nordeste. 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 mais tarde, ligeiramente modificada por outros autores. A subdivisão compreende quatro formações (Serra da Saudade, Lagoa do Jacaré, Serra de Santa Helena, Sete Lagoas), englobadas no Subgrupo Paraopeba, abrangendo os depósitos de plataforma carbonática. A Formação Três Marias, que recobre essa sucessão pelito-carbonatada, por representar sedimentação siliciclástica, não foi incluída nessa 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

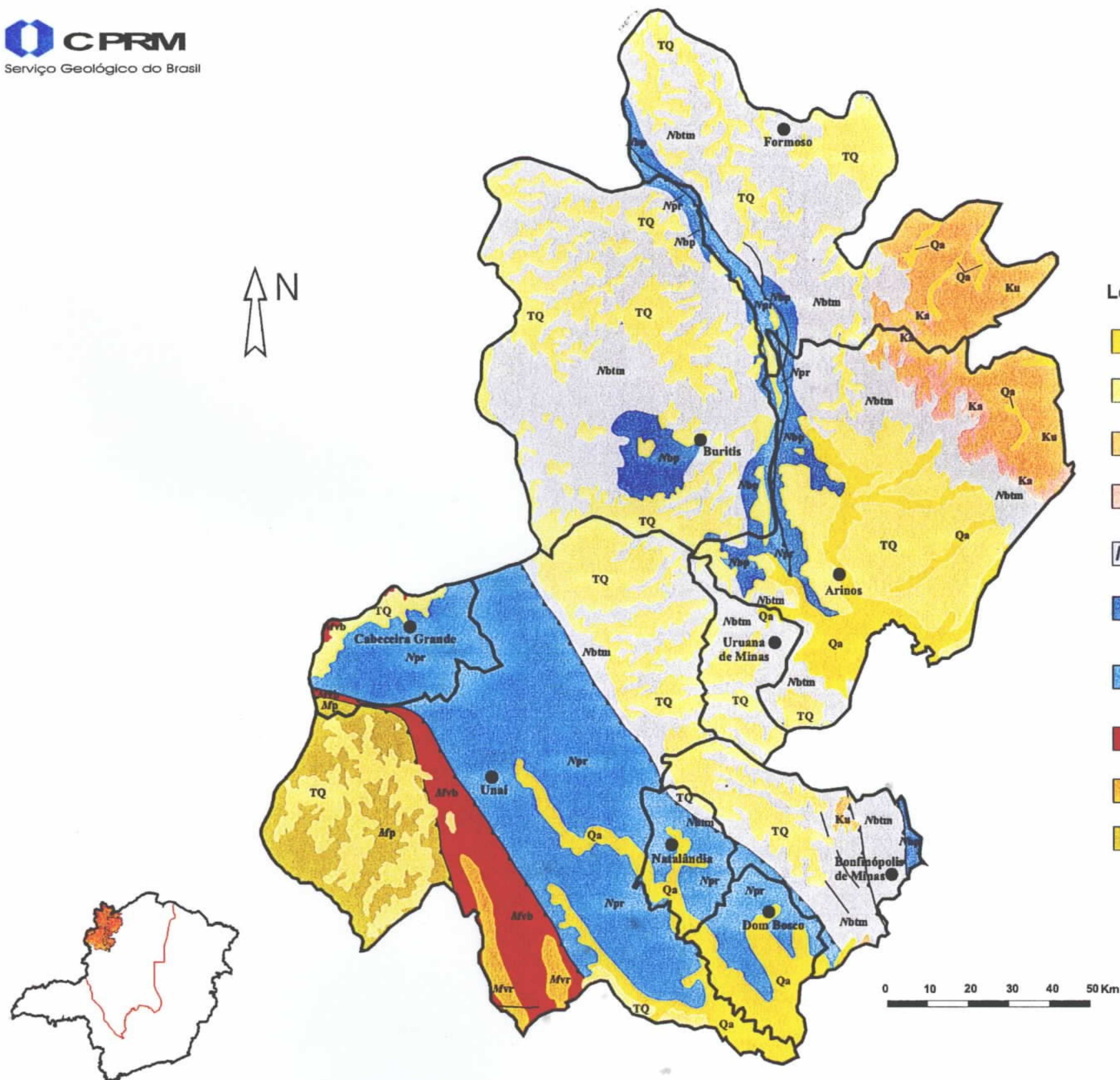
observado na serra de São Domingos. Esse evento gerou falhas inversas, através da reativação de antigas linhas de fraqueza do embasamento. Associados às falhas encontram-se dobramentos de eixos S10°W/25° e planos axiais NS/60°W tais como os observados na serra Vereda Grande, em Unaí, e na serra de São Domingos, em Arinos. No domínio rúptil ocorrem estruturas do tipo clivagem espaçada e fraturas, com atitudes N40°-50°W/80° NE e N25°-35° E/80° NW.

As rochas cretácicas representadas pela Formação Urucuia e Grupo Areado aparecem na porção sudeste de Formoso e nordeste de Arinos. A Formação Urucuia é 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. O Grupo

Areado é composto por arenitos, conglomerados, pelitos, calcretes, cherts e vulcano-clásticas, derrames e intrusões ultrabásico-alcalinas.

Recobrando as seqüências acima, ocorrem as coberturas detríticas 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 rios Preto, Urucuia, Piratinga e outros de menor porte. Ocorrem ainda em encostas atuais e pré-atuais. São aluviões e coluviões relacionados com esculturação do relevo atual.



Legenda

- Qa Depósitos coluvionares, aluvionares e terraços
- TQ Terciário-quadernário: coberturas detritico - lateríticas, detriticas e eluvionares em superficies de aplanamento
- Ku Formação Urucuia: arenitos, conglomerados
- Ka Grupo Areado: seqüências sedimentares (arenitos, conglomerados, pelitos calcretes, cherts) e vulcano-clásticas, derrames e intrusões ultrabásico-alcálinas da
- Nbtm Formação Três Marias: seqüência arcoseana (arcóseos, pelitos)
- Nbp Subgrupo Paraopeba Indiviso: seqüências metassedimentares plataformais transgressivas e regressivas indiferenciadas (siltitos, ardósias e lentes de calcário)
- Npr Grupo Paranoá: seqüências marinho - plataformais a bacinais marinhas (quartzitos, pelitos, calcários, dolomitos, cherts, conglomerados)
- Mvb Formação Vazante; ambiente marinho bacinal redutor (ardósias, fosforitos, quartzitos)
- Mvr Formação Vazante: ambiente marinho recifal (dolomitos, cherts, metapelitos, fosforitos)
- Mp Formação Paracatu: filitos (carbonosos ou não), quartzitos

Figura 2 - Mapa Geológico da Microrregião de Unaí (Compilado de COMIG, 1994).

8 - DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS

Três grandes unidades hidrogeológicas foram diferenciadas a partir da natureza da porosidade: aquíferos fissurado, granular e cárstico. Os primeiros são representados pelas rochas das formações Paracatu e Vazante, 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. Foram levantados 892 poços, dos quais 812 correspondem a poços cadastrados no campo e 80 através de bibliografia. Dentre esses, 206 captam água do sistema cárstico, 102 do fissurado, 42 do granular e 32 do sistema misto (granular/cárstico, granular/fissurado e fissurado/cárstico). Os demais (510 poços), não puderam ser classificados, dada a falta de informações de natureza construtiva/litológica. A Figura 3 apresenta a distribuição dos principais sistemas aquíferos e a Figura 4 as isolinhas de valores de vazão de teste para toda área. De modo geral as maiores vazões, representadas por regiões de cores variáveis de vermelho a roxo, refletem a captação de aquíferos cársticos. Os aspectos locacionais, construtivos e hidráulicos mais relevantes foram reunidos em planilha apresentada no Anexo 1.

8.1 - Aquífero Cárstico

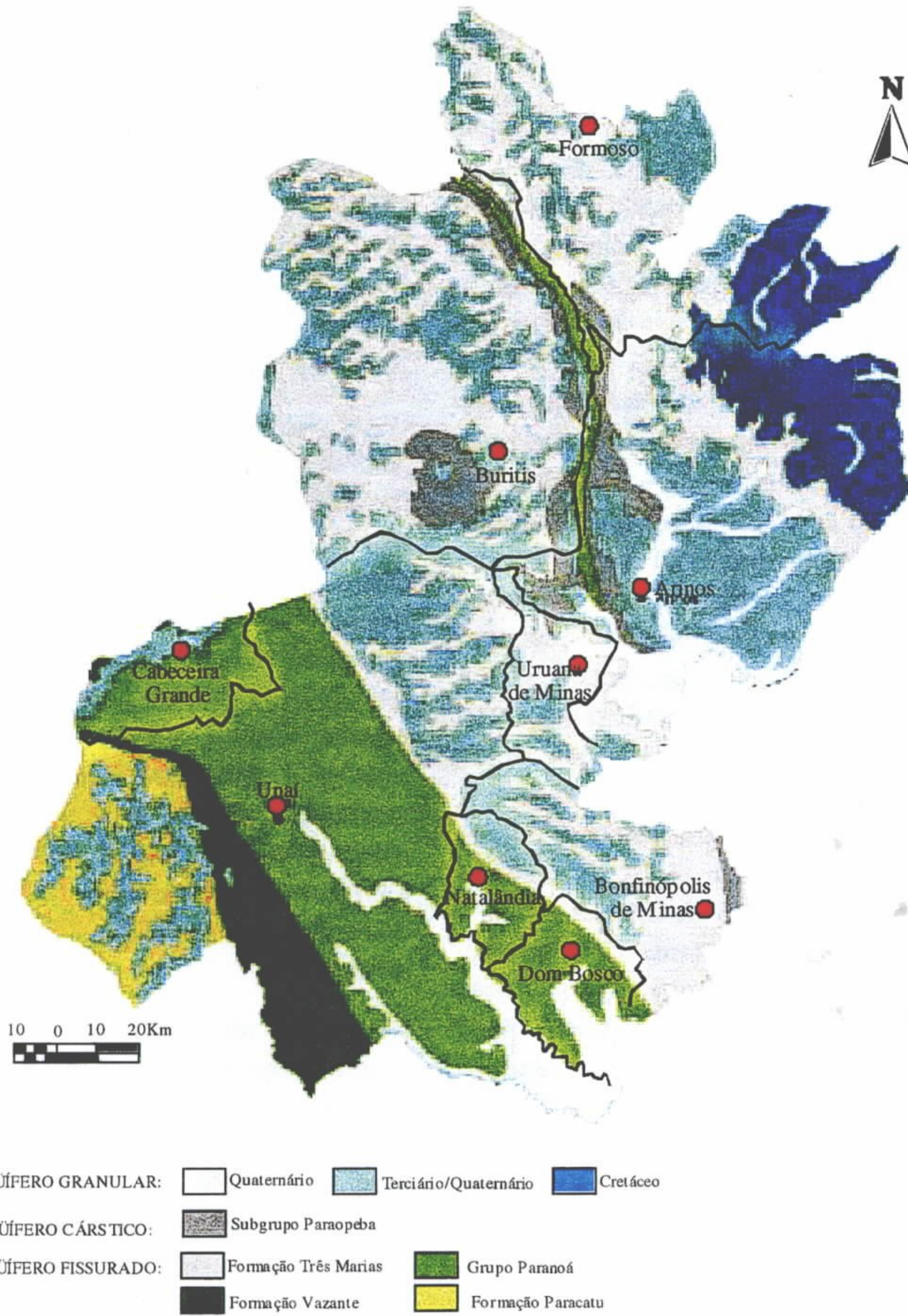
Esta unidade é constituída de calcários e dolomitos dos grupos Bambuí e Paranoá.

Aflora ao longo da serra do Meio estendendo-se em uma estreita faixa na porção centro-norte da área e em cristas de relevo na região de Unaí, que se destacam desde a serra do Roncador até a serra do Barreiro Grande (Foto 1). Ocorre ainda subjacente às rochas metapelíticas.

Esse 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. As condições de recarga são mais efetivas em áreas onde há drenança a partir dos aquíferos granulares sobrepostos e em locais de aportes dos cursos d'água, em zonas preferenciais de recarga e circulação de águas subterrâneas, facilitadas pelas estruturas cársticas de dissolução. Na Foto 2 estão retratadas as estruturas rúpteis em rocha carbonática aflorante no município de Bonfinópolis de Minas.

A partir de resultados de testes de bombeamento executados em 6 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).

O nível estático médio da água (N.E.) é de 15,0m, determinado a partir de valores medidos (55 dados) e obtidos em boletins de perfuração (87 dados). A vazão média de teste é de $9,57 \text{m}^3/\text{h}$ e a capacidade específica média equivalente a $0,86 \text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, ambas relativas a 93 e 77 poços, respectivamente.



Fonte: Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, COMIG, 1994

Figura 3 - Mapa de sistemas aquíferos da Microrregião de Unaí.

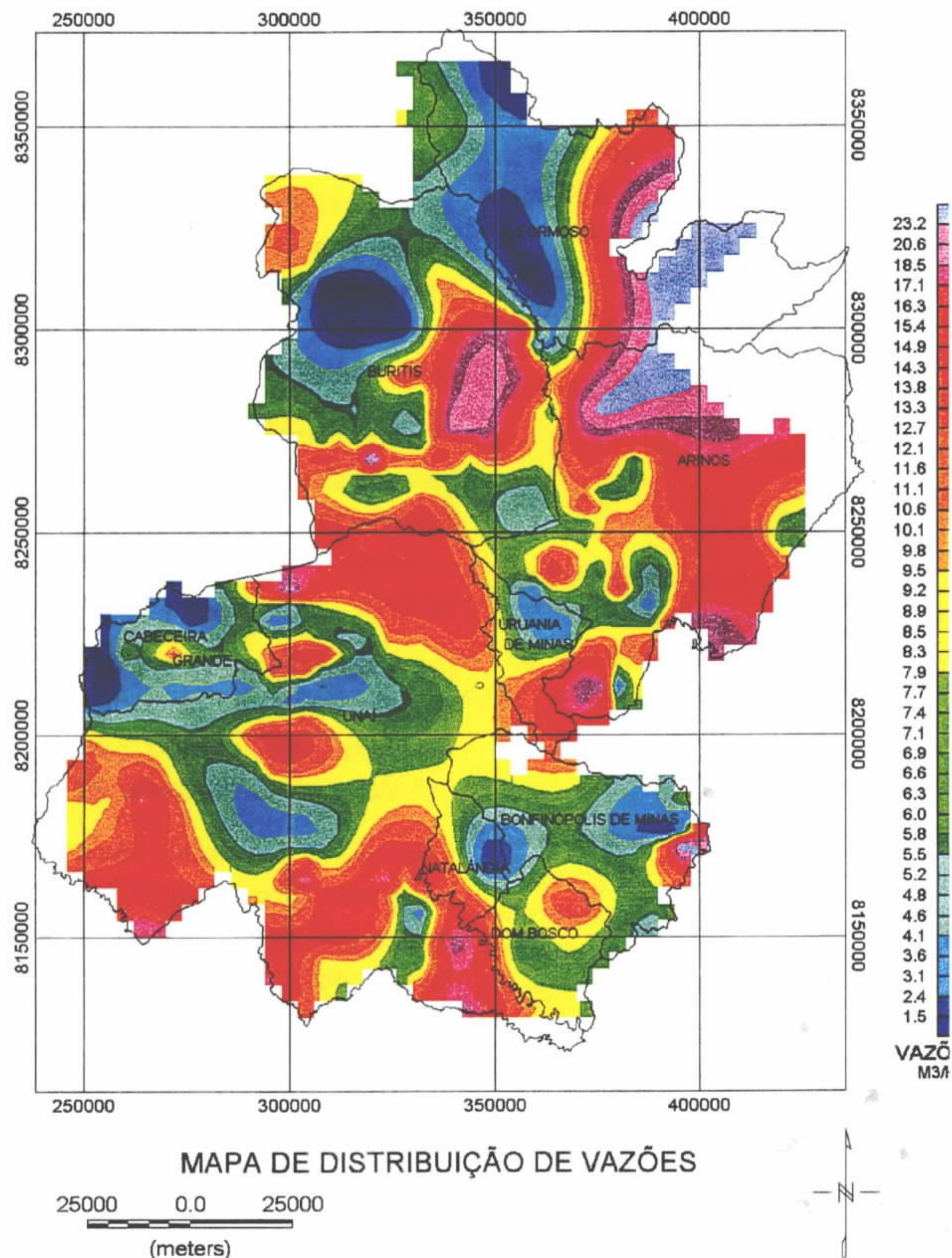


Figura 4 - Mapa de isolinhas (302 pontos d'água).

