

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

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



PROJETO SÃO FRANCISCO

PROVÍNCIA MINERAL BAMBUÍ
Minas Gerais

CARACTERIZAÇÃO
HIDROGEOLÓGICA DA
MICRORREGIÃO DE
MONTES CLAROS



Organizado por:

Angélica Garcia Soares
Eduardo Jorge Machado Simões
Ely Soares de Oliveira
Haroldo Santos Viana

Belo Horizonte
2002

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Francisco Luiz Sibut Gomide

Ministro de Estado

SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA

Frederico Lopes Meira Barboza

Secretário

CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

Umberto Raimundo Costa

Diretor-Presidente

Luiz Augusto Bizzi

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Thales Queiróz Sampaio

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Paulo Antônio Carneiro Dias

**Diretor de Relações Institucionais e
Desenvolvimento**

Alfredo de Almeida Pinheiro Filho

Diretor de Administração e Finanças

Carlos Schobbenhaus Filho

Chefe do Departamento de Geologia

Inácio de Medeiros Delgado

Chefe da Divisão de Geologia Básica

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE
BELO HORIZONTE**

Oswaldo Castanheira

Superintendente

Claiton Piva Pinto

Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Nelson Baptista de Oliveira Resende Costa

**Gerente de Relações Institucionais e
Desenvolvimento**

Maria Leticia Rabelo Alves Patrus

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Margareth Marques dos Santos

Gerente de Administração e Finanças

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Itamar Augusto Cautiero Franco

Governador

SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

Luís Márcio Vianna

Secretário de Estado

Juvenil Tibúrcio Félix

Secretário Adjunto

Luiz Antônio Fontes Castro

Superintendente de Recursos Minerais

**COMPANHIA MINERADORA DE
MINAS GERAIS - COMIG**

Henrique Eduardo Ferreira Hargreaves

Diretor-Presidente

Marcelo Arruda Nassif

Diretor de Desenvolvimento Mineral

Marco Aurélio Martins da Costa Vasconcelos

Diretor de Administração e Finanças

Jólcio Carvalho Pereira

**Diretor de Desenvolvimento e Controle
de Negócios**

Wagner Geraldo da Silva

Coordenador de Desenvolvimento Mineral



PROJETO BACIA DO SÃO FRANCISCO

**Caracterização Hidrogeológica da
Microrregião de Montes Claros**

EQUIPE TÉCNICA

COORDENAÇÃO GERAL

Claiton Piva Pinto - Geólogo, Msc.

COMITÊ GESTOR

Claiton Piva Pinto
Representante Técnico - CPRM

Luiz Antônio Fontes Castro
Representante Técnico - SEME

Marcelo Arruda Nassif
Representante Técnico - COMIG

EXECUÇÃO

Angélica Garcia Soares
Eduardo Jorge Machado Simões
Ely Soares de Oliveira
Haroldo Santos Viana

COORDENAÇÃO

Haroldo Santos Viana

SUPERVISÃO TÉCNICA

Maria Antonieta Alcântara Mourão

EQUIPE DE CAMPO

Angélica Garcia Soares
Eduardo Jorge Machado Simões
Ely Soares de Oliveira
Haroldo Santos Viana
Reynaldo Murilo D. A. de Brito

COLABORADORES

Antônio dos Santos Neto
Antônio Luiz do Nascimento
Dely Moreira Soares
Eduardo Araújo Monteiro
Elizabeth de Almeida Cadête Costa
Gesler Ferreira
João Batista Gonçalves
José da Paz Nascimento
José Rodrigues da Silva
Júlio de Freitas Fernandes Vasques
Laurindo Conceição de Andrade
Lino Roberto Lustosa
Lúcia Maria Silva
Luiz Fernando Zacarias
Maria Madalena Costa Ferreira
Maurício Alves Ferreira Santos
Michael Gustav Peter Drews
Neuro Rodrigues
Oswaldo Pereira dos Santos
Roylane Barbosa
Sebastião Domingos de Queiroz
Titto da Mota
Valdiva de Oliveira



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

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

PROJETO BACIA DO SÃO FRANCISCO

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA MICRORREGIÃO DE MONTES CLAROS

PROVÍNCIA MINERAL BAMBUÍ Minas Gerais

Organizado por:

Angélica Garcia Soares
Eduardo Jorge Machado Simões
Ely Soares de Oliveira
Haroldo Santos Viana

Belo Horizonte
2002

CRÉDITOS DE AUTORIA

Apresentação

*Angélica Garcia Soares
Eduardo Jorge Machado Simões
Ely Soares de Oliveira
Haroldo Santos Viana*

Itens 1, 2, 3, 4, 5, 6

*Angélica Garcia Soares
Eduardo Jorge Machado Simões
Ely Soares de Oliveira
Haroldo Santos Viana*

Item 7

Ely Soares de Oliveira

Item 8

Eduardo Jorge Machado Simões

Item 9

*Angélica Garcia Soares
Ely Soares de Oliveira*

Itens 10, 11, 12, 13

*Angélica Garcia Soares
Eduardo Jorge Machado Simões
Ely Soares de Oliveira
Haroldo Santos Viana*

CPRM - Superintendência Regional de Belo Horizonte
Av. Brasil, 1731 - B. Funcionários
Belo Horizonte - MG - 30140-002
Fax: (31) 3261.55.85
Tel.: (31) 3261.03.85
<http://www.cprm.gov.br>
cprmbh@cprmbh.gov.br

Ficha Catalográfica

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Projeto São Francisco: Caracterização hidrogeológica da microrregião de Montes Claros. Angélica G. Soares, Eduardo J. M. Simões, Ely S. de Oliveira, Haroldo S. Viana. - Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM, 2002.

97p. 23 mapas, fotos e anexos, (Série Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB).

Conteúdo: Inclui 01 mapa de Sistemas Aquíferos da microrregião de Montes Claros, escala 1:300.000 e 22 mapas municipais de Sistemas Aquíferos e Poços Tubulares Profundos, escala: 1:100.000 .

1 - Hidrogeologia 2 - Água subterrânea I - Título II - Soares, A.G. III - Simões E.J.M. IV - Oliveira, E. S. de V - Viana, H.S.