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) de espessura em torno de 27m. Na região de chapadas, no entanto, o aquífero cárstico é recoberto por um pacote de sedimentos de até 200m de espessura. No distrito de Garapuava (município de Unaí), vários poços perfurados na chapada atingiram as rochas carbonáticas do

Grupo Bambuí, a 100m de profundidade, após atravessarem os depósitos terciário-quaternários e a seqüência siliciclástica da Formação Três Marias (poços Una-360, 361 e 363). Essas coberturas dificultam o aproveitamento do sistema cárstico em razão de sua espessura.

As profundidades dos poços variam de 29,0 a 184,0m, estando o valor médio, para 173 poços, em torno de 92,0m. Cerca de 22% dos poços apresentam profundidade entre

60,0 e 80,0m, 24% entre 80,0 e 100,0m e 28% entre 100,0 e 120,0m, enquanto que apenas 8% estão entre 20 e 60m e 17% acima de 120m. Poços perfurados nesse sistema, requerem revestimento não apenas da camada de solo e da porção de rocha semi-alterada, mas também de 2,0 a 4,0m cravados na rocha sã. Dados de entradas d'água foram obtidos em 58 poços sendo que 10% posicionam-se entre 0 e 20m, 40% entre 20,0 e 60,0m, 24% entre 60,0 e 80,0m e 26% encontram-se acima de 80,0m 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, ardósias da Formação Vazante e filitos da Formação Paracatu.

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 3 ilustra os sistemas de fraturas apresentados pelos metassiltitos do Grupo Paranoá.

Resultados de testes de bombeamento realizados em 4 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.

O nível estático médio da água desse sistema é de 11,9m, estimados a partir de 13 valores medidos e 81 obtidos em boletins de perfuração. A vazão média de teste, referente a 66 poços, é de $10,61 \text{m}^3/\text{h}$ e a capacidade específica média igual a $0,71 \text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, relativa a 49 poços.

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 filtrações verticais descendentes através do manto de alteração ou dos aquíferos subjacentes de cobertura.

O encaixamento de drenagens em 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 (NNW) e norte-nordeste (NNE).

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

As profundidades dos poços variam de 37,0 a 260,0m, estando o valor médio em torno de 96,0m, conforme dados de 95 poços nesse domínio. Dentre esses, 18% encontram-se na faixa de 60,0 a 80,0m, 31% entre 80,0 e 100,0m e 39% entre 100,0 e 140,0m de profundidade, enquanto que apenas 4% estão entre 20 e 60m e 8% acima de 140m. Dados de entradas d'água foram obtidos em 29 poços sendo que 28% posicionam-se entre 5,0 e 20,0m, 31% entre 20,0 e 40,0m, 31% entre 40,0 e 80,0m e 10% encontram-se acima de 80,0m de profundidade.

Nesse sistema, pode haver problemas na perfuração, principalmente em zonas intensamente fraturadas. Os poços requerem revestimento da camada de solo, da porção de rocha semi-alterada e também de 2,0 a 4,0m cravados na rocha sã.

8.3 - Aqüíferos Granulares

São aqüíferos 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, ao longo dos extensos pediplanos e dos principais rios, especialmente o Urucuia, Piratinga, São Miguel, São Domingos e o rio Preto (Figura 3). São classificados em depósitos não-consolidados, os quais envolvem os aqüíferos aluviais, em depósitos de pedimentos terciário-quaternários 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 granulométricas podem ser bastante acentuadas, sendo comuns as alternâncias de leitos arenosos, silticos e argilosos, com menor frequência dos termos grosseiros ou depósitos de cascalho.

Os aqüíferos correspondem aos depósitos do quaternário de origem fluvial, sendo 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.

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 (Foto 4).

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, por possuírem pequenas espessuras e se localizarem, comumente em zonas de recarga do aqüífero, onde o nível da água é geralmente muito profundo e a espessura saturada é 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

São representados pela Formação Urucuia e Grupo Areado, de restrita distribuição superficial. O primeiro aflora na porção sudeste do município de Formoso e nordeste

de Arinos, enquanto o Areado, sotoposto ao Urucuia, está presente somente no município de Arinos. Estimam-se espessuras para os dois sistemas de até 500m (CETEC, 1981).

O Grupo Areado é representado por uma seqüência vulcano-sedimentar, constituída por arenitos, conglomerados, pelitos, cherts, vulcanoclásticas, derrames e intrusões ultrabásico-alcálicas. A Formação Urucuia é composta por arenitos avermelhados e, de forma subordinada, por conglomerados.

Esses aquíferos 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 dessas 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. Nesses locais formam-se as veredas que constituem feições geomorfológicas notáveis.

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 podem comprometer essa parcela substancial do escoamento total. Estimativas de infiltração e análise dos hidrogramas indicam que a contribuição total dos aquíferos cretácicos para os rios é da ordem de $4,25 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$ (CETEC, 1981).

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.

Os aquíferos granulares de depósitos aluvionares e coluviais apresentam nível estático médio de 12,66m, referente à medida de 10 poços. A vazão média obtida de dados constantes em boletins técnicos, para 24 poços, é de $9,62 \text{ m}^3/\text{h}$ e a capacidade específica média igual a $0,80 \text{ m}^3/\text{h/m}$, relativa a 21 poços. Os poços perfurados nos depósitos terciário-quadernários e cretácicos, situados nas porções elevadas, geralmente exibem níveis estáticos mais profundos.

As profundidades dos 35 poços cadastrados variam entre 42,0 e 154,0m, estando 29% deles entre 40,0 e 80,0m, 54% entre 80,0 e 120,0 e 17% acima de 120,0m. Dados de entradas d'água foram obtidos em 09 poços sendo que 57 % posicionam-se entre 15,0 e 40,0m e 43% entre 40,0 e 100,0m de profundidade.

Os poços requerem revestimento de toda a coluna, com uma ou várias seções de filtros, bem como a aplicação de pré-filtros. A adequada operacionalidade é assegurada com o desenvolvimento prolongado, devido às características texturais e composicionais.

8.4 - Aquífero Misto

Refere-se a sistemas onde as entradas de água no poço são feitas a partir de dois aquíferos, ou seja, cárstico-fissurado, cárstico-granular ou fissurado-granular, aqui tratados em conjunto como aquífero misto. O nível estático médio relativo a 12 poços é de 16,41m. A vazão média é de $9,41 \text{ m}^3/\text{h}$ e a vazão específica $1,08 \text{ m}^3/\text{h/m}$ determinadas em 22 poços. A profundidade, para 32 poços levantados, varia entre 31,0 e 156,0m, sendo que 21% destes têm profundidade entre 20,0 e 80,0m, 41% entre 80,0 e 100,0m e 37,0% acima de 100,0m. O valor médio fica em torno de 91,0m. Dados de entradas d'água foram obtidos em 16 poços, sendo que 20% encontram-se abaixo de 20,0m, 50% entre 20,0 e 60,0m e 19% posicionam-se entre 60,0 e 100,0m de profundidade.

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 86 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.

As oitenta e seis 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 50 análises, obtidas em bibliografia, 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, inconve-

niente/toxidade e formas de tratamento encontra apresentada no Anexo 3.

Os constituintes iônicos analisados foram: cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), sódio (Na^{+}), potássio (K^{+}), cloreto (Cl^{-}), sulfato (SO_4^{-}), bicarbonato (HCO_3^{-}), carbonato (CO_3^{-}), nitrato (NO_3^{-}), nitrito (NO_2^{-}), ferro total (Fe^{+2} e Fe^{+3}), fosfato (PO_4^{-3}), manganês total (Mn^{+2} e Mn^{+3}), fluoreto (F^{-}), alumínio total (Al), sílica (SiO_2), nitrogênio orgânico e amoniacal. Em alguns poços, onde se verificou a proximidade com fontes potenciais de contaminação ou alteração em algum aspecto organoléptico, analisou-se sulfetos, organo-clorados (análise qualitativa) e óleos e graxas.

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 536 poços ativos e que se encontravam em condições de amostragem.

Com base no diagrama de Piper (Figura 5A), observam-se que as águas do sistema cárstico são classificadas como bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas com predomínio dos tipos cálcicos. Essas águas tendem a possuir uma maior concentração de Ca^{+2} , Mg^{+2} e HCO_3^{-} , em razão da dissolução de calcários calcíticos e/ou dolomíticos.

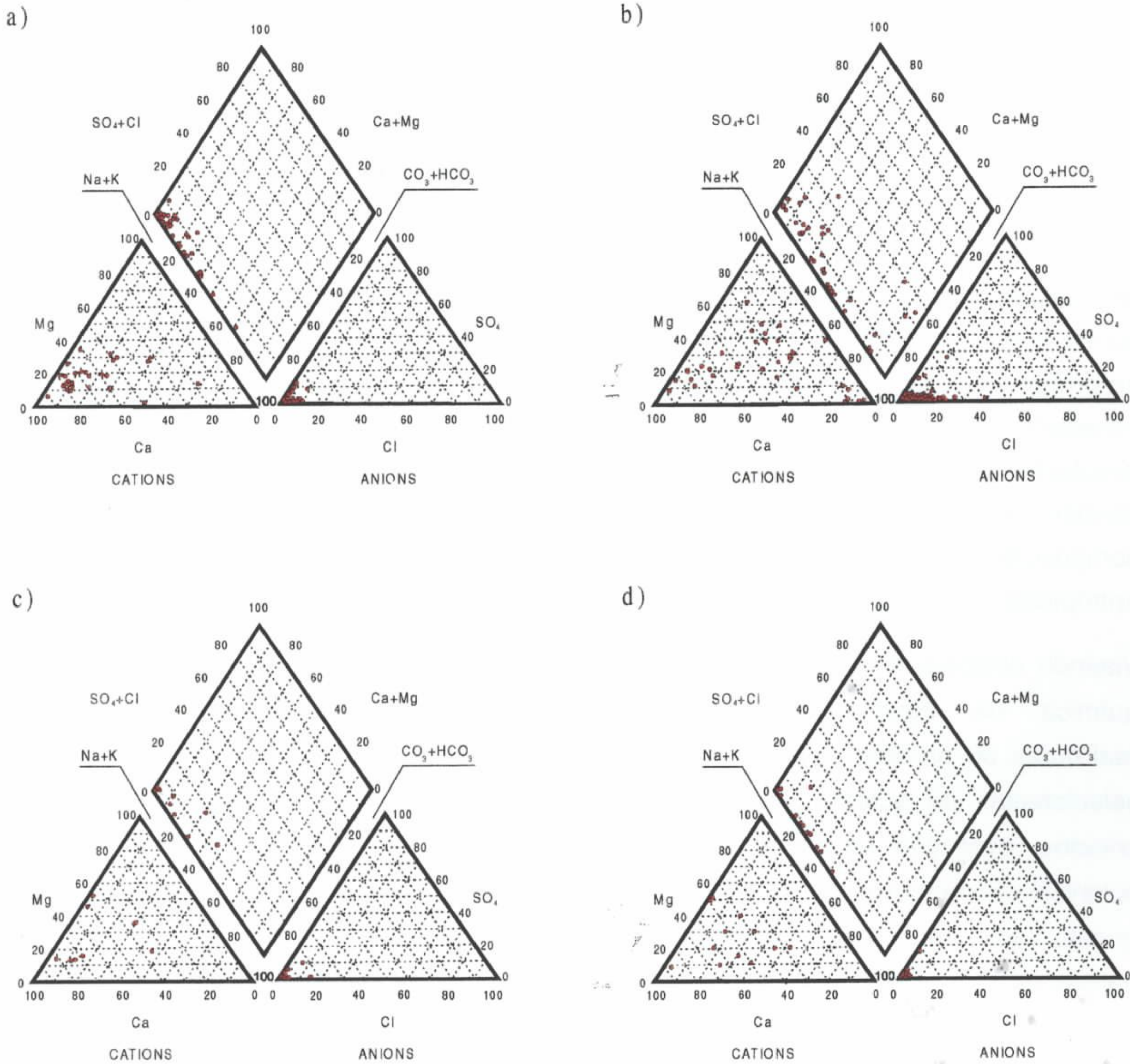


Figura 5 - Diagrama de Piper para os aquíferos: A) Cárstico, B) Fissurado, C) Granular e D) Misto.

Para o sistema fissurado, verificou-se a partir do diagrama (Figura 5B), que as águas ocupam o campo das bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, mistas e bicarbonatadas sódicas. 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. Esse íon pode também ocorrer dissolvido na água de chuva concentrando-

se no solo ou na rocha em regimes climáticos em que o déficit hídrico (evapotranspiração potencial superior à precipitação) é elevado.

As águas do sistema aquífero granular (Figura 5C) são bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, com menor ocorrência de águas mistas. As amostras apresentaram concentrações médias de Ca^{+2} , HCO_3^- e Na^+ elevadas se comparadas aos demais íons. O Ca^{+2} pode advir da dissolução de minerais como o feldspato e/ou gipso e o HCO_3^- pode ser resultante do 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. O Na^+ pode ter sua origem relacionada aos minerais argilosos constituintes da matriz dos sedimentos ou estar presente na água meteórica.

O diagrama de Piper exhibe para o sistema misto (Figura 5D) predominância de águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, com características peculiares aos sistemas de origem: cárstico (teores elevados de Ca^{+2} ,

Mg^{+2} e HCO_3^-), fissurado (alta concentração de Na^+) e granular (equivalência entre as proporções de cátions).

Levando-se em consideração as médias internas dos íons maiores (Figura 6), observa-se que o Ca^{+2} e o HCO_3^- estão presentes em maior proporção no aquífero cárstico, devido à dissolução de calcários. O íon Mg^{+2} pode ser encontrado, eventualmente, no sistema cárstico relacionando-se à dissolução de dolomitos.

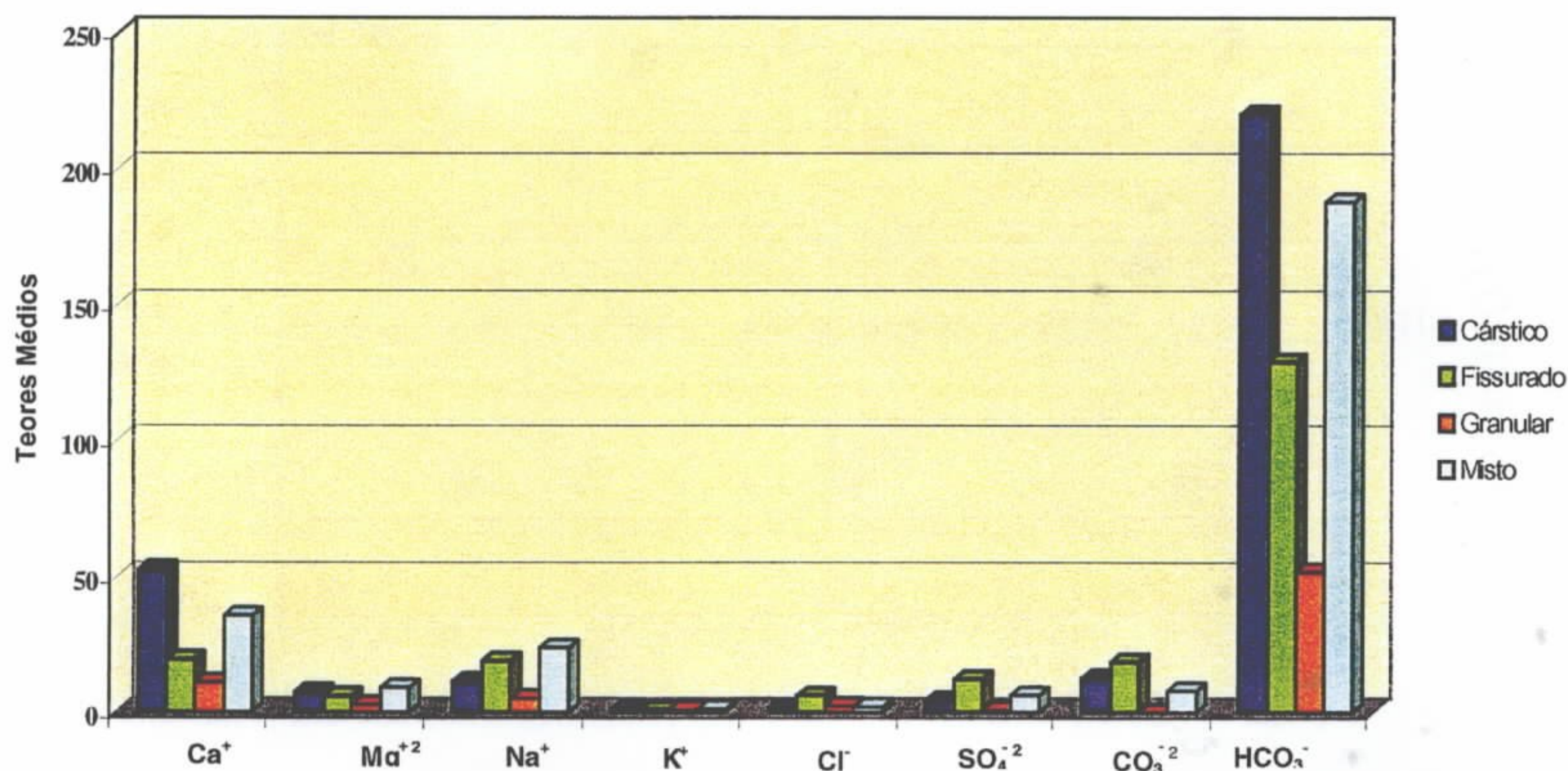


Figura 6 - Gráfico das médias internas (em mg/L) de cátions e ânions maiores para cada tipo aquífero.

As águas do aquífero misto (Figura 6), apresentam o maior teor médio dos íons Na^+ , porém, estes são mais característicos do sistema fissurado, como referido anteriormente. No sistema granular, os íons Na^+ ocorrem de maneira subordinada em relação aos demais.

Os íons Cl^- ocorrem predominantemente no aquífero fissurado. São originados dos sais dissolvidos nas águas meteóricas e que se concentram no solo. Variações nas concentrações desses íons podem originar-se,

também, pelos diferentes posicionamentos dos pontos amostrados, com relação às zonas de recarga e descarga.

O íon HCO_3^- ocorre em proporções elevadas em relação aos demais íons e de maneira crescente nos aquíferos granular, fissurado e cárstico. O sistema misto apresenta teor médio de HCO_3^- entre o fissurado e o cárstico.

Os íons sulfato, potássio e carbonato, em geral, ocorrem em baixos teores, sendo o primeiro mais comum nos aquíferos fissurado

e misto, devendo originar-se da oxidação de sulfetos e dissolução de sais presentes no solo. O íon carbonato mostra teor médio mais elevado para o sistema fissurado e cárstico, sendo função do pH e do conteúdo de gás carbônico (CO₂) na água.

O diagrama proposto por CHADHA (1999), Figura 7, mostra com nitidez, as relações apresentadas acima. Há o predomínio de

alcalinos terrosos (Ca⁺² e Mg⁺²) e de ânions de ácidos fracos (HCO₃⁻ e CO₃⁻²). As amostras dos aquíferos fissurados mostram distribuição ao longo dos campos 5 e 8, evidenciando a variabilidade química entre águas bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas. A única análise projetada no campo 4, caracteriza água com predomínio de íons alcalinos e ânions de ácidos fortes, de dureza permanente.

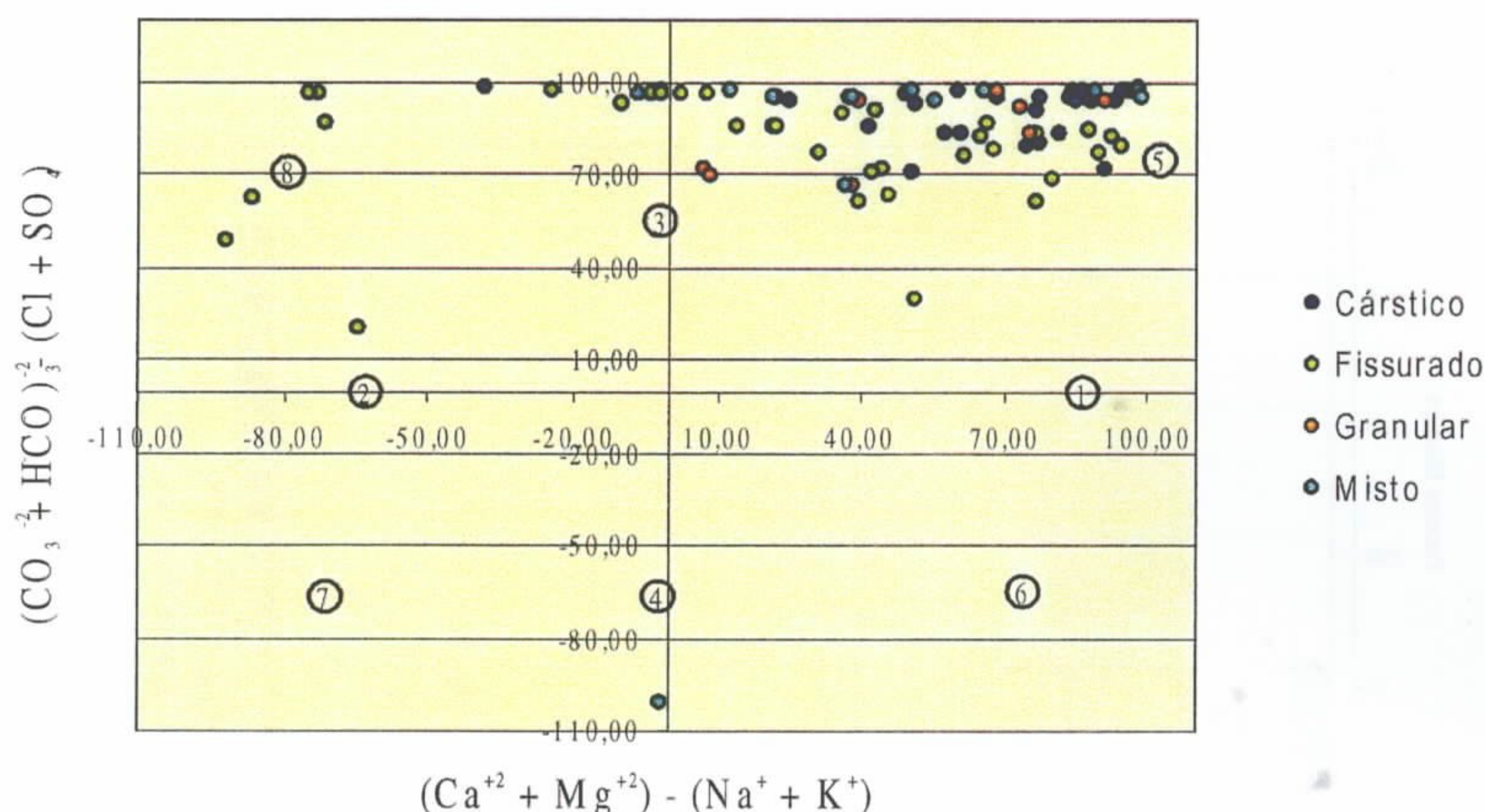


Figura 7 - Diagrama da diferença de porcentagem em miliequivalente entre metais alcalinos e alcalinos terrosos *versus* a diferença da porcentagem entre ânions de ácidos fracos e fortes. Fonte: CHADHA, 1999.

A condutividade elétrica é uma medida da facilidade da água em conduzir corrente elétrica, ligada à presença de sais dissolvidos na forma de íons. De modo geral, o aquífero cárstico exibe valores de condutividade elétrica acima dos demais, tendo como média 397,0µS/cm a 25°C. O sistema fissurado possui média de 248,41µS/cm e o granular de 40,7µS/cm, a 25°C. Para o sistema misto, a condutividade elétrica média é de 258,7µS/cm a 25°C.

Em termos gerais, os maiores valores pontuais de condutividades elétricas encontrados na área distribuem-se ao longo de duas faixas (Figura 8): uma de direção noroeste que se estende desde o município de Dom Bosco até o extremo noroeste do município de Unaí e a outra que se estende de Bonfinópolis de Minas ao extremo norte de Buritis.

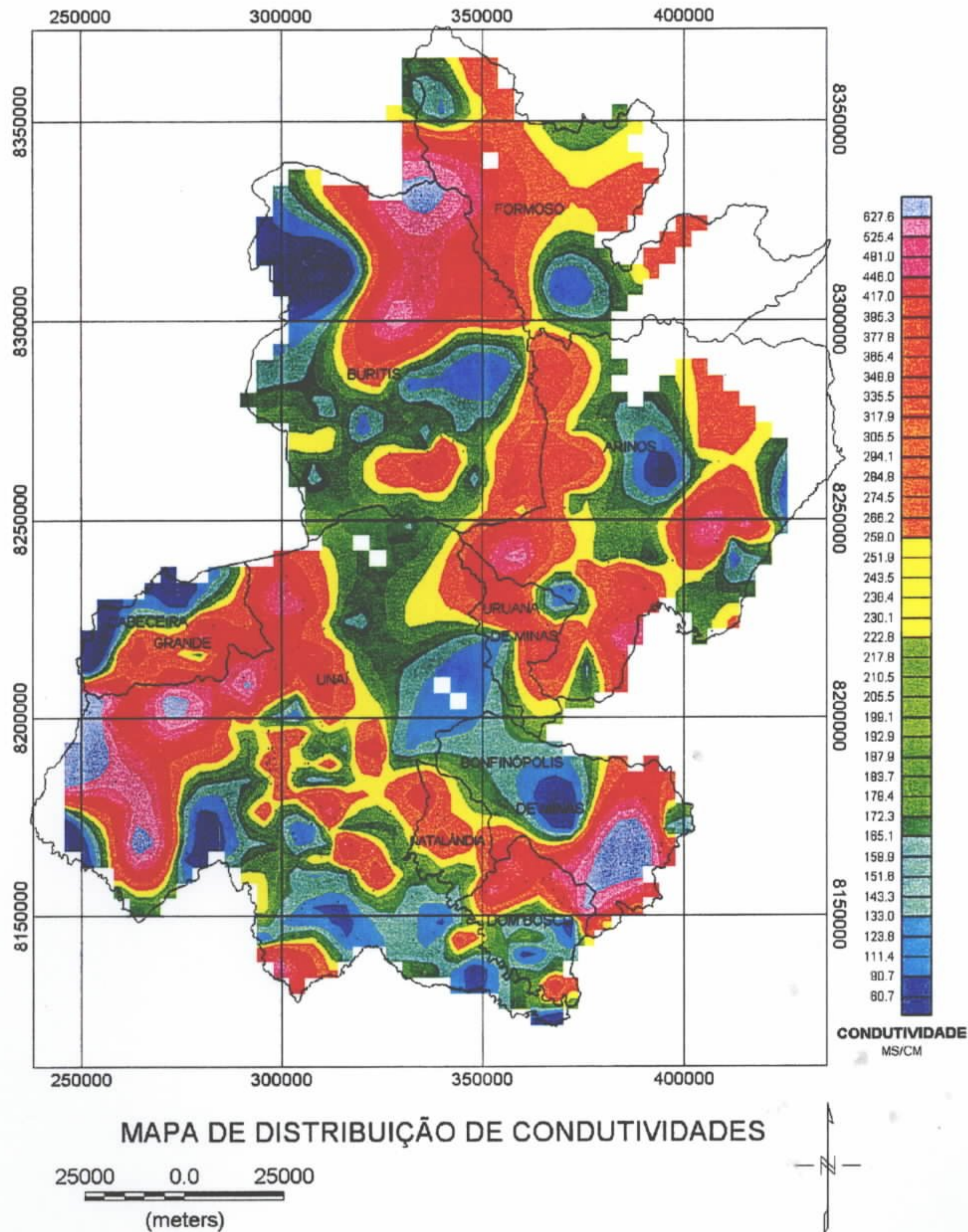


Figura 8 - Mapas de distribuição de condutividades elétricas (544 pontos d'água).