Direitos desta edição: CPRM - Serviço Geológico do Brasil

É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

CDU 556.3

APRESENTAÇÃO

O Projeto São Francisco é resultado do convênio firmado entre a CPRM Serviço Geológico do Brasil, a Secretaria de Estado de Minas e Energia SEME e Companhia Mineradora de Minas Gerais-COMIG, para execução de 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 Montes Claros, com base no cadastramento de 4.257 poços tubulares profundos, dos quais 4.159 foram visitados em campo e o restante (98) obtidos de fontes bibliográficas. A maioria dos poços tubulares pertence ao setor privado, respondendo com um total de 3.085 poços e o setor público com 1.172. São apresentadas ainda as características da água subterrânea quanto aos aspectos físico-químicos, 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 proximidades de 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: planilhas resumidas contendo as principais características locais, construtivas, hidráulicas, físico-químicas e organolépticas (Anexos 1 e 2), tabela com a descrição destes parâmetros quanto aos limites permitidos de potabilidade, origem, inconveniente/toxicidade e formas de tratamento da água (Anexo 3), mapa de sistemas aquíferos com a localização dos poços cadastrados na microrregião e 22 mapas municipais (Anexo 4) e planilha eletrônica abrangendo todos os dados obtidos referentes aos pontos d'água cadastrados (Anexo 5).

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da microrregião de Montes Claros.....	5
Figura 2 - Mapa geológico da Microrregião de Montes Claros.....	16
Figura 3 - Mapa de sistemas aquíferos da microrregião de Montes Claros	20
Figura 4 - Mapa de distribuição de capacidades específicas.....	24
Figura 5 - Diagrama de Piper para as águas do aquífero cárstico	28
Figura 6 - Diagrama de Piper para as águas do aquífero fissurado-cárstico.....	29
Figura 7 - Diagramas de Stiff representativos para os sistemas aquíferos: a, b, c) cárstico, d) fissurado, e, f, g, h) fissurado-cárstico	30
Figura 8 - Mapa de distribuição de condutividade elétrica.....	33
Figura 9 - Risco potencial de contaminação dos aquíferos por meio dos poços tubulares da microrregião	38
Figura 10 - Risco potencial de contaminação dos aquíferos por meio de poços tubulares públicos e privados	38
Figura 11 - Data das perfurações dos poços tubulares	41
Figura 12 - Modalidades de usos da água subterrânea nos setores público e privado	42
Figura 13 - Percentual dos parâmetros que estão acima dos padrões de qualidade para consumo humano.....	43
Figura 14 - Diagrama de Wilcox para os aquíferos A) cárstico e B) fissurado-cárstico.....	44
Figura 15 - Diagrama da situação atual dos poços: A) Setor Público e B) Setor Privado.....	48
Figura 16 - Relação de poços perfurados por empresas públicas e privadas	48
Figura 17 - Número de poços perfurados pelas diversas empresas	49
Figura 18 - Número de poços perfurados pelas empresas privadas.....	49
Figura 19 - Métodos de perfuração empregados	50
Figura 20 - Relação do número de poços x intervalos de profundidade	50
Figura 21 - Relação entre profundidade e médias da vazão e vazão específica dos poços tubulares.....	51
Figura 22 - Tipos de captação para o abastecimento das sedes municipais.....	52

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Concentrações iônicas médias, máximas e mínimas, expressas por tipo aquífero.....	29
Tabela 2 - Razão iônica Mg^{+2}/Ca^{+2} em meq/L	31
Tabela 3 - Parâmetros medidos “in loco”	32
Tabela 4 - Valores mínimos, médios e máximos de STD, Dureza Total, Alcalinidade e Resíduo Seco, por tipo aquífero.....	34
Tabela 5 - Índice de Estabilidade de Ryznar para amostras de águas dos sistemas cárstico e fissurado-cárstico.....	45
Tabela 6 - Estimativa de consumo de água para uso humano e dessedentação animal para cada município.....	53
Tabela 7 - Estimativa de consumo de água para irrigação de culturas agrícolas por município	54
Tabela 8 - Estimativa da disponibilidade atual e da expansão do volume de água explotado no município.....	55

Lista de Fotografias

Foto 1 - Rebordos erosivos nos sedimentos Urucuia, delimitando as superfícies tabulares do Planalto do São Francisco. Município de Ponto Chique.....	69
Foto 2 - Superfície de aplainamento em coberturas cretácicas (Formação Urucuia), correspondente ao compartimento geomorfológico do Planalto do São Francisco. Município de Brasília de Minas	69
Foto 3 - Morro testemunho em rocha calcária da Formação Lagoa do Jacaré. Nota-se acamamento subhorizontal. Município de Montes Claros.....	71
Foto 4 - Rocha metapelítica associada ao Subgrupo Paraopeba. Nota-se a gradação da rocha sã, para semi-alterada e alterada ("Toá"). Município de Ponto Chique.....	71
Foto 5 - Detalhe da rocha metapelítica sã da foto anterior. Nota-se acamamento subhorizontal. Município de Ponto Chique.....	73
Foto 6 - Fraturamento em rocha metapelítica do Subgrupo Paraopeba. Porção leste do município de Ponto Chique	73
Foto 7 - Sedimentos argilo-arenosos da Formação Urucuia, com níveis silicificados mais resistentes a erosão. Município de Ponto Chique	75
Foto 8 - Feição cárstica caracterizada como dolina. Fazenda Curral Novo em Montes Claros	77
Foto 9 - Poço apresentando risco potencial muito alto de contaminação, evidenciado pela ausência de tampa, não preenchimento do espaço anelar e não confecção do laje de proteção sanitária. Nota-se abatimento da parede do poço e carreamento de resíduo orgânico e inclusive ossada de animal para dentro do furo da perfuração. Município de Verdelândia	79
Foto 10 - Poço tubular em péssimo estado de conservação, e evidenciando alto risco potencial de contaminação, com revestimento enferrujado e furado, sem laje de proteção e solapamento junto ao revestimento. Município de Francisco Sá	79
Foto 11 - Poço com vazamento na adução e ausência de laje de proteção sanitária, exibindo risco potencial médio de contaminação. Nota-se lama e estrume de gado próximo ao poço. Município de Lontra.....	81
Foto 12 - Poço bem concluído, apresentando proteção sanitária maior que 1m ² , reservatório e abrigo do painel elétrico em bom estado de conservação. Apresenta risco baixo de contaminação. Município de Montes Claros	81
Foto 13 - Poço tubular abandonado, sem tampa, sem laje de proteção, configurando risco de contaminação. Município de Montes Claros.....	83
Foto 14 - Poço abandonado, na porção inferior da foto, mostrando ausência de tampa e laje de proteção sanitária, o que configura alto risco potencial de contaminação. Poço ativo, na porção superior da foto, sem laje de proteção sanitária	85
Foto 15 - Poço abandonado, encontrando-se entupido. Utilização de tampa não apropriada. Município de Montes Claros	87
Foto 16 - Poço apresentando risco potencial muito alto de contaminação, decorrente de orifício no revestimento próximo à superfície do terreno e da ausência de laje de proteção sanitária. Nota-se o acúmulo de lixo doméstico em torno da saliência do poço e vazamento de água na adução. Município de Brasília de Minas.....	87
Foto 17 - Poço tubular em péssimo estado de conservação, sem laje de proteção, revestimento, furado, vazamento de água ao redor. Alto risco potencial de contaminação. Município de Francisco Sá	89