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 de pH: 7,3; 7,3; 6,3 e 6,9, 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 277,8mg/L, o fissurado de 170,9mg/L, o granular de 28,5mg/L e o sistema misto de 181,2mg/L.

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 171,5mg/L, enquanto que no fissurado foi de 97,7mg/L. O sistema granular mostrou valor médio de dureza total de 40,1mg/L e o sistema misto 126,2mg/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 191,81mg/L. A alcalinidade média do sistema fissurado é de 125,6mg/L, do granular de 42,5mg/L e do misto de 150,7mg/L.

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, pode 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 (Foto 5) ou presença de orifício na mesma e o espaço anelar entre o tubo de revestimento e a parede de perfuração não preenchido (Foto 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 (Foto 7).

Com base nessas características, verificou-se que 13% dos 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, identificaram-se 9% dos poços, sob risco médio 36 % e sob risco potencial baixo, 42% dos poços. A situação dos poços privados é menos preocupante, pois apenas 5% estão sob risco muito alto e 3% sob risco alto. Cerca de 58% encontravam-se sob risco médio e 34% dos poços sob risco baixo. A Figura 9 ilustra a proporção das situações potenciais de risco apresentadas.

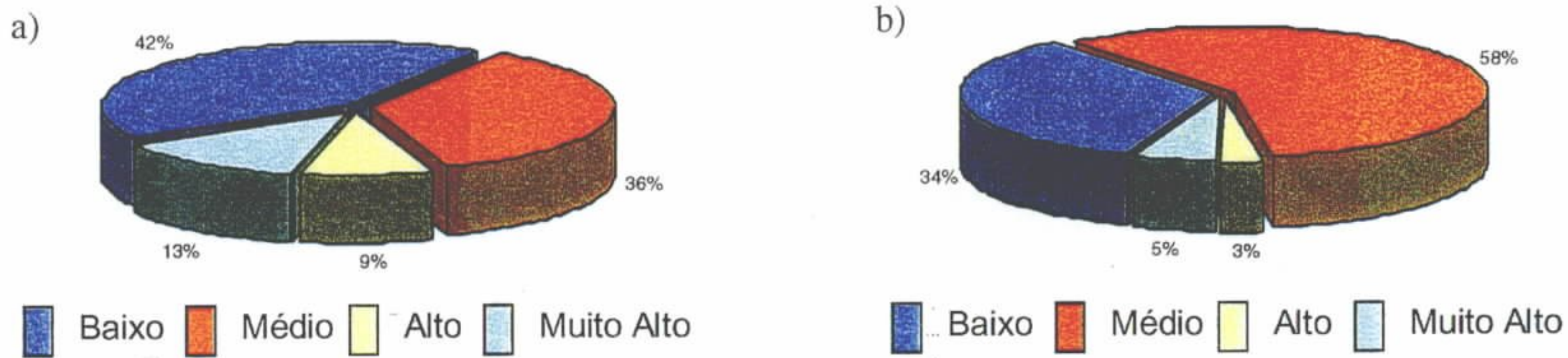


Figura 9 - Diagrama da situação dos poços quanto ao risco de poluição: a) Setor Público e b) Setor Privado.

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, vários poços foram encontrados localizados à pequena distância de fossas, enquanto que na zona urbana foram cadastrados poços em áreas de disposição de lixo ou próximo a essas (Foto 8). A existência de contaminação por rompimentos da rede de esgoto e por fossas na sede municipal, apesar de não constatada, é de ocorrência possível. Em 4% das análises foi confirmada, com base na relação coliformes fecais/estreptococos fecais, a contaminação de origem humana.

As atividades de pecuária constituem, na região, a principal fonte potencial de contaminação para as águas subterrâneas. Grande número de poços foi encontrado nas proximidades de currais, pocilgas, granjas ou em áreas de pastagens. Poços contaminados por coliformes fecais constituem 17,5% das amostras analisadas, a maioria situada na zona rural. Em 55% do total das amostras foram detectados coliformes totais e em 22,5%, estreptococos fecais. A relação coliformes fecais/estreptococos fecais (menor que 0,7) indica que 17% das análises mostram contaminação de origem predominantemente animal.

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. Entretanto, não foram detectados organoclorados nas análises qualitativas de varredura realizadas em amostras provenientes de poços situados em áreas de cultura. A ausência desses compostos não implica, necessariamente, não contaminação do aquífero, podendo refletir a baixa mobilidade no meio ou deficiência do método investigativo na determinação. Águas de surgências no sopé das chapadas ocupadas por plantações deverão ser investigadas para melhor avaliação da contaminação nos aquíferos granulares.

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. A presença de óleos e graxas foi detectada na água em posto de gasolina situado na cidade de Unaí.

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 10). Os parâmetros que ocorrem com maior frequência, acima dos limites de potabilidade, são turbidez, ferro, manganês 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.

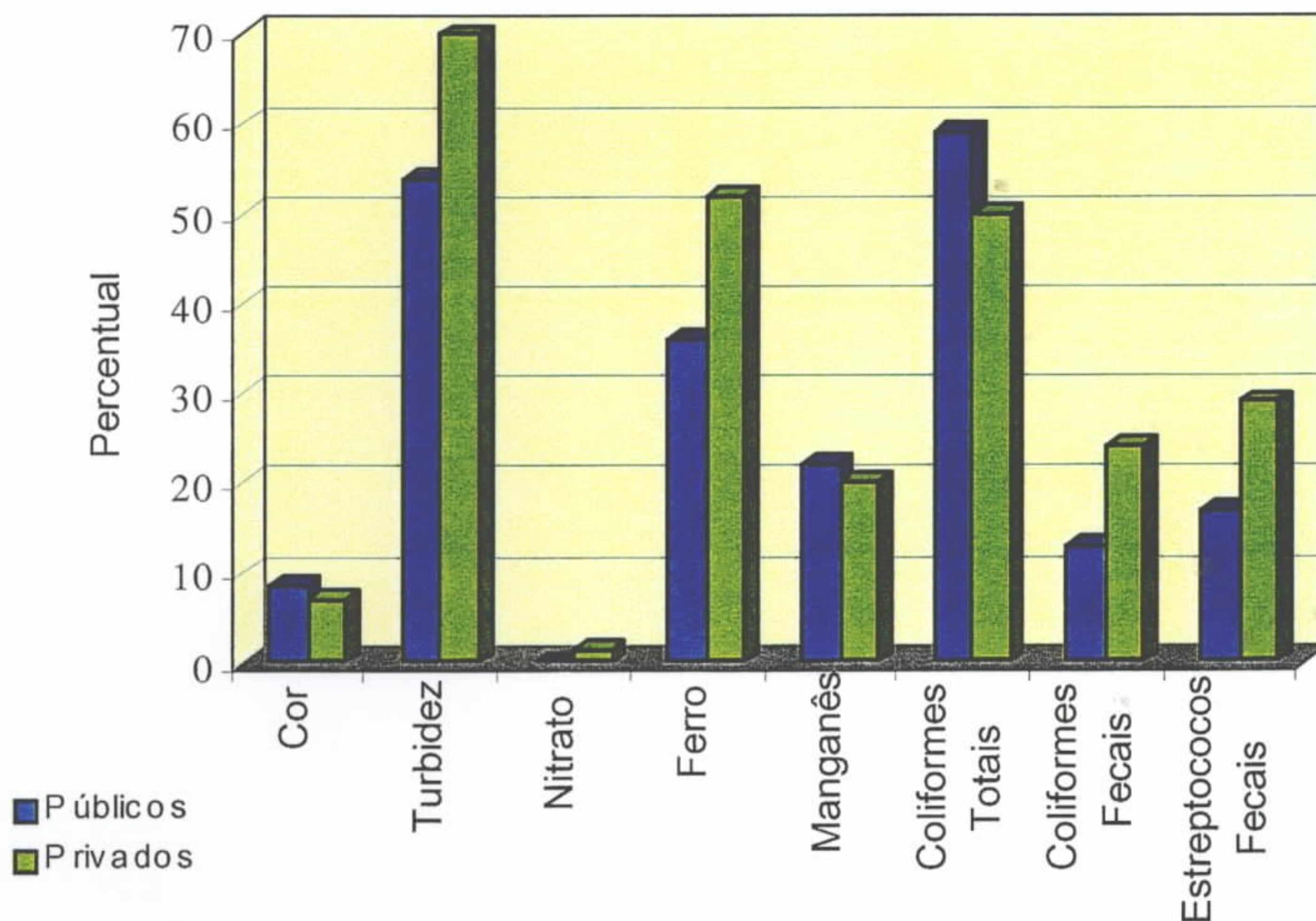


Figura 10 - Proporção dos parâmetros acima dos níveis de potabilidade.

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; des-

tampados; 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 (Foto 9), juntamente com o barramento de nascentes que alimentam os cursos d'água (Foto 10), 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 50% (328) 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 para Consumo Humano

A qualidade da água para o consumo humano é baseada na portaria número 36/1990 do Ministério da Saúde, a qual estabelece vários limites de potabilidade em relação aos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos. Conforme demonstrado no item de contaminação, as águas subterrâneas da microrregião 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 NO_3^- , NO_2^- , CO_3^- , K^+ , PO_4^{3-} , SO_4^- , Al e F^- são relativamente

baixas em todas as amostras, considerando-se os limites para o consumo humano. Entretanto, dentre as 131 análises, 55 apresentaram concentração de ferro total acima do limite de potabilidade, com valor médio igual a 1,56mg/L (limite = 0,30mg/L). Alto teor de ferro em água subterrânea, pode ser decorrente da presença de minerais ferromagnesianos, ocorrência de ferrobactérias ou corrosão do revestimento e/ou do filtro.

Com referência à concentração de manganês, dentre as 127 análises, 27 apresentaram teor acima do limite de potabilidade, com uma média de 0,26mg/L (limite máximo permissível = 0,10 mg/L). 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. Dentre as 126 amostras analisadas, 10 apresentaram valores acima do limite de potabilidade (5,0Pt/L), com média de 17,56Pt/L.

A turbidez representa a dificuldade da água em transmitir a luz, devido à contaminação por sólidos em suspensão (silte, argila, matéria orgânica, entre outros). A maioria das amostras, 56%, apresentou problemas quanto à turbidez. A média encontrada para estas amostras é de 14,14UNT (limite de potabilidade igual a 1UNT).

Exames bacteriológicos foram realizados em 80 amostras, para verificar possível contaminação da água. Constatou-se com o resultado das análises, que em 60 % dos poços, havia a presença de coliformes totais, e em 17% a presença de coliformes fecais e estreptococos fecais. 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 100ml, 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 para 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 11) permite prever as suas aptidões para o cultivo.

A maioria das amostras possui baixa razão de sódio e condutividade elétrica média entre 100 e 750 μ s/cm a 25°C. Em relação ao uso agrícola, isto 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.

É importante ressaltar, que no distrito de Igrejinha e na porção nordeste do município de Arinos, algumas amostras apresentaram concentrações elevadas de sódio, restringindo o uso da água na irrigação de solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica e com boa permeabilidade. Culturas de vegetais com alta tolerância ao sódio são, nesse caso, recomendadas.

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

716,8mg/L. Portanto, todas as águas analisadas são apropriadas para o uso animal.

A classificação da água para o consumo animal, levando em consideração o resíduo seco, determina que, se a concentração estiver entre 7.800 a 9.375 mg/L, a água é

suportável pelo gado (FEITOSA & FILHO, 1997). O valor máximo de resíduo seco encontrado nas águas estudadas é igual a 538,95mg/L, o que é bem inferior aos limites acima sugeridos, tornando o seu uso apropriado para a dessedentação animal.

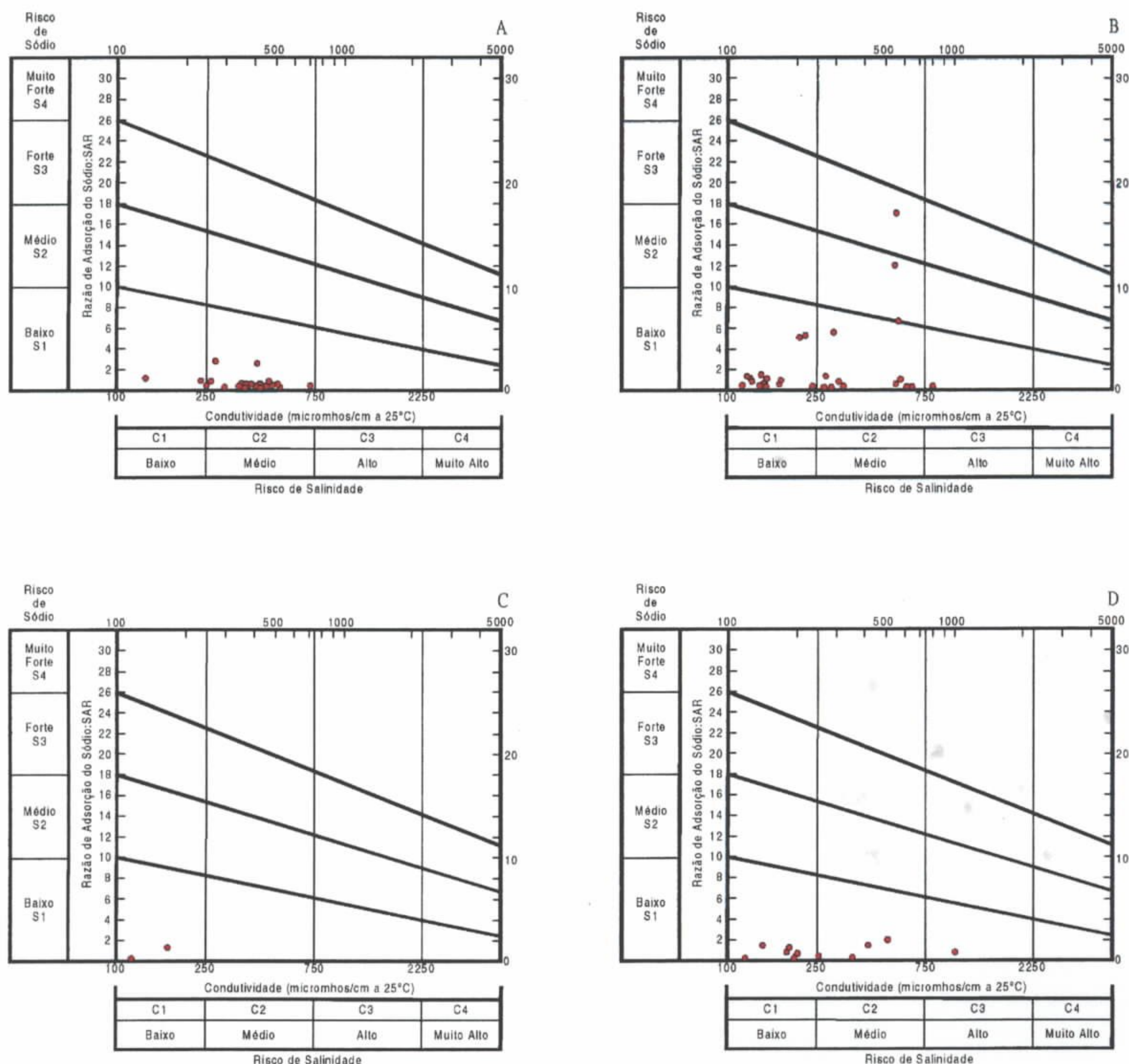


Figura 11 - Diagrama de Wilcox para os aquíferos: A) Cárstico, B) Fissurado, C) Granular e D) Misto.

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 instalações. Assim

sendo, procurou-se determinar a agressividade, a neutralidade ou a incrustabilidade da água, a partir do cálculo do índice de estabilidade de carbonato de cálcio que se utiliza dos valores de pH "in loco", da temperatura e da alcalinidade total.

Dessa forma, verificou-se, segundo a classificação de CUSTÓDIO & LLAMAS (1976), que se baseia nos valores do índice de estabilidade do carbonato de cálcio (índice de Ryznar), que as 37 amostras do meio cárstico, 45 do fissurado e 18 do sistema misto apresentaram, em conjunto, águas francamente agressivas. Para o sistema granular, as 13 análises indicaram águas muito agressivas. Há restrições quanto ao uso dessas águas na maioria das indústrias. Entretanto, a qualidade natural da água poderá ser modificada por meio 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, também não se adequam aos requisitos dos diversos tipos de indústrias, em decorrência dos valores médios elevados de dureza (171,54mg/L de CaCO_3) e alcalinidade (186,61mg/L de 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 (97,76mg/L de CaCO_3). 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 todos os tipos de aquíferos, acima dos limites industriais aceitáveis. Conforme já foi salientado, 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 892 poços, assim distribuídos: 128 no município de Arinos, 37 em Bonfinópolis de Minas, 112 em Buritis, 27 em Cabeceira Grande, 79 em Dom Bosco, 11 em Formoso, 28 em Natalândia e 450 em Unaí (80 extraídos da bibliografia disponível, não visitados). Destes, 665 pertencentes ao setor privado e 227 ao público. Atualmente 644 poços estão ativos, 76 tamponados, 44

desativados, 26 são considerados improdutivos e 22 foram abandonados. Cabe ressaltar que do total cadastrado, 80 poços referem-se a poços não visitados, cujas informações foram extraídas de bibliografia, portanto a situação atual dos mesmos não foi determinada. A Figura 12 apresenta as proporções da situação atual dos poços para os setores público e privado.



Figura 12 - 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.), impedindo sua reativação, a não ser que se proceda a avaliações e intervenções mais complexas. Poços secos são aqueles que não forneceram qualquer volume de água

ou volume extremamente reduzido, cuja instalação é desaconselhável em vista da demanda.

O aquífero cárstico é o mais explorado, contribuindo com 188 poços ativos, 2 poços desativados, 6 tamponados, 3 abandonados e 2 secos. No domínio granular, encontram-se 37 poços ativos, 3 tamponados, 1 desativado e 1 abandonado. O sistema fissurado apresenta 25 poços ativos, 7 tamponados, 7 abandonados, 6 desativados e 1 seco. No sistema misto, 27 poços estão em produção, 3 desativados e 1 tamponado. O restante dos poços não puderam ter o aquífero captado definido dada à falta de informações.

Atualmente um mínimo de 29.846 pessoas fazem uso da água de poços tubulares profundos, sendo 25.507 abastecidas pelo setor público e 4.339 por sistemas particulares. O uso para a dessedentação animal é mais intenso no período de estiagem e abrange um número mínimo de 115.643 cabeças de gado. É importante ressaltar a imprecisão desses dados de utilização da água subterrânea visto 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 explotado 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 18,6%, caso os poços desativados e tamponados sejam colocados em produção.

Quadro 1 - Estimativa da disponibilidade atual e da expansão do volume de água explotado no município.

| Poços Tubulares | Estimativa da Disponibilidade Atual | | | Estimativa da Expansão | | | |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------|---|
| | Poços Ativos | Qm (m ³ /h) | Qm total (m ³ /h) | Poços Desativados e Tamponados | Qm (m ³ /h) | Qm total (m ³ /h) | Porcentagem de Aumento da Disponibilidade |
| Setor Público | 132 | 11,31 | 1492,92 | 47 | 11,31 | 531,57 | 35,6% |
| Setor Privado | 512 | 11,31 | 5790,72 | 73 | 11,31 | 825,63 | 14,3% |
| Total | 644 | | 7283,64 | 120 | | 1357,20 | 18,6% |

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

Levando-se em consideração o abastecimento doméstico, urbano e dessedentação animal, temos que a demanda diária mínima de água captada por poços tubulares é de 1.479,38 m³/h, para 16 horas de bombeamento/dia, enquanto que a produção potencial dos 644 poços ativos, considerando vazão média de

11,31m³/h, é equivalente a 7.283,64m³/h (Quadro 1). Somando-se esse valor aos 1.357,20 m³/h relativos à disponibilidade potencial de produção de poços desativados e tamponados, verifica-se que o volume atualmente captado poderá ser ampliado, em aproximadamente seis 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.
- Antes de perfurar o poço, deve ser solicitada a autorização para perfuração. Após a perfuração, solicita-se a outorga de uso das águas. 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, considerando que as águas subterrâneas são de domínio dos estados. 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 esses 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.
- O aquífero cárstico, com 188 poços em produção, é o mais explorado porque atende à maior concentração populacional. Esse fato deve-se ao seu fornecimento de maiores volumes de água e à facilidade de captação a menores profundidades.
- O sistema fissurado, com 25 poços ativos, é caracterizado como um sistema de baixo fornecimento de água, mas apropriado para abastecimento de pequenas comunidades rurais.
- Os aquíferos granulares, com 37 poços em produção, representados por sedimentos cretácicos e terciário-quadernários, são pouco aproveitados dada a expressiva oferta de água superficial nos locais de ocorrência (chapadas).
- Os sedimentos aluvionares apresentam boas características para a circulação e armazenamento de água, restringindo-se, principalmente, às margens dos rios Preto e Urucuia. Apesar do bom potencial, são pouco utilizados.
- As águas são classificadas, em conjunto, como bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, havendo predomínio dos tipos cálcicos no sistema cárstico. As águas do sistema fissurado apresentam teores de Na^+ mais elevados quando comparados ao cárstico. O aquífero granular apresenta, eventualmente, águas bicarbonatadas sódicas. O sistema misto exibe características peculiares aos aquíferos que são captados em conjunto.
- Com base nas características construtivas e de manutenção, verificou-se que 13% dos poços públicos encontravam-se sob risco potencial muito alto de contaminação e 36% sob risco médio. Quanto ao setor privado, 5% dos poços mostravam-se sob risco muito alto de contaminação e 58% sob risco médio. O risco elevado de contaminação é devido, principalmente, às deficiências construtivas dos poços (ausência de laje de proteção sanitária, cimentação, cercado e tampa apropriada), bem como desativação e abandono irregulares.
- As principais fontes potenciais de contaminação dos poços tubulares na zona rural correspondem aos currais, granjas, pocilgas e fossas negras. 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 físico-química de 125 poços, não indica, de modo geral, restrição para o uso agrícola ou na pecuária. No entanto, para o uso industrial,

recomenda-se uma avaliação técnica para averiguação da viabilidade econômica de adoção de técnicas de tratamento, já que essas águas exibiram caráter natural agressivo e em alguns casos, dureza elevada.

- Em relação ao consumo humano, para alguns poços, as concentrações de ferro e de manganês, bem como valores de cor e turbidez da água, superaram os limites estabelecidos pela portaria 36/1990 do Ministério da Saúde. Os exames bacteriológicos indicaram a presença de coliformes totais em 55% dos poços analisados e de coliformes fecais e estreptococos fecais

em cerca de 17,5% e 22,5%, respectivamente.

- O volume de água subterrânea atualmente explotado ($1.480\text{m}^3/\text{h}$), correspondente a uma estimativa mínima para abastecimento doméstico, urbano e pecuária, poderá ser expandido em onze vezes a partir da reativação de poços tamponados e desativados. Quando se considera a disponibilidade atual de produção ($8.620\text{m}^3/\text{h}$), calculada a partir da média das vazões de teste dos poços ativos, esse aumento alcança 18,6%, o que equivale, somente para o setor público, um incremento na produção de 35,6%.

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: 15m;
 - Poços absorventes, linhas de irrigação subsuperficial, estábulos e currais: 30m;
 - Fossas negras (solução condenada): 45m;
 - Depósitos de lixo e estrumeiras: 15m;
 - Localização do fundo das fossas secas e dos poços absorventes: 2 a 3m 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 30m 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 4m de profundidade, prolongando uns 30cm 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 0,50m do terreno. Envolvendo totalmente essa 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 0,15m e área não inferior a 1m²;
- 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 10m, devem ser cimentados os 5m 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.
- 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 nas 5% restantes serão tolerados até 10 coliformes totais em 100mL, desde que não ocorram em duas análises consecutivas. A presença destes parâmetros bacteriológicos é indicativo de contaminação da água por microorganismos patogênicos o que exige a execução de exames periódicos para sua confirmação e adoção de medidas preventivas e/ou de procedimentos de desinfecção.
 - 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 estabelecem 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, 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

- APPELO, C.J.A., POSTMA D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Netherlands, A.A. Balkema Publishers. 1994. 250p.
- BARBOSA, O. *Projeto Goiânia*. Goiânia. DNPM, PROSPEC, 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, CETESB 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,: COMIG 1994. 97p.
- CUSTÓDIO, E., LLAMAS, M., R., *Hidrologia Subterrânea* Barcelona: 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.
- FEITOSA, F.A. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM / UFPE - Laboratório de Hidrogeologia, 1997.412p.
- JULIÃO, J. Apostila da disciplina química sanitária e ambiental. Belo Horizonte. 1995. 124p. (Material exclusivo para treinamento não comercializado).
- LEVES, W.J., FOSTER, S., DRASAR, B.S. *Analisis de Contaminacion de las águas subterráneas por sistemas de saneamento básico*. Lima, Peru. Centro Panamericano de Ingenieria Sanitária- Programa Regional de Prevencion e Control de la Contaminacion de Águas Subterráneas, 1988. 102p.
- MESTRINHO, S.S.P. Apostila de curso de contaminação de aquíferos. Belo Horizonte.1996. 99p.(Material exclusivo para treinamento não comercializado).
- 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. Parâmetros de qualidade de água. Belo Horizonte. CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2000. 9p. (Relatório Interno).

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*. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Editora da Universidade de São Paulo. 1991.v.3. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

SPERLING, M. von S. Apostila de ensino sobre qualidade de água. Belo Horizonte. 35p. (Material exclusivo para treinamento não comercializado).

VIANNA, M.R. *Hidráulica aplicada às estações de tratamento da água*. Belo Horizonte. Instituto de Engenharia Aplicada. 1992.

ANEXO 1

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

| Nº Ponto | Município | Localidade | Setor | Coordenadas | | Data da Perfuração | Profundidade (m) | Nível Estático (m) | Nível Dinâmico (m) | Vazão (m ³ /h) | Vazão Espec. (m ³ /h.m) | Situação do poço | Tipo de Aquífero | Parâmetros "in loco" | | | |
|----------|-----------------------|---|---------|-------------|----------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|----------------------|------------|------------|------------|
| | | | | Longitude | Latitude | | | | | | | | | pH | CE (µs/cm) | STD (mg/L) | Temp. (oC) |
| ARI-122 | Arinos | Sagarana - (Lote 78) | Público | 385200 | 8215512 | | | | | | | Ativo | Cárstico | 8,01 | 440,00 | 308,00 | 28,80 |
| ARI-123 | Arinos | Sagarana - Sede | Público | 374620 | 8211931 | | | | | | | Abandonado | Indefinido | | | | |
| ARI-124 | Arinos | Fazenda Camarinhas | Privado | 369593 | 8217242 | 1998 | 84,00 | | | | | Ativo | Cárstico | 7,18 | 505,00 | 353,00 | 27,40 |
| ARI-125 | Arinos | Sagarana - (Lote 81) | Público | 384476 | 8213847 | | | | | | | Ativo | Indefinido | 7,24 | 203,00 | 142,00 | 27,70 |
| ARI-126 | Arinos | Fazenda Mangue | Privado | 376243 | 8238938 | 22/11/98 | 80,00 | 14,00 | 28,00 | 8,80 | 0,63 | Ativo | Indefinido | 7,75 | 241,00 | 170,00 | 26,80 |
| ARI-127 | Arinos | Fazenda Jaboticabas | Privado | 364003 | 8239318 | 23/12/96 | 80,00 | 12,00 | 20,00 | 15,84 | 1,98 | Ativo | Cárstico | 7,05 | 345,00 | 242,00 | 27,00 |
| ARI-128 | Arinos | São Domingos - JB | Privado | 363843 | 8287437 | 1996 | 90,00 | 14,00 | 29,00 | 9,70 | | Ativo | Cárstico | 7,50 | 424,00 | | 27,30 |
| BON-001 | Bonfinópolis de Minas | CASEMG | Privado | 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-002 | Bonfinópolis de Minas | Rua Manoel Luis Brandão, 347 | Público | 394722 | 8167926 | 11/09/80 | 69,1 | 3,90 | 34,93 | 12,38 | 0,40 | Abandonado | Cárstico | | | | |
| BON-003 | Bonfinópolis de Minas | Rua Dalva de Abreu, s/n | Público | 394759 | 8167464 | 12/07/77 | 84,5 | 5,15 | 27,65 | 23,22 | 1,03 | Desativado | Fissurado | | | | |
| BON-004 | 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-005 | 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-006 | 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-007 | Bonfinópolis de Minas | Sede - COPASA | Público | 394720 | 8168745 | 23/02/81 | 78,00 | 8,00 | 47,77 | 8,75 | 0,22 | Desativado | Fissurado | | | | |
| BON-008 | Bonfinópolis de Minas | Fazenda Santo Antônio do Roçado | Privado | 391979 | 8170981 | 1986 | 146,00 | | | 4,50 | | Ativo | Cárstico | 7,23 | 546,00 | 382,20 | 24,80 |
| BON-009 | Bonfinópolis de Minas | Fazenda Santo Antônio do Roçado | Privado | 391872 | 8171219 | 1986 | 74,00 | | | 13,00 | | Ativo | Misto | 7,18 | 534,00 | 373,80 | 24,70 |
| BON-010 | Bonfinópolis de Minas | Santo Antônio do Barreiro | Privado | 394188 | 8165737 | 1993 | 134,00 | 19,00 | | | | Poço Seco | Indefinido | | | | |
| BON-011 | Bonfinópolis de Minas | Fazenda Santo Antônio do Barreiro Angico | Privado | 389441 | 8166689 | 01/10/96 | 42,00 | 17,00 | | | | Ativo | Misto | 7,40 | 1024,00 | 716,80 | 25,70 |
| BON-012 | Bonfinópolis de Minas | Fazenda Santo Antônio do Barreiro Vargem Bonita | Privado | 390135 | 8164994 | 1998 | 120,00 | | | | | Poço Seco | Indefinido | | | | |
| BON-013 | Bonfinópolis de Minas | Fazenda Santo Antônio do Barreiro | Privado | 393831 | 8166514 | 10/95 | 103,00 | 17,00 | | | | Ativo | Cárstico | 7,20 | 476,00 | 333,20 | 25,90 |
| BON-014 | Bonfinópolis de Minas | Fazenda Bastardo | Privado | 395162 | 8171600 | 19/07/98 | 60,00 | 6,00 | 14,00 | 30,40 | 3,80 | Tamponado | Indefinido | | | | |
| BON-015 | Bonfinópolis de Minas | Fazenda Bela Vista | Privado | 394307 | 8173291 | 07/93 | 104,00 | | | | | Ativo | Fissurado | 6,12 | 134,00 | 93,80 | 27,90 |
| BON-016 | Bonfinópolis de Minas | Fazenda Morro do Galheiro | Privado | 392896 | 8174609 | 21/07/98 | 133,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | Poço Seco | Indefinido | | | | |
| BON-017 | 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-018 | Bonfinópolis de Minas | Saco da Roça/Caralbas | Privado | 390010 | 8179229 | 24/07/98 | 90,00 | 14,00 | 48,00 | 6,60 | 0,19 | Tamponado | Indefinido | | | | |
| BON-019 | 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-020 | Bonfinópolis de Minas | Morro do Galheiro | Público | 396525 | 8176046 | 1998 | 121,1 | 22,00 | 73,00 | 3,30 | 0,06 | Poço Seco | Indefinido | | | | |
| BON-021 | Bonfinópolis de Minas | Santo Antônio do Roçado - Riacho dos Machados | Público | 398519 | 8176877 | 01/08/98 | 120,00 | 15,34 | | 13,00 | | Tamponado | Indefinido | | | | |
| BON-022 | 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-023 | Bonfinópolis de Minas | Riacho da Calda | Público | 395201 | 8181926 | 01/08/98 | 120,00 | | 60,00 | 1,20 | 0,02 | Poço Seco | Indefinido | | | | |
| BON-024 | 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-025 | Bonfinópolis de Minas | Lajinha do Boi | Público | 394050 | 8188527 | 01/08/98 | 128,00 | 5,46 | | | | Poço Seco | Indefinido | | | | |
| BON-026 | Bonfinópolis de Minas | Assa-Peixe - Lote nº 05 do INCRA | Privado | 381662 | 8190643 | 12/02/95 | 71,00 | | | | | Poço Seco | Indefinido | | | | |