Foto 18 - Poço tubular em péssimo estado de conservação, sem laje de proteção e com vazamento de água. Nota-se acumulação de água residuária doméstica ao redor do poço. Alto risco potencial de contaminação. Município de Francisco Sá	91
Foto 19 - Poço tubular sem laje de proteção e com risco de contaminação da água pelo vazamento de óleo do compressor. A água é bombeada e armazenada diretamente em escavação no solo, para dessedentação animal. Alto risco potencial de contaminação. Município de Francisco Sá	91
Foto 20 - Poço tubular sem laje de proteção sanitária, em área de irrigação de banana. Verifica-se o uso constante de fertilizante, o qual é armazenado próximo. Risco elevado de contaminação. Município de Francisco Sá.....	93
Foto 21 - Poço tubular com revestimento abaixo da superfície do terreno localizado em área de oficina mecânica e lavagem de automóveis. Encontra-se coberto com areia e sem laje de proteção. Alto risco de contaminação. Área urbana de Montes Claros.....	93
Foto 22 - Detalhe da foto anterior	95
Foto 23 - Poço tubular com risco potencial de contaminação elevado, sem cimentação do espaço anelar e ausência de laje de proteção, facilitando o solapamento ao redor do revestimento. Município de Francisco Sá.....	97

Sumário

APRESENTAÇÃO	vi
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Lista de Fotografias	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	5
4. MÉTODOS EMPREGADOS.....	7
5. ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS	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.....	15
8. DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS	19
8.1. Sistema Granular	19
8.1.1. Aquíferos Aluviais.....	19
8.1.2. Aquíferos de Depósitos de Pedimento.....	21
8.1.3. Aquíferos Cretácicos	21
8.2. Sistema Fissurado - Cárstico	22
8.3. Sistema Cárstico	23
8.4. Sistema Fissurado.....	25
9. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	27
10. CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	37
11. O USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	41
11.1. Uso para o Consumo Humano.....	42
11.2. Uso Agrícola e da Pecuária	43
11.3. Uso na Indústria	45
12. DIAGNÓSTICO ATUAL DA EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	47
12.1. Avaliação da Demanda Atual e da Disponibilidade de Água Subterrânea.....	51
13. CONCLUSÕES	57
14. RECOMENDAÇÕES	59
15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA	67
ANEXOS	
Anexo 1 - Características Locacionais, Construtivas, Hidráulicas e Físico-Químicas "in loco"	
Anexo 2 - Características Organolépticas, Físico-Químicas, Químicas e Bacteriológicas	
Anexo 3 - Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água	
Anexo 4 - Mapa de Sistemas Aquíferos da microrregião de Montes Claros e 22 mapas municipais de sistemas aquíferos e poços tubulares profundos	
Anexo 5 - Tabela de Dados de Poços Tubulares Profundos da Microrregião de Montes Claros	

1. Introdução

A água subterrânea, um dos mais importantes recursos naturais, corresponde a 97% de toda água doce disponível no planeta, 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. Normalmente é captada através de poços ou em locais onde aflora na superfície topográfica.

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), destaca 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 hídrico subterrâneo no abastecimento da microrregião de Montes

Claros é bastante expressivo, participando no atendimento de praticamente todas as sedes municipais, com exceção de Francisco Sá, Juramento e Lontra, e correspondendo à principal fonte de água na zona rural. É notável o crescimento do uso da água subterrânea nos últimos anos, no entanto, a manutenção da sustentabilidade desta expansão é prejudicada pela 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 dos recursos hídricos subterrâneos.

2. Objetivos

Os objetivos deste trabalho correspondem, em linhas gerais: ao levantamento completo da situação atual dos poços tubulares profundos; à caracterização dos sistemas aquíferos; à avaliação físico-química da água; à determina-

ção da vocação de uso em termos qualitativos; à verificação quanto ao risco potencial de contaminação e à estimativa da disponibilidade e possibilidade de expansão do uso da água.

3. Localização e Vias de Acesso

A microrregião de Montes Claros, com área de 21.580km², localiza-se no norte do estado de Minas Gerais (figura 1). O acesso para Montes Claros, principal cidade, a partir de Belo Horizonte, pode ser feito pela

BR-040, percorrendo-se 106km até o entroncamento com a BR-135 e através desta com percurso de 302km até a sede do município, ou através de linhas aéreas com vôos diários.

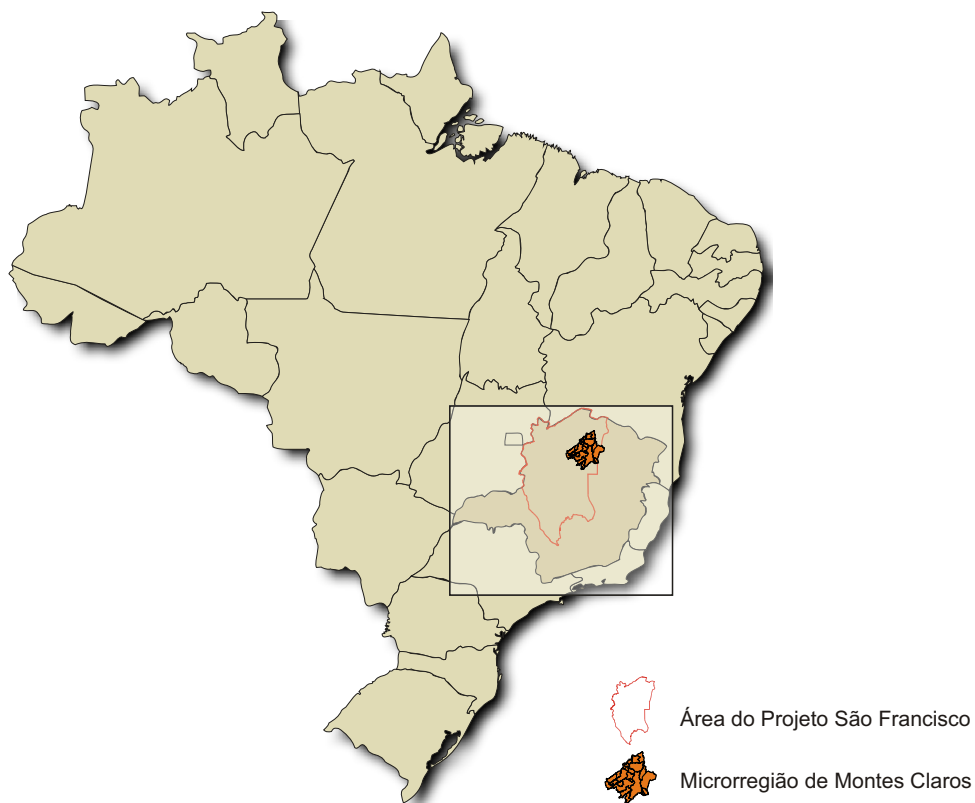


Figura 1 - Localização da microrregião de Montes Claros.