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

| Nº Ponto | Município | Localidade | Setor | Coordenadas | | Data da Perfuração | Profundidade (m) | Nível Estático (m) | Nível Dinâmico (m) | Vazão (m ³ /h) | Vazão Espec. (m ³ /h.m) | Situação do poço | Tipo de Aquífero | Parâmetros "in loco" | | | |
|----------|------------------|-------------------------------------|---------|-------------|----------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|----------------------|------------|------------|------------|
| | | | | Longitude | Latitude | | | | | | | | | pH | CE (µs/cm) | STD (mg/L) | Temp. (oC) |
| BUR-101 | Buritis | Fazenda Ponte Yputiua | Privado | 306040 | 8313455 | 01/10/99 | 42,00 | 12,00 | | 2,00 | | Ativo | Granular | 5,00 | 4,35 | 3,05 | 23,20 |
| BUR-102 | Buritis | Ceval | Privado | 317000 | 8311905 | 1998 | | | | | | Ativo | Indefinido | | | | |
| BUR-103 | Buritis | Ceval | Privado | 317025 | 8311823 | 1989 | 68,00 | | | | | Ativo | Granular | 5,50 | 19,37 | 13,56 | 24,40 |
| BUR-104 | Buritis | Fazenda Santana (Sede) | Privado | 349115 | 8274201 | | | | | | | Ativo | Indefinido | 7,00 | 195,10 | 136,57 | 26,60 |
| BUR-105 | Buritis | Agropecuária dos Reis | Privado | 334666 | 8281623 | 04/12/99 | 96,00 | 16,00 | 21,00 | 14,12 | 2,82 | Tamponado | Indefinido | | | | |
| BUR-106 | Buritis | Fazenda Cipó | Privado | 341376 | 8269077 | | 80,00 | 7,00 | 20,00 | 13,20 | 1,02 | Ativo | Cárstico | 8,00 | 397,00 | 277,90 | 26,80 |
| BUR-107 | Buritis | Fazenda São Sepé | Privado | 343616 | 8294227 | 14/11/99 | 60,00 | 7,00 | 10,00 | 20,00 | 6,67 | Ativo | Indefinido | 7,00 | 169,20 | 118,44 | 23,20 |
| BUR-108 | Buritis | Fazenda Santana | Privado | 350551 | 8273783 | 28/05/91 | 80,00 | 68,00 | 71,00 | 18,00 | 6,00 | Ativo | Indefinido | 7,50 | 202,00 | 141,40 | 25,40 |
| BUR-109 | Buritis | Assentamento Vida Nova | Privado | 355000 | 8257300 | 09/02/99 | 102,00 | | | | | Poço Seco | Indefinido | | | | |
| BUR-110 | Buritis | Assentamento Para Terra da Agrovila | Privado | 314000 | 8277700 | 03/02/99 | | | | | | Poço Seco | Indefinido | | | | |
| BUR-111 | Buritis | Fazenda Taquaril | Privado | 317200 | 8271150 | | 80,00 | | | 7,00 | | Tamponado | Indefinido | | | | |
| BUR-112 | Buritis | Atrás da Serra | Privado | 250680 | 8271260 | 28/11/97 | 80,00 | 11,00 | 28,00 | 8,30 | 0,49 | Ativo | Indefinido | 7,50 | 156,80 | | 24,40 |
| CAB-001 | Cabeceira Grande | Sede | Público | 276566 | 8226364 | 1994 | 165,00 | 10,00 | | | | Desativado | Indefinido | | | | |
| CAB-002 | Cabeceira Grande | Sede | Público | 276548 | 8226477 | 1990 | 170,00 | | | | | Desativado | Indefinido | | | | |
| CAB-003 | Cabeceira Grande | Sede / Entrepasto Capul | Privado | 276339 | 8227291 | 1998 | 235,00 | | | 4,00 | | Ativo | Indefinido | 6,82 | 120,00 | 84,00 | 25,00 |
| CAB-004 | Cabeceira Grande | Sede / ETA | Público | 276519 | 8226482 | | 65,00 | | 37,00 | 10,00 | | Ativo | Granular | 6,35 | 52,60 | 36,82 | 25,70 |
| CAB-005 | Cabeceira Grande | Fazenda Santa Cândida | Privado | 274237 | 8226154 | 1988 | 126,00 | 12,65 | 88,95 | 0,89 | 0,01 | Ativo | Indefinido | | | | |
| CAB-006 | Cabeceira Grande | Pedra Preta / Caxambu | Privado | 282109 | 8222655 | 1985 | 96,00 | | | 12,00 | | Ativo | Cárstico | 7,35 | 446,00 | 312,20 | 22,80 |
| CAB-007 | Cabeceira Grande | Bolívia / Fazenda Lajes | Privado | 283176 | 8223584 | 1988 | 100,00 | | | 10,00 | | Ativo | Cárstico | 7,44 | 298,00 | 208,60 | 24,40 |
| CAB-008 | Cabeceira Grande | Bolívia / Fazenda Fartura | Privado | 279157 | 8217220 | 1985 | 100,00 | 70,00 | | 5,00 | | Ativo | Indefinido | 6,90 | 135,00 | 94,50 | 24,80 |
| CAB-009 | Cabeceira Grande | Bolívia / Fazenda Canaã | Privado | 279457 | 8218225 | 1999 | 60,00 | | | 5,00 | | Ativo | Cárstico | 6,95 | 554,00 | 387,80 | 24,70 |
| CAB-010 | Cabeceira Grande | Bonsucesso / Grupo Escolar | Público | 291364 | 8217789 | | 76,00 | 29,01 | 49,70 | 4,03 | 0,19 | Tamponado | Indefinido | | | | |
| CAB-011 | Cabeceira Grande | Bonsucesso / Fazenda Galho | Privado | 293656 | 8217216 | 1992 | 70,00 | | | 0,50 | | Ativo | Cárstico | 7,32 | 324,00 | 226,80 | 24,90 |
| CAB-012 | Cabeceira Grande | Bonsucesso / Fazenda Bonsucesso | Privado | 290013 | 8220293 | | 184,00 | | | | | Ativo | Cárstico | 7,41 | 328,00 | 229,60 | 26,10 |
| CAB-013 | Cabeceira Grande | Bonsucesso / Fazenda Poço Claro | Privado | 291121 | 8223193 | | 130,00 | | | | | Ativo | Cárstico | 7,09 | 421,00 | 294,70 | 25,70 |
| CAB-014 | Cabeceira Grande | Pau Terra | Público | 291420 | 8225604 | 1985 | 82,00 | 16,45 | | 10,00 | | Ativo | Indefinido | 6,75 | 136,00 | 95,20 | 25,20 |
| CAB-015 | Cabeceira Grande | Pé de Galinha | Privado | 270404 | 8217400 | 01/07/99 | 100,00 | 14,00 | 56,00 | 4,00 | 0,10 | Ativo | Cárstico | | | | |
| CAB-016 | Cabeceira Grande | Extrema / Fazenda Riachão | Privado | 263066 | 8223000 | 31/03/98 | 138,00 | 38,00 | 91,00 | 5,10 | 0,10 | Ativo | Misto | 6,88 | 206,00 | 144,20 | 25,90 |
| CAB-018 | Cabeceira Grande | Fazenda Riacho do Pé | Privado | 260388 | 8221882 | 1994 | 31,00 | 14,00 | 25,00 | 8,60 | 0,78 | Ativo | Misto | 6,75 | 133,70 | 93,59 | 24,70 |
| CAB-019 | Cabeceira Grande | Palmital / Fazenda São Bento | Privado | 262899 | 8221110 | | 80,00 | 27,00 | 42,00 | 4,20 | 0,28 | Ativo | Cárstico | 6,67 | 328,00 | 229,60 | 23,40 |
| CAB-020 | Cabeceira Grande | Palmital / Fazenda São Bento | Privado | 263953 | 8218653 | | 47,00 | | | 6,50 | | Ativo | Cárstico | 7,60 | 342,00 | 239,40 | 23,80 |
| CAB-021 | Cabeceira Grande | Vão Moreiras | Privado | 271645 | 8218696 | | 90,00 | 6,55 | | 12,50 | | Tamponado | Indefinido | | | | |
| CAB-022 | Cabeceira Grande | Moreira | Privado | 267974 | 8217581 | 1990 | 90,00 | 37,80 | | 7,00 | | Tamponado | Indefinido | | | | |
| CAB-023 | Cabeceira Grande | Palmital / Fazenda Palmital | Privado | 257552 | 8215685 | | 42,8 | 16,74 | | 0,40 | | Ativo | Indefinido | 7,84 | 236,00 | 165,20 | 24,70 |
| CAB-024 | Cabeceira Grande | Bolívia / Fazenda Bolívia | Privado | 287882 | 8234259 | | | | | | | Ativo | Indefinido | 7,75 | 178,80 | 125,16 | 25,40 |

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

| Nº Ponto | Município | Localidade | Setor | Coordenadas | | Data da Perfuração | Profundidade (m) | Nível Estático (m) | Nível Dinâmico (m) | Vazão (m ³ /h) | Vazão Espec. (m ³ /h.m) | Situação do poço | Tipo de Aquífero | Parâmetros "in loco" | | | |
|----------|-----------------|------------------------|---------|-------------|----------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|----------------------|------------|------------|------------|
| | | | | Longitude | Latitude | | | | | | | | | pH | CE (µs/cm) | STD (mg/L) | Temp. (oC) |
| URU-014 | Uruana de Minas | Fazenda Pasto dos Bois | Privado | 370158 | 8223384 | 01/05/95 | 80,00 | 22,00 | 24,00 | 9,30 | 4,65 | Ativo | Misto | 7,07 | 327,00 | 228,90 | 27,50 |
| URU-015 | Uruana de Minas | Fazenda Pasto dos Bois | Privado | 369390 | 8221095 | | | | | | | Ativo | Indefinido | | | | |
| URU-016 | Uruana de Minas | Povoado Cercado | Público | 364381 | 8199674 | | | | | | | Ativo | Fissurado | 7,97 | 223,00 | 156,10 | 25,70 |
| URU-017 | Uruana de Minas | Fazenda Renascença | Privado | 351052 | 8213469 | | | | | | | Ativo | Granular | | | | |
| URU-018 | Uruana de Minas | Fazenda Renascença | Privado | 355781 | 8218087 | | | | | | | Ativo | Granular | 6,00 | 6,15 | 4,31 | 24,50 |
| URU-019 | Uruana de Minas | Fazenda Renascença | Privado | 355781 | 8218087 | | | | | | | Abandonado | Granular | | | | |
| URU-020 | Uruana de Minas | Lote da Femecape | Privado | 357982 | 8214830 | | | | | | | Ativo | Indefinido | 7,56 | 249,00 | 174,30 | 26,60 |

Valores em vermelho indicam dados calculados

ANEXO 2

Características Organolépticas, Físico-Químicas, Químicas e Bacteriológicas

| N° Ponto | Município | Localidade | Data da Coleta | Cor (mg/Pt) | Turbidez (unt) | Sólidos Totais (mg/L) | Dureza Total (mg/L de CaCO ₃) | Na ⁺ (mg/L) | K ⁺ (mg/L) | Ca ⁺² (mg/L) | Mg ⁺² (mg/L) | HCO ₃ ⁻ (mg/L) | CO ₃ ²⁻ (mg/L) | SO ₄ ²⁻ (mg/L) | Cl ⁻ (mg/L) | Fe Total (mg/L) | Mn (mg/L) | Nitrato (mg/L) | Nitrito (mg/L) | F ⁻ (mg/L) | Fosfato Total em P | Coliformes Totais (em 100mL) |
|----------|-----------|----------------------------------|----------------|-------------|----------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------|-----------|----------------|----------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|
| UNA-394 | Unai | Fazenda Brochado | 24/01/79 | | | | 40,57 | 6,20 | 0,90 | 5,50 | 6,20 | 84,18 | | 3,40 | 8,10 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-396 | Unai | Fazenda Canto | 24/01/79 | | | | 226,97 | 20,10 | 1,40 | 73,00 | 13,00 | 271,67 | | 12,02 | 10,10 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-398 | Unai | Fazenda Curral da Fama | 24/01/79 | | | | 64,46 | 10,96 | 1,30 | 17,58 | 5,20 | 101,26 | | 0,40 | 9,10 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-399 | Unai | Fazenda Fala Verdade | 24/01/79 | | | | 348,88 | 5,50 | 0,60 | 115,07 | 7,20 | 328,18 | | 15,19 | 6,10 | | | 18,70 | 0,000 | | | |
| UNA-400 | Unai | Fazenda Fala Verdade | 24/01/79 | | | | | 3,50 | 0,90 | 4,60 | 3,80 | 29,28 | | 9,50 | 2,00 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-402 | Unai | Fazenda Galho | 05/12/78 | | | | 124,46 | 22,00 | 1,00 | 31,55 | 10,00 | 164,70 | | 18,44 | 2,00 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-405 | Unai | Fazenda Julião | 24/01/79 | | | | 172,48 | 5,00 | 0,80 | 57,22 | 8,60 | 203,60 | | 0,30 | 9,10 | | | 0,00 | 0,000 | | | |
| UNA-406 | Unai | Fazenda Mata Velha | 24/01/79 | | | | 21,17 | 0,30 | 2,30 | 3,70 | 5,40 | 31,11 | | 0,30 | 3,00 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-407 | Unai | Fazenda Matinha | 15/09/78 | | | | 45,47 | 13,51 | 0,00 | 11,80 | 3,90 | 81,74 | | 1,90 | 2,00 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-408 | Unai | Fazenda Olhos d'Água | 23/08/89 | 5,00 | 12,50 | 197,60 | 100,00 | | | 27,76 | 7,65 | 136,27 | ND | 0,10 | 10,58 | 2,68 | 0,02 | <0,001 | <0,001 | | | |
| UNA-410 | Unai | Fazenda Riacho da Pedra | 24/01/79 | | | | 147,39 | 46,50 | 3,20 | 26,85 | 23,50 | 302,25 | | 0,50 | 12,12 | | | 0,00 | 0,000 | | | |
| UNA-415 | Unai | Fazenda Riacho da Pedra | 24/01/79 | | | | 104,27 | 9,30 | 1,90 | 26,29 | 9,40 | 137,74 | | 0,30 | 7,10 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-421 | Unai | Fazenda Roncador | 24/01/79 | | | | 258,92 | 5,60 | 0,90 | 76,61 | 13,20 | 269,62 | | 12,13 | 10,10 | | | 2,60 | 0,000 | | | |
| UNA-424 | Unai | Fazenda Santa Clara | 24/01/79 | | | | 396,90 | 22,71 | 2,40 | 116,17 | 23,40 | 420,90 | | 64,00 | 10,10 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-425 | Unai | Fazenda São José | 24/01/79 | | | | 60,96 | 4,80 | 0,60 | 19,54 | 1,40 | 70,80 | | 0,00 | 2,90 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-427 | Unai | Fazenda Sítio | 24/01/79 | | | | 49,59 | 10,77 | 0,70 | 8,20 | 6,20 | 77,47 | | 0,60 | 5,10 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-429 | Unai | Fazenda Tamboril | 24/01/79 | | | | 71,54 | 6,90 | 1,20 | 21,90 | 3,40 | 97,56 | | 1,60 | 6,10 | | | 0,20 | 0,000 | | | |
| UNA-430 | Unai | Fazenda Unai | 17/05/89 | 2,50 | 0,55 | 269,80 | 262,00 | | | 89,60 | 9,50 | 353,80 | ND | 5,00 | 0,75 | 0,15 | <0,03 | 0,002 | 0,002 | | | |
| UNA-433 | Unai | Palmeirinha | 01/05/95 | 2 | 0,56 | 353,8 | 259,43 | | | 73,58 | 18,34 | | | 8,92 | 0,78 | 0,06 | <0,01 | 0,01 | <0,001 | | | |
| UNA-434 | Unai | Palmeirinha/Escola Pedro Pereira | 18/03/95 | 2 | 0,94 | 39,2 | 10,85 | | | 3,02 | 0,8 | | | <0,10 | 0,25 | 0,3 | <0,01 | <0,01 | <0,001 | | | |
| UNA-439 | Unai | São Pedro do Cipó/Sapezal | 03/05/95 | 2 | 3,10 | 281,5 | 211,32 | | | 60,38 | 14,67 | | | 10,63 | 0,52 | 0,78 | <0,01 | 0,11 | 0,023 | | | |
| UNA-454 | Unai | Sede | 29/07/89 | 10,00 | 18,00 | 134,60 | 44,00 | | | 6,00 | 7,25 | 81,98 | ND | 1,80 | <0,25 | 2,38 | 0,07 | <0,001 | <0,001 | | | |
| UNA-455 | Unai | Sede | 24/04/89 | 2,50 | 4,50 | 165,10 | 62,00 | | | 11,20 | 8,50 | 130,05 | ND | 0,50 | <0,25 | 0,70 | <0,03 | <0,001 | <0,001 | | | |

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

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"> É a capacidade da água transmitir corrente elétrica. Apresenta relação proporcional à concentração de substâncias iônicas dissolvidas. | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> Condutividade elétrica elevada pode estar relacionada a alterações de sabor e problemas de corrosão ou incrustação em tubulações e reservatórios. | <ul style="list-style-type: none"> Dependendo da natureza das substâncias dissolvidas o tratamento deverá ser direcionado para remoção da dureza ou extração dos sólidos totais dissolvidos. |
| Dureza Total | 500 mg/L CaCO ₃ ⁻¹ | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio (ex.: rochas calcárias). Grandes teores provêm de despejos de indústrias têxteis, químicas, lavanderias e curtumes. | <ul style="list-style-type: none"> Inibe a formação de espuma Formação de incrustações nas tubulações e equipamentos Sabor desagradável | <ul style="list-style-type: none"> A remoção da dureza pode ser feita pelos seguintes métodos: <ul style="list-style-type: none"> adição de cal e soda em quantidade precisamente calculada; utilização de substâncias (resinas sintéticas) que promovem a troca iônica extraíndo o cálcio e o magnésio da água. |
| Na ⁺ (sódio) K ⁺ (potássio) Mg ⁺² (magnésio) Ca ⁺² (cálcio) HCO ₃ ⁻ (bicarbonato) | | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> Sódio: dissolução de rochas ricas em feldspato, rochas compostas por sais, efluentes urbanos e industriais. Potássio: dissolução de rochas ricas em feldspato e mica, efluentes industriais, minerários e agrícolas. Magnésio: dissolução de rochas ricas em minerais contendo Mg (dolomita, serpentina, piroxênio, anfibólio, olivina, mica). Cálcio: dissolução de rochas ricas em minerais contendo Ca (carbonato, gipso, feldspato, anfibólio). Bicarbonato: no CO₂ atmosférico e no CO₂ proveniente da decomposição da matéria orgânica no solo. | <ul style="list-style-type: none"> Cálcio e magnésio: contribuem para a dureza da água e na produção de incrustações nas tubulações. Sódio: é prejudicial às plantas pois reduz a permeabilidade do solo dificultando a infiltração da água. Também cria problemas de espumas em caldeiras. | <ul style="list-style-type: none"> Cálcio e magnésio: tratamento indicado para dureza (conferir abaixo). Sódio: tratamento indicado para sólidos dissolvidos (conferir abaixo). |

Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

| Parâmetros | Limites máximos permissíveis | Características Gerais | Origem | Inconvenientes/ toxicidade | Formas de tratamento |
|-------------------------------|------------------------------|---|--|--|---|
| SO ₄ ⁻² | 400 mg/L ¹¹ | <ul style="list-style-type: none"> Substância aniônica moderada a altamente solúvel. | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: atmosfera, dissolução de minerais que contêm o íon sulfato (gipso), oxidação de minerais que contêm enxofre na estrutura (sulfetos) presentes na rocha. Origem antropogênica: lançamento de esgotos e despejos industriais. | <ul style="list-style-type: none"> Odor, sabor amargo. Corrosão nas tubulações. Efeito catártico (purgativo). | <ul style="list-style-type: none"> Adição de cal e soda em quantidade precisamente calculada (abrandamento por cal). Tratamento com membrana semi-permeável (ver tratamento para sólidos totais dissolvidos). |
| Fósforo (Fosfato total em P) | | <ul style="list-style-type: none"> O fósforo na água apresenta-se nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: dissolução de compostos do solo, decomposição de matéria orgânica. Origem antropogênica: despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. | <ul style="list-style-type: none"> Não apresenta problemas de ordem sanitária nas águas de abastecimento. | |
| CL ⁻ (Cloro) | 250 mg/L ¹¹ | <ul style="list-style-type: none"> É um dos principais ânions inorgânicos presentes na água e em efluentes. | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: dissolução de sais presentes na rocha, atmosfera e concentração no solo pela evapotranspiração (evaporação da água do solo e transpiração das plantas). Origem antropogênica: resíduo da indústria de álcool (vinhaça), fertilizantes inorgânicos, esgoto industrial. | <ul style="list-style-type: none"> Gosto desagradável Complicações para a saúde em teores acima de 600mg/L. | <ul style="list-style-type: none"> Para valores entre 250 e 600 exige-se coagulação, seguida ou não de decantação, filtração e desinfecção (Tratamento Convencional). Para valores acima de 600 além do tratamento convencional deve-se adotar métodos complementares. Alternativamente pode-se usar dessalinizadores para valores acima de 250mg/L. |
| Alumínio | 0,2 mg/L ¹¹ | <ul style="list-style-type: none"> Condições físico-químicas particulares favorecem ou não a solubilidade deste íon. | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> 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. | |

Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

| Parâmetros | Limites máximos permissíveis | Características Gerais | Origem | Inconvenientes/ toxicidade | Formas de tratamento |
|----------------------------|---|--|--|--|--|
| F ⁻ (Fluoretos) | <ul style="list-style-type: none"> 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). | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> 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. Maiores concentrações ocorrem devido ao lançamento de despejos de indústrias químicas, de vidro, de beneficiamento de minério, dentre outras. | <ul style="list-style-type: none"> 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. Doses excessivas são letais ao homem. | <ul style="list-style-type: none"> Os intervalos de concentração de fluoreto para fins de tratamento devem ser analisados juntamente com o valores de coliformes, pH, cloretos, turbidez e cor. Para valores menores de 1,5mg/L apenas a desinfecção é suficiente. Para valores entre 1,5 e 3,0mg/L é exigida a filtração (filtros lentos de areia), precedida ou não de decantação. Para valores acima de 3,0mg/L recomenda-se tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção). |
| Nitrogênio Orgânico | 0,03mg/L ^{*3} | <ul style="list-style-type: none"> É todo o nitrogênio presente em compostos orgânicos como proteínas, aminoácidos, aminos, amidos, nitroderivados e outros. | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: presente em matéria orgânica não decomposta. Origem antropogênica: lançamentos de esgotos domésticos e lançamentos de origem orgânica. | | <ul style="list-style-type: none"> 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. |
| Nitrogênio amoniacal | 0,05mg/L ^{*3} | <ul style="list-style-type: none"> Resultante da decomposição do nitrogênio orgânico pela ação de bactérias saprófitas (que se nutrem de restos de animais e plantas em decomposição). | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: decomposição de matéria orgânica. Origem antropogênica: indústria química (fibras sintéticas), fertilizantes, combustíveis, efluentes sanitários. | <ul style="list-style-type: none"> Sua presença indica contaminação recente e perigosa, pois favorece a multiplicação de microorganismos. Concentrações acima de 2,5mg/L são tóxicas para algumas espécies de peixes de água doce. | <ul style="list-style-type: none"> 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. |
| Sólidos Totais Dissolvidos | 1000 ppm | <ul style="list-style-type: none"> Corresponde ao peso de todas substâncias dissolvidas na água, sejam estas voláteis ou não. | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> 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. |

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"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> Os sólidos em suspensão se dividem em duas classes: <ul style="list-style-type: none"> Sólidos não Sedimentáveis são as partículas que em repouso podem formar suspensões. São as chamadas suspensões coloidais. Sólidos Sedimentáveis são aqueles que se depositam no fundo de recipiente com a água em repouso, em determinado intervalo de tempo. A origem para os Sólidos Totais é a mesma estabelecida para os Sólidos Totais Dissolvidos. | <ul style="list-style-type: none"> Os mesmos relacionados aos sólidos totais dissolvidos. | <ul style="list-style-type: none"> Sólidos Totais Dissolvidos - tratamento descrito acima. 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. 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. 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. |
| Nitrato | 10 mg/L * 2 | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: dissolução de rochas, oxidação bacteriana de matéria orgânica, principalmente das eliminadas pelos animais e descargas elétricas. Origem antropogênica: fertilizantes, esgotos domésticos e efluentes orgânicos. | <ul style="list-style-type: none"> Acima de 40mg/L provoca cianoses em crianças. | <ul style="list-style-type: none"> Coagulação seguida de filtração. Adição de cal. Tratamento com membranas semi-permeáveis - custo elevado. Processo de troca iônica com o uso de resinas sintéticas. Utilização de materiais adsorventes como carvão ativado. |

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"> Composto instável, produzido a partir da oxidação da amônia pela ação de bactérias. | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: oxidação da amônia - indicativo de contaminação recente por redução bacteriana de nitratos. Origem antropogênica: contaminação por gasolina, uso de fertilizantes, lançamento de esgotos domésticos e efluentes orgânicos em processo de decomposição. | <ul style="list-style-type: none"> Impotabiliza a água, pois sua presença indica poluição com possibilidade de existência de microorganismos patogênicos. Em meio ácido forma composto cancerígeno. | <ul style="list-style-type: none"> 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). |
| Fe Total (Ferro Total) | 0,3mg/L * ¹ | <ul style="list-style-type: none"> Pode ser encontrado nas formas di e trivalentes como solução, colóides, suspensão ou em complexos orgânicos e minerais. | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: dissolução de minerais (silicatos, siderita, hidróxidos e sulfetos), corrosão de metais (p.ex. tubos de revestimento de poço tubular). Origem antropogênica: lançamento de efluentes industriais, dreagem de minas ácidas. | <ul style="list-style-type: none"> Possibilita o desenvolvimento de ferro-bactérias. Sabor desagradável. Propriedade de manchar a roupa lavada. Acúmulo de depósitos nas tubulações. Imprópria para uso industrial. | <ul style="list-style-type: none"> 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. Adição de cloro. Emprego de substâncias (resinas sintéticas) que promovam a extração do ferro através de troca catiônica. |
| Mn Total (Manganês Total) | 0,1mg/L * ¹ | <ul style="list-style-type: none"> Está presente em praticamente todos os solos, principalmente na forma de dióxido de manganês, solúvel sob condições anaeróbicas (sem oxigênio). | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: dissolução de minerais contendo manganês. Origem antropogênica: mineração de manganês, lançamento de efluentes industriais. | <ul style="list-style-type: none"> Formação de incrustações nas tubulações. Propicia o desenvolvimento de certas bactérias que formam depósitos insolúveis de sais de manganês. Sabor desagradável. Quando em quantidade excessiva pode afetar o sistema nervoso central. Tóxico para plantas em níveis altos. | <ul style="list-style-type: none"> 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. |
| SiO ₂ (Sílica) | | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> Dissolução de silicatos (minerais comuns nas rochas). | <ul style="list-style-type: none"> 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. | |