4. Métodos Empregados

Em vista da grande extensão territorial da bacia do São Francisco, os levantamentos foram setorizados nas microrregiões administrativas da bacia. A microrregião de Montes Claros abrange os municípios de Brasília de Minas, Campo Azul, Capitão Enéas, Claro dos Poções, Coração de Jesus, Francisco Sá, Glaucilândia, Ibiracatu, Japonvar, Juramento, Lontra, Luislândia, Mirabela, Montes Claros, Patis, Ponto Chique, São João da Lagoa, São João da Ponte, São João do Pacuí, Ubaí, Varzelândia e a porção oeste de Verdelândia a partir da margem esquerda do rio Verde Grande.

Na fase inicial levantaram-se todas as informações disponíveis, que 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 utilizando GPS; profundidade; nível estático; condutividade elétrica, pH e temperatura da água; número de famílias atendidas; uso da água; capacidade de reservação; tipo de revestimento; condições da captação e existência de fontes potenciais de contaminação. Também foram feitas algumas descrições de afloramentos, procurando caracterizar os tipos litológicos predominantes e as superfícies de descontinuidades, tais como fraturas, falhas, clivagens espaçadas e acamamento.

Os dados hidráulicos, construtivos e físico-químicos dos poços tubulares, quando não obtidos na etapa de coleta de dados, foram

solicitados às empresas de perfuração, prefeituras ou aos proprietários, quando localizados.

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 a avaliação da qualidade da água para o consumo humano e uso agrícola, industrial e pecuária.

A organização final dos dados, bem como a definição e caracterização dos sistemas aquíferos, baseou-se nas informações contidas em boletins de perfuração que foram consistidas e complementadas por dados coletados no cadastramento (aspectos construtivos, operacionais, físico-químicos e resultantes de levantamento geológico-estrutural), nos resultados de análises químicas disponíveis, no mapa Geológico do Brasil na escala 1:1.000.000 (CPRM, 2002) e outras fontes bibliográficas, referidas no decorrer do texto. Mesmo na ausência dos boletins de sondagens, procurou-se definir as unidades aquíferas e geológicas a partir dos dados disponíveis.

Por fim, foi estabelecido o diagnóstico da exploração atual de água subterrânea com a estimativa da demanda atual e da possibilidade de expansão do volume de exploração por meio da reativação de poços e instalação de equipamentos em poços tamponados.

Este relatório está acompanhado do mapa de sistemas aquíferos da microrregião e de 22 mapas municipais de pontos d'água, discriminados por atributos quanto à propriedade do poço (público ou privado) e estado atual (produtivo, desativado, não instalado, abandonado ou seco).

É importante ressaltar que a obtenção de dados completos dos poços tubulares cadastrados representou uma das grandes dificuldades enfrentadas durante o trabalho, o que de certa forma acarretou lacunas no banco de dados, interferindo diretamente na caracterização dos aspectos hidráulicos, construtivos, químicos e na definição de sistemas aquíferos. Dentre os 4.257 poços cadastrados, apenas 338 possuem perfil litológico, 222 apresentam dados de teste de bombeamento, 183 dispõem de intervalos de entrada d'água e 1.438 de dados construtivos (profundidade, diâmetro, tipo e comprimento do revestimento). No anexo 1 encontra-se uma planilha contendo, as principais características locais, construtivas, hidráulicas e medidas de pH, condutividade elétrica e temperatura da água dos poços tubulares cadastrados.

Nota-se que para parte expressiva dos poços tubulares faltam informações sendo que os fatores que contribuíram para esta situação de relativa escassez de dados foram os seguintes:

- Não localização do proprietário ou desconhecimento do informante local quanto aos principais aspectos do poço e até mesmo do ano e da empresa de perfuração. Vários proprietários rurais residem nas sedes municipais, ou em cidades além dos limites da microrregião.
- 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 perda dos dados;
- Proprietários e/ou prefeituras não mantêm os boletins de perfuração por desconhecerem 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 da maioria dos poços produtivos e a utilização, em parte, 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 Socioeconômicos

A microrregião de Montes Claros, situada no norte de Minas Gerais, tem o município de Montes Claros como um importante pólo de desenvolvimento da região. É a partir dele que se desenvolvem as principais ligações com centros maiores como Belo Horizonte e Brasília, devido à sua localização geográfica e ao seu sistema viário.

O censo demográfico do IBGE (2000) indica para a microrregião uma população de 539.049 habitantes, sendo 407.263 residentes na zona urbana e 131.786 na zona rural. A cidade de Montes Claros cresce de forma acelerada e recebe fluxo de migração de populações de cidades vizinhas ou de outros estados, fazendo com que detenha 67% da população da microrregião.

No que se refere à economia, o setor industrial alcançou um impulso maior a partir de 1965, com a chegada da energia elétrica da CEMIG, e com o início da participação efetiva da SUDENE no desenvolvimento industrial da região. Atualmente, a principal atividade econômica de Montes Claros é representada por esse setor. As indústrias instaladas se consolidaram, destacando-se uma das maiores fábricas de leite condensado do país, uma das três fábricas de insulina da América Latina, uma das mais modernas fábricas têxteis e a quinta maior fábrica de cimento do Brasil (FERREIRA, 2002).

Montes Claros, como pólo de desenvolvimento regional, possui um centro comercial que mantém domínio sobre o Norte de Minas, oferecendo praticamente todos os produtos nos diversos ramos de atividades.

Ainda, do ponto de vista econômico, há de se considerar a importância da atividade pecuária de corte e leite na microrregião, seguidos do

cultivo de feijão, milho e mandioca, dentre outros. O setor agropecuário é o principal gerador de emprego e renda nos outros municípios que compõem a microrregião, com os demais setores (indústria e comércio) ocupando posição subordinada.

A microrregião é dotada de uma rede de ensino básico, garantida pela atuação das redes federal, estadual, municipais e particulares, contando com 538 estabelecimentos de ensino fundamental e 60 de ensino médio. Ensino profissionalizante, ensino livre, cursos preparatórios para o vestibular, uma universidade estadual e faculdades particulares, localizados em Montes Claros, contribuem para o desenvolvimento econômico, social e cultural da região, dando opção de continuidade da educação básica (IBGE, 2000).

Em termos de atendimento hospitalar, a situação da microrregião é precária. Os setores público e privado contam com 16 hospitais com 1.370 leitos, 126 centros e postos de saúde, a maioria destes, concentrados em Montes Claros. A população dos demais municípios, em casos mais graves, tem que se deslocar para Montes Claros ou mesmo para outras cidades mais estruturadas (IBGE, *op. cit.*).

O fornecimento de energia elétrica da região é feito pela CEMIG e o abastecimento de água realizado pela COPASA. No plano das comunicações, a rede de telefonia existente opera através de terminais instalados e postos de serviços oferecidos pela TELEMAR e EMBRATEL. No ano de 2000, a microrregião contava com serviços de radiodifusão (8 emissoras) e nove jornais. A Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos possui agências em toda a área atendendo tanto a zona urbana quanto a rural, através de postos de coleta (INDI, 2002).

6. Aspectos Fisiográficos

A descrição dos aspectos fisiográficos foi feita, em grande parte, com base nas informações contidas no Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais (CETEC, 1983). Fontes complementares são mencionadas no decorrer do texto.

6.1. Relevo

Na microrregião de Montes Claros destacam-se três grandes unidades geomorfológicas: Planalto do São Francisco, Depressão Sanfranciscana e Planalto do rio Jequitinhonha - rio Pardo. Essas unidades exibem diversas formas de relevo desde à dissecação e/ou acumulação fluvial e aplainamento, até feições cársticas, sendo que, em alguns locais uma forma coexiste com outra.

O Planalto do São Francisco é formado por superfícies tabulares de constituição predominantemente arenosa, delimitadas geralmente por rebordos erosivos bem marcados (foto 1). Podem-se distinguir dois níveis de relevos tabulares, um com altitudes que variam de 600 a 800 metros e outro de 800 a 1.000 metros. Essa unidade geomorfológica é predominante na área estudada, ocorrendo comumente na forma de relevo aplainado (foto 2), estando presentes formas mistas de aplainamento e de dissecação ou acumulação fluvial.

A Depressão Sanfranciscana é menos expressiva em relação à unidade anterior, desenvolvendo-se ao longo do rio São Francisco e de seus tributários, dos quais se destaca o rio Verde Grande. Predominam formas rebaixadas e aplainadas de relevo, ocorrendo, localmente, as formas cársticas (carste típico e não típico) e as formas de dissecação ou

acumulação fluvial. Essas áreas rebaixadas exibem altitudes em torno de 500 metros.

O Planalto do rio Jequitinhonha – rio Pardo abrange uma pequena área na Microrregião de Montes Claros, a leste do município de Francisco Sá. Compõe-se de áreas aplainadas limitadas por rebordos erosivos bem marcados e com altitudes em torno de 900 metros, mas podendo atingir cotas entre 1.000 e 1.200 metros.

6.2. Solos

A microrregião de Montes Claros apresenta vários tipos de solos, distribuídos nas seguintes classes: solos com horizonte “B” latossólico, com horizonte “B” textural, com horizonte “B” incipiente e solos pouco desenvolvidos.

Na microrregião, ocorrem os latossolos vermelho-amarelos e vermelho-escuro, estando os primeiros bem distribuídos na área estudada. São separados em álicos, aqueles com saturação em alumínio, e distróficos e eutróficos, aqueles com saturação em bases. Latossolos vermelho-escuros também são diferenciados em relação à saturação em alumínio e bases, ocorrendo de maneira subordinada aos latossolos vermelho-amarelos.

A classe dos solos com horizonte “B” textural é constituída por solos no geral bem diferenciados, com horizonte “B” estruturalmente bem desenvolvido. A sua ocorrência na área é pequena, estando presente nas margens do rio Pacuí, na forma de podzólico vermelho amarelo.

Solos com horizonte “B” incipiente, representados pelos cambissolos, são também pouco comuns, ocorrendo nos municípios de Montes Claros, Francisco Sá, Verdelândia e Ponto Chique. Esta classe engloba os solos cujo horizonte “B” é constituído por material já alterado, com desenvolvimento de cor e estrutura, não observando vestígio da rocha em mais da metade do volume do horizonte. Os cambissolos podem ser separados em álicos, distróficos e eutróficos.

Por fim, a classe dos solos pouco desenvolvidos é representada por areias quartzosas, por solos aluviais e solos litólicos. São, em geral, solos que não apresentam outros horizontes além do “A”. Solos do tipo areias quartzosas são de baixa fertilidade e de pequena capacidade de retenção de água, sendo encontrados nas superfícies tabulares e de aplainamento do Planalto do São Francisco. Solos litólicos são rasos, também de baixa fertilidade e retenção de água e ocorrem em locais de relevo acentuado, com presença de pedregosidade e rochosidade. Os solos aluviais são originados de deposições fluviais recentes e exibem grande potencialidade agrícola, praticamente sem restrição, além da adubação adequada para cada cultura. Na microrregião de Montes Claros predomina a classe dos solos pouco desenvolvidos, seguidos, na ordem, por latossolos, cambissolos e podzólicos.

6.3. Vegetação

Extensas áreas do norte do Estado de Minas Gerais vêm sendo ocupadas por atividades antrópicas, que se intensificaram nessas últimas décadas devido à expansão da pecuária de corte e queima de espécies vegetais para a geração de carvão, resultando, geralmente, na substituição da vegetação natural por áreas de pastagem.

Entretanto, formações vegetais nativas podem ainda ser individualizadas, apesar da intensa atividade do homem. Na microrregião de Montes Claros são diferenciados os seguintes grupos de vegetação natural: campo, capoeira, cerrado e mata.

Os campos são constituídos de vegetações herbáceas contínuas, caracterizados pela fre-

qüência com que ocorrem as gramíneas campestres típicas.

A capoeira engloba formações como o capoeirão, a capoeira e a capoeirinha. São formações secundárias, em fase de reconstituição parcial da vegetação primitiva que foi cortada ou queimada.

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. As árvores possuem alturas que variam de 3 a 6 metros. 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. Aroeira, Cagaiteira, Pequi, Jatobá, Sucupira, Angico e Ipê amarelo são exemplos de espécies que podem ser observadas no Cerrado.