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"> Bactérias não patogênicas (não causam doenças) que fazem parte da flora aquática. Têm a capacidade de aproveitar compostos de ferro em seu metabolismo. | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> 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. 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. | <ul style="list-style-type: none"> Alcalinização do poço com cal ou barrilha. Utilização de produtos comerciais como Wellclean. Utilização de polifosfatos juntamente com cloração. É aconselhável o monitoramento periódico dos poços tubulares para verificar a tendência de deterioração das condições ou para controle do processo de tratamento. |
| Coliformes totais e fecais | Até 10NMP*1 | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> Tanques (fossas) sépticos, linhas de esgoto, aterros sanitários. Lagoas de oxidação. Aplicação de águas residuárias (esgoto doméstico) na terra. | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> Para valores de colif. Totais até 50 e Fecais <2 a simples desinfecção é suficiente (cloro ou ozona). Para valores de colif. Totais até 5000 e Fecais até 1000 é necessária a filtração seguida de desinfecção. Para valores de colif. Totais de 10.000 e fecais até 2.000 é exigido tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção). Para valores de colif. Totais até 20.000 e fecais até 5.000 deve ser realizado tratamento especial. Para valores de colif. Totais acima de 20.000 e fecais acima de 5.000 o tratamento exige processos complexos e dispendiosos. |
| Estreptococos fecais | | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> Ocorrem em águas contaminadas com dejetos de origem fecal. | <ul style="list-style-type: none"> São apenas indicadores da ocorrência de fezes de animais nas águas, não representando problemas por si só. | <ul style="list-style-type: none"> As formas de tratamento empregadas para remoção de coliformes totais e fecais são eficazes também para estreptococos fecais. |
| Sulfetos | | <ul style="list-style-type: none"> Relaciona-se ao íon SO_4^{-2}. | <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Origem antrópica: despejos domésticos e industriais. | <ul style="list-style-type: none"> 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. | |

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"> ▪ Aldrin e Dieldrin - 0.03^{*1} µg/L ▪ Clordano - 0.3^{*1} µg/L ▪ Heptacloroepóxido - 0.1^{*1} µg/L ▪ Heptacloro - 0.01^{*3} µg/L ▪ Eldrin - 0.2^{*1} µg/L ▪ DDT - 1.0^{*1} µg/L ▪ PCB's - 0.001^{*3} µg/L ▪ Toxafeno - 0.01^{*3} µg/L ▪ Endosulfan - 0.004^{*3} µg/L ▪ 2,4D - 100^{*1} µg/L ▪ 2,4,5 - TP - 10^{*3} µg/L ▪ 2,4,5-T - 2.0^{*3} µg/L ▪ Tetracloroeto de Carbono - 3.0^{*1} mg/L ▪ Tetracloroetano - 10^{*1} mg/L ▪ Hexaclorobenzeno - 0.1^{*1} mg/L ▪ Tricloroetano - 30^{*1} mg/L ▪ Trihalometano - 100^{*1} mg/L ▪ 1,1 Dicloroetano - 0.3^{*1} mg/L ▪ 1,2 Dicloroetano - 10^{*1} mg/L | <ul style="list-style-type: none"> ▪ São compostos orgânicos e inorgânicos, utilizados no controle e destruição de plantas e animais nocivos à sociedade ▪ Os defensivos agrícolas, os pesticidas dividem-se em: inseticidas, fungicidas, bactericidas, herbicidas, nematicidas, rodenticidas. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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. ▪ Os herbicidas utilizam dioxina na sua fabricação, causador de câncer. ▪ Os inseticidas fosforados e carbonatos atuam sobre o sistema nervoso, matando por asfixia. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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. ▪ 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. |
| Óleos e Graxas | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Benzeno - 10^{*1} mg/L ▪ Tolueno ▪ Etilbenzeno ▪ Para-xileno ▪ Meta-xileno ▪ Orto-xileno | <ul style="list-style-type: none"> ▪ São substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal, tais como ácidos graxos, ceras, óleos, gorduras, sabões e graxas. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Origem natural: ocorrem raramente devido à decomposição de matéria orgânica. ▪ Origem antrópica: despejos domésticos e industriais. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Processos de tratamento e remediação semelhantes aos requeridos para os organoclorados. |

*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⁻-cloreto, F⁻-fluoreto).

Cátions - Átomos ou grupo de átomos com carga positiva (p.ex: Na⁺ -sódio, Ca⁺² -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⁺²) que permite a efetuação de duas ligações químicas com outros átomos para formar moléculas.

Forma Trivalente - Forma do átomo (p.ex: Fe⁺³) 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 lenço 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^+ , Fe^{+2} , SO_4^{-2}).

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

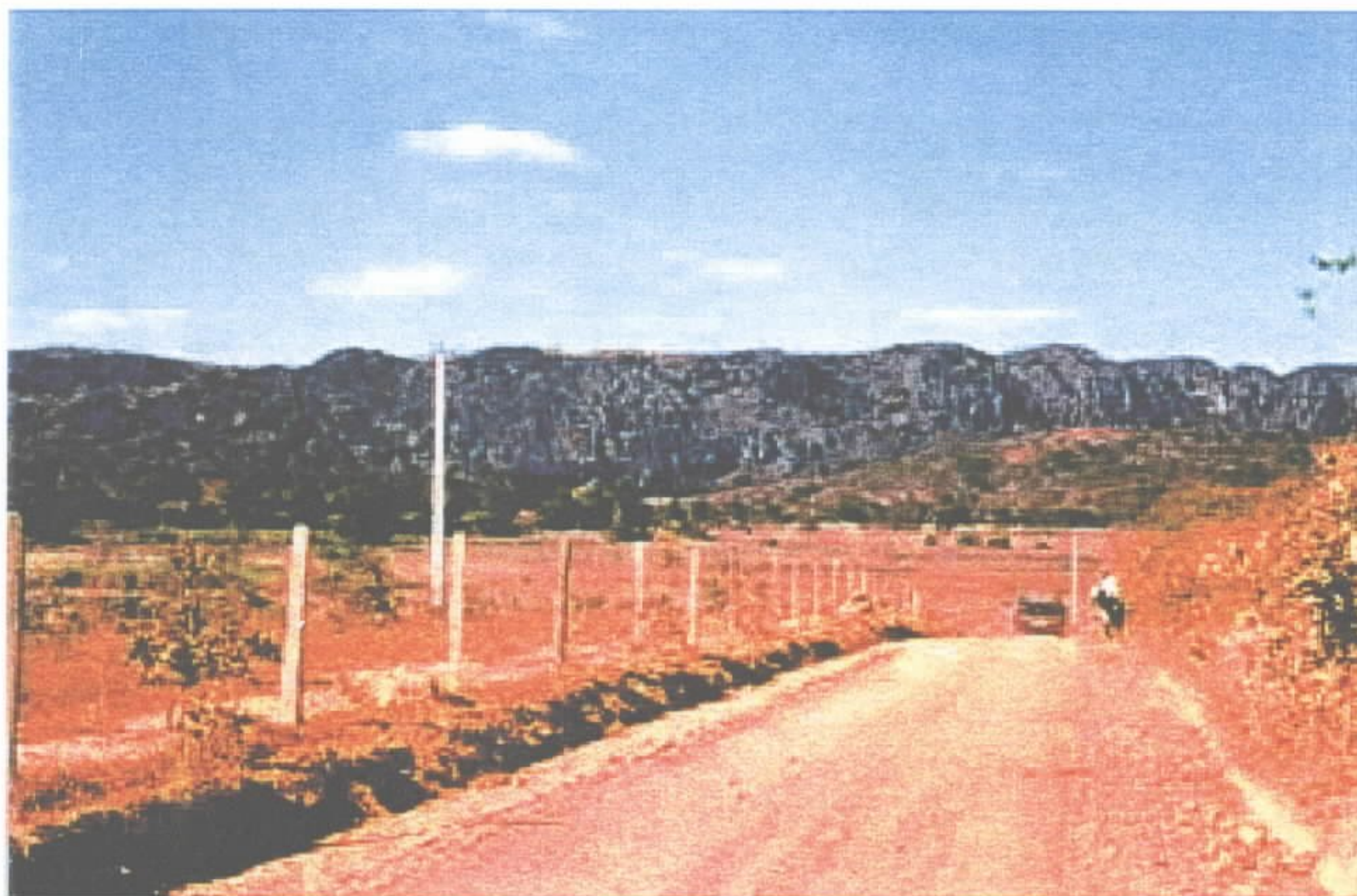


Foto 1 - Cristas de calcário, próximas à localidade de Peri-Peri. Município de Unaí. UTM: 296221E/8191098N.



Foto 2 - Fraturamento em rocha carbonática. Fazenda de Baixo. Município de Bonfinópolis de Minas.



Foto 3 - Fraturamento em rocha metapelítica do Grupo Paranoá. Estrada de Unai para Garapuava. UTM: 306249/8201461N.



Foto 4 - Superfície tabular, com altitudes entre 900-1000m, recoberta por solos argilo-arenosos. Área de cultura. Município de Uruana de Minas. UTM: 351052E/8213469N.



Foto 5 - Poço tubular com sérios problemas construtivos e operacionais. Poço não protegido, sem tampa e laje de proteção. Sistema de adução bastante precário. Município de Dom Bosco. UTM: 367028E/8148475N.



Foto 6 - Poço tubular com risco potencial de contaminação elevado. Em virtude da não cimentação do espaço anelar e a não construção da laje de proteção sanitária ocorreu o solapamento da parede lateral ao revestimento. Esta situação facilita a infiltração de água superficial e contaminantes. Município de Unaí. UTM: 305535E/8147428N.

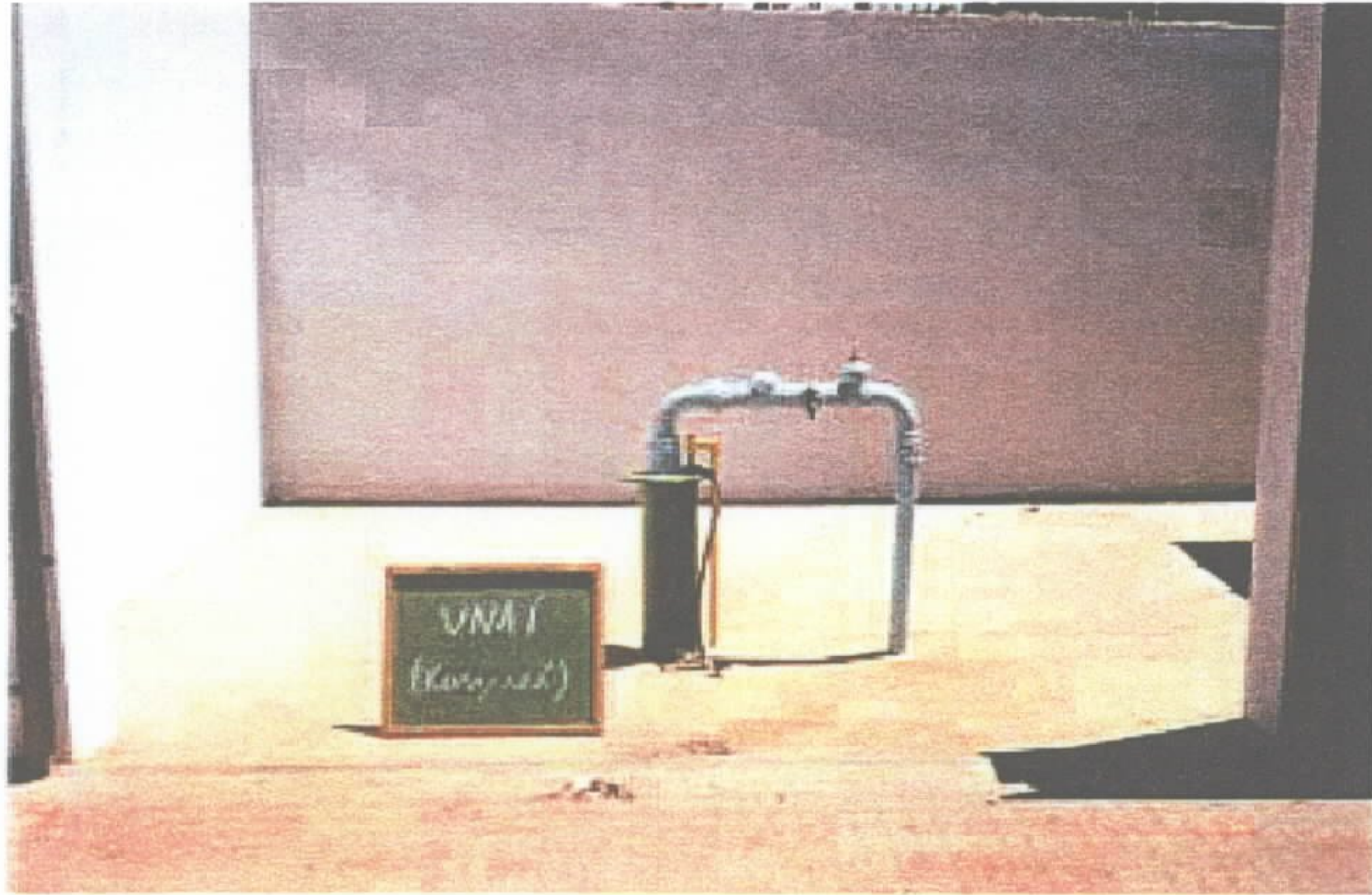


Foto 7 - Aspecto de poço tubular em bom estado de manutenção. Poço protegido, com tampa, ambiente ao redor limpo. Município de Unaí. UTM 297143E/8186853N.



Foto 8 - Poço tubular situado em região de disposição de lixo. Risco potencial de contaminação elevado. Município de Unaí. UTM: 296713E/8191960N.



Foto 9 - Utilização de pivôs-centrais em áreas de cultura. Região oeste do município de Unaí.



Foto 10 - Barramento de nascentes em veredas localizadas em região de chapadas. Município de Uruana de Minas.