A vegetação representada pela mata apresenta estrato superior composto por árvores altas, de até 30m e diâmetros que atingem até 80cm. Este tipo de vegetação tem sofrido modificações pela intervenção do homem, pelo fato de cobrir terras, geralmente, apropriadas para a agricultura e apresentar espécies nobres utilizadas na construção civil e marcenaria, sendo hoje em dia muito raras.

Na microrregião de Montes Claros predomina a vegetação do tipo cerrado, comum no planalto residual do São Francisco. A capoeira encontra-se distribuída em toda a área, enquanto as matas estão na porção nordeste e margeando os rios São Francisco e Verde Grande.

6.4. Hidrografia

Os rios Verde Grande, Pacuí, Paracatu e São Francisco são os principais cursos d'água, sendo todos eles perenes e pertencentes à bacia hidrográfica do São Francisco. O rio São Francisco constitui, parcialmente, o limite ocidental da área estudada e dos municípios de Ponto Chique e Ubaí, aos quais revela-se, especialmente, de grande importância.

Os rios Verde Grande e Pacuí nascem no município de Montes Claros. O rio Verde

Grande tem uma extensão em torno de 370km até sua foz, no São Francisco, situada um pouco além dos limites da microrregião. O Pacuí encontra-se com o rio Riachão, afluente do São Francisco, a sul do município de Brasília de Minas. O rio Paracatu nasce em Brasília de Minas e corre por aproximadamente 120km, até desaguar no rio São Francisco.

Configurações de drenagens, associadas aos padrões dendríticos e em treliça são observadas na área. O padrão de drenagem dendrítico ocorre em quase toda área da microrregião, com exceção das porções oeste e nordeste, onde pode-se observar o padrão em treliça e feições hidrológicas típicas de terrenos cársticos, respectivamente.

A feição de drenagem dendrítica pode ser comparada à configuração de uma árvore, sendo que, a corrente principal corresponde ao tronco, os tributários aos ramos e as correntes de menor porte, aos pequenos ramos e folhas. A feição dendrítica relaciona-se aos sedimentos e às rochas indeformadas do Cráton do São Francisco.

O padrão de drenagem em treliça caracteriza-se por apresentar drenagens paralelas (rios Pacuí e Paracatu e riacho Guaribas), recebendo afluentes transversais e ortogonais (riachos São Gregório, Algodoeiro, Canoas, entre outros) que por sua vez recebem drenagens menores. Esta conformação está condicionada às estruturas das rochas, tais como falhas e/ou fraturas.

A hidrologia em terreno cárstico é caracterizada pela quase ausência de cursos superficiais. A circulação das águas faz-se entre os pontos de absorção (fissuras, dolinas, cavernas, etc.), onde desaparecem as águas subaéreas, e as ressurgências.

6.5. Clima

O clima da região é Subúmido Úmido, próximo à fronteira do Subúmido Seco. A estação úmida é curta, porém muito chuvosa, sendo novembro, dezembro e janeiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os meses mais secos (Nimer & Brandão, 1989). A média anual de precipitação total varia de 800 a 1.200mm (CETEC, 1995).

O regime térmico apresenta uma oscilação anual suave, por se tratar de uma região subtropical, com valores médios anuais variando entre 19,4 e 24,4°C. A temperatura máxima média alcança os valores mais elevados nos meses de outubro e janeiro (30,4°C) e a mínima média atinge 12,5°C no mês de julho (Nimer & Brandão, *op. cit.*).

A evapotranspiração anual média é da ordem de 1.097,0mm e a umidade média anual é de 66,6%. Os meses mais úmidos correspondem aos meses mais chuvosos de verão (novembro e dezembro), quando a umidade atinge valores da ordem de 76,3%. O período menos úmido abrange os meses de agosto e setembro, quando a umidade cai a 52,7% (Normas Climatológicas, 1992).

7. Aspectos Geológicos

A área encontra-se inserida na “Bacia do São Francisco”, termo definido por Chang et al. 1988 (*apud* ALKMIN; MARTINS-NETO, 2001), para se referir à porção sul do Cráton do São Francisco, coberta por sedimentos que datam do Proterozóico ao Fanerozóico. O mapa geológico da microrregião, apresentado na figura 2, mostra a distribuição das unidades descritas a seguir.

As rochas do embasamento cratônico ocorrem apenas a nordeste de Francisco Sá, representadas pelo Complexo Porteirinha e Sequência Metavulcanossedimentar Riacho dos Machados, ambas de idade arqueana, e pela Suíte Itacambiruçu do Proterozóico Inferior. A região de ocorrência dessas unidades é marcada morfologicamente pelo Planalto do rio Jequitinhonha – rio Pardo, com predomínio de formas aplainadas de relevo.

O Complexo Porteirinha é composto por gnaisses bandados ou não, anfíbolitos e rochas vulcânicas ultrabásicas, localmente milonitizados, de idade entre 3,2 a 2,8 Ga. Datações Rb/Sr e Pb/Pb (SIGA Jr., 1986, *apud* COMIG, 1994) indicam que os gnaisses do Complexo Porteirinha se formaram no Arqueano Superior, mas em torno de 2,0 Ga foram afetados por migmatização. Alojada tectonicamente neste Complexo, encontra-se a Sequência Metavulcanossedimentar Riacho dos Machados, constituída por micaxistos, ortoanfíbolitos, talco-tremolitaxistos e quartzo-plagioclásio-flogopitaxistos (FONSECA, 1993; *apud* COMIG, *op. cit.*). A Suíte Itacambiruçu é constituída por granitóides foliados, ocorrendo na forma de corpos batolíticos, de composição quartzo-feldspática, com biotita subordinada.

Recobrando o Cráton do São Francisco, encontram-se as unidades neoproterozóicas compreendidas pelos Grupos Macaúbas e Bambuí, reunidos por Pflug; Renger, 1973 (*apud* COMIG, 1994) no Supergrupo São Francisco. A morfologia da área de ocorrência destas unidades corresponde à Depressão Sanfranciscana e partes do Planalto do São Francisco.

O Grupo Macaúbas, de origem glácio-conti-nental, é de ocorrência restrita na área, sendo constituído por diamictitos, tilitos, arenitos e varvitos pertencentes à Formação Jequitaí e metassiltitos, calcirruditos, dolomitos e silexitos englobados na Formação Serra do Catuni. Conforme Hettich, 1977; Dardenne et al., 1978; Karfunkel; Hoppe, 1988; e Dominguez, 1993 (*apud* COMIG, *op. cit.*), a glaciação Jequitaí representa um marcador de tempo, em escala continental, do início do Proterozóico Superior, em torno de 1.000 Ma. A Formação Jequitaí ocorre apenas na porção sul, especialmente no município de Claro dos Poções, enquanto a Formação Serra do Catuni apresenta-se em uma faixa de direção N-NE que se estende de Francisco Sá a Juramento.

O Grupo Bambuí, depositado em ambiente marinho, é a unidade predominante na área, constituindo-se basicamente de rochas carbonáticas e metassedimentos terrígenos. A subdivisão estratigráfica, da base para o topo, engloba as formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, associadas ao Subgrupo Paraopeba e recobertas, parcialmente, pela Formação Três Marias (COMIG, 1994).

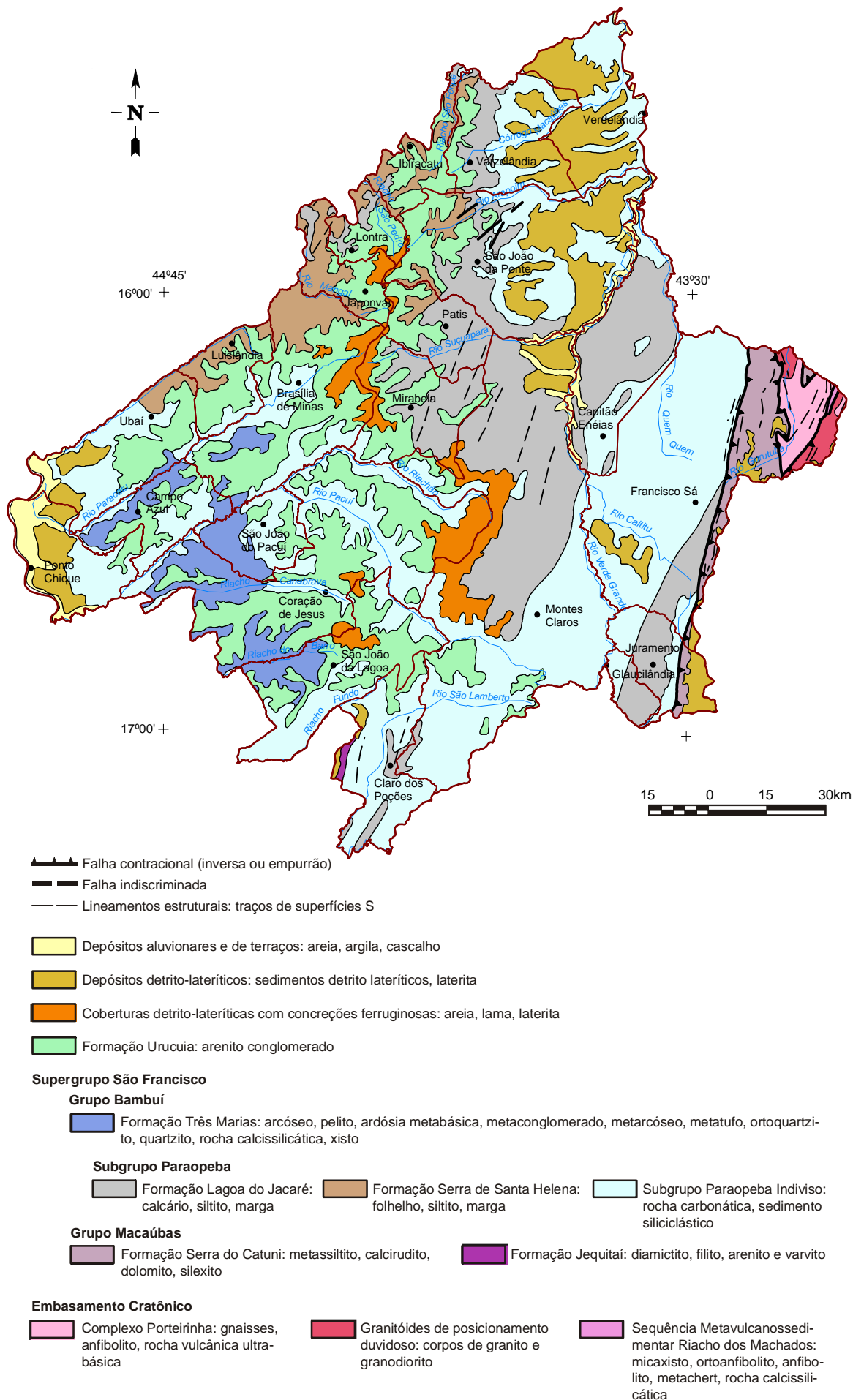


Figura 2 - Mapa geológico da Microrregião de Montes Claros.

Na microrregião de Montes Claros, o Grupo Bambuí é representado pelo Subgrupo Paraopeba indiviso e as formações Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré (figura 2). Apesar de não haver dados precisos de datação para o Grupo Bambuí, estudos de geoquímica isotópica fornecem idades de deposição, deformação e metamorfismo insipiente no intervalo de 750 a 600 Ma (AMARAL; KAWASHITA 1967, CORDANI 1993; BONHOMME 1976; PARENTE COUTO et al. 1981; Iyer 1984; BABISNK; IYER 1987; KAWASHITA et al. 1987, *apud* ALKMIM; MARTINS-NETO, 2001).

O Subgrupo Paraopeba, corresponde a uma sucessão pelito-carbonatada depositada após a glaciação Jequitaiá, em plataforma carbonática isolada. Caracteriza-se na região por exposições de rochas pelíticas (fotos 3, 4 e 5), carbonáticas (foto 6), sedimentos siliciclásticos e arcóseos. Corresponde à unidade de maior ocorrência e melhor distribuição na área.

A Formação Serra de Santa Helena é constituída, basicamente, por folhelho, siltito, marga e lentes esparsas de calcário. Localizada no extremo noroeste da área, pode ser observada em algumas partes dos municípios de Ubaí, Luislândia, Brasília de Minas, Japonvar, Patis, Lontra, Ibiracatu, São João da Ponte e Varzelândia.

A Formação Lagoa do Jacaré corresponde a um pacote com intercalações de calcários oolíticos e psolíticos, siltitos e margas. Ocorre, principalmente, nos setores centro-norte e sudeste, com maior expressão nos municípios de Montes Claros, Mirabela, Patis, Capitão Enéas, São João da Ponte, Varzelândia, Francisco Sá, Juramento e Glaucilândia. Alinhamentos de serras relacionados a morros testemunhos de rochas desta Formação (foto 6), podem ser observados e geralmente, possuem direção N-NE.

A Formação Três Marias é constituída por arcóseos e pelitos, representando a sedimentação em bacia de antepaís. Corresponde à unidade superior do Grupo Bambuí, de pequena expressão na área. Pode ser observada em Coração de Jesus, São João do Pacuí, Brasília de Minas, Campo Azul e São João da Lagoa.

A formação Urucuia de idade cretácica (96 a 66 Ma) recobre extensa área, em especial no setor ocidental, sendo constituída de arenitos avermelhados (foto 7), bem selecionados, contendo na base conglomerados monomíticos, subordinados. Os arenitos, de origem eólica, passam a aluviais para o topo (CAMPOS; DARDENNE 1999, SGARBI et al., 2001, *apud* ALKMIM; MARTINS NETO, 2001). Coberturas detrítico-lateríticas com concreções ferruginosas constituídas de areia, argila e laterita, ocorrem na porção oeste da área, ocupando zonas de cotas altimétricas elevadas, pertencente ao Planalto do São Francisco. Coberturas detrítico-lateríticas e colúvios têm maior expressão nos municípios situados ao norte, principalmente em Verdelândia e São João da Ponte, situadas na Depressão Sanfranciscana.

Depósitos Quaternários, de origem aluvionar e terraços, constituídos de areia, argila e cascalho, ocorrem às margens dos rios São Francisco e Verde Grande, a oeste e nordeste da área, respectivamente.

As feições estruturais, mostradas de forma simplificada no mapa geológico (figura 2), são representadas principalmente por lineamentos de direção N-NE (traços de superfície), que se destacam na porção norte de Montes Claros, no domínio das rochas da Formação Lagoa do Jacaré. Na porção oriental, lineamentos com esta direção correspondem às falhas ou zonas de cisalhamento contracional envolvendo as rochas do embasamento cratônico e as do Supergrupo São Francisco. Falhas ou fraturas de direção NE encontram-se representadas na porção centro-norte de São João da Ponte.

A região de Montes Claros foi subdividida por Oliveira (1989) em três domínios estruturais, com base na análise do comportamento estrutural das rochas do Supergrupo São Francisco. Esses domínios estruturais são dispostos na direção aproximadamente nortesul.

O domínio 1 corresponde à porção oriental da área, abrangendo a serra do Catuni, onde afloram principalmente as rochas glaciogênicas do Grupo Macaúbas mas, envolve também uma estreita faixa do Grupo Bambuí, a oeste da serra. Apresenta alta magnitude de deformação, evidenciada por megadobras,

falhas inversas e de empurrão, vergentes para oeste. São freqüentes zonas de cisalhamento dúctil e dúctil-rúptil.

O Domínio 2 envolve, principalmente, as rochas do Grupo Bambuí, englobando uma faixa a oeste do domínio anterior. Apresenta estruturas como dobras assimétricas, monoclinais, de dimensões métricas também vergentes para oeste, porém, num grau de deformação inferior ao domínio 1.

Localizado na porção ocidental, o domínio 3 engloba as rochas do grupo Bambuí e coberturas Fanerozóicas. As rochas desse domínio mostram dobras abertas e suaves ondulações ou apresentam-se indeformadas.

O estudo de Oliveira (1989) demonstrou que as estruturas observadas foram geradas em um único evento de deformação progressiva e heterogênea com transporte tectônico de leste para oeste e conseqüentemente, deformação decrescente neste sentido, ou seja, do domínio 1 ao 3.

As unidades litológicas do embasamento, a leste da serra do Catuni, no município de Francisco Sá, exibem estruturas como bandamento gnáissico e foliação paralela ao bandamento e de direção N-S, com ângulos de mergulhos variáveis entre 30° e 80°, predominando valores elevados, geralmente para

leste. As dobras de dimensões métricas têm eixos subhorizontais a subverticais. As rochas da seqüência metavulcanossedimentar Riacho dos Machados apresentam xistosidade bem desenvolvida, com direção e mergulho variáveis em virtude de intensos dobramentos e falhamentos internos conforme Guimarães et al., 1997.

Crocco-Rodrigues et al. 1993 (*apud* GUIMARÃES, *op. cit.*), estabeleceram um modelo de evolução estrutural para a região de Francisco Sá, marcada por quatro eventos deformativos: D_n – associado ao bandamento gnáissico e migmatização; D_{n+1} – corresponde ao evento responsável por dobramentos, falhas reversas de alto ângulo e transcorrências que não afetaram as coberturas neoproterozóicas; D_{n+2} – evento extensional relacionado à abertura da bacia Macaúbas e D_{n+3} – evento compressional, com vergência para oeste, que gerou descolamento basal das coberturas neoproterozóicas, falhas reversas de alto ângulo, dobras em larga escala, reativação de falhas do embasamento e transcorrência dextral. Muitos autores associam este último evento ao Brasileiro (UHLEIN et al. 1986; MAGALHÃES, 1988; MARSHAK; ALKMIM, 1989; UHLEIN, 1991; OLIVEIRA, 1994; SOUZA F^o, 1995; DUSSIM; DUSSIM, 1995; D'ARRIGO, 1995; *apud* ALKMIM; MARTINS NETO, 2001).

8. Domínios Hidrogeológicos

A individualização das unidades hidrogeológicas foi feita com base na sua natureza litológica e de permeabilidade, compartimentação geomorfológica e similaridades nas características físico-químicas das águas. A descrição dos afloramentos localizados próximos aos poços cadastrados, a análise dos fragmentos resultantes da perfuração destes e perfis litológicos de vários poços permitiram a elaboração de uma série de perfis geológicos com informações de sub-superfície. De posse destes perfis foi possível delimitar quatro grandes domínios hidrogeológicos. Um, de natureza pelito-carbonatado, ocorre em toda porção ocidental da área; outro, composto por calcários, com termos pelíticos subordinados, encontra-se na parte oriental. Recobrimo, parcialmente, ambos têm-se os arenitos da Formação Uruçuaia e os sedimentos detríticos. Finalmente, de ocorrência restrita à extremidade oriental da área, observam-se rochas do embasamento, corpos granitóides, seqüência metavulcanossedimentar Riacho dos Machados e litótipos do Grupo Macaúbas. De acordo com esta análise foram discriminados os seguintes sistemas aquíferos: fissurado-cárstico, cárstico, fissurado e granular, explotados por 3252 poços tubulares (figura 3).

8.1. Sistema Aquífero Granular

Compreende diversos tipos, dependendo da natureza do sedimento.

- Depósitos não Consolidados
 - Aquíferos aluviais
 - Aquíferos de depósitos de pedimentos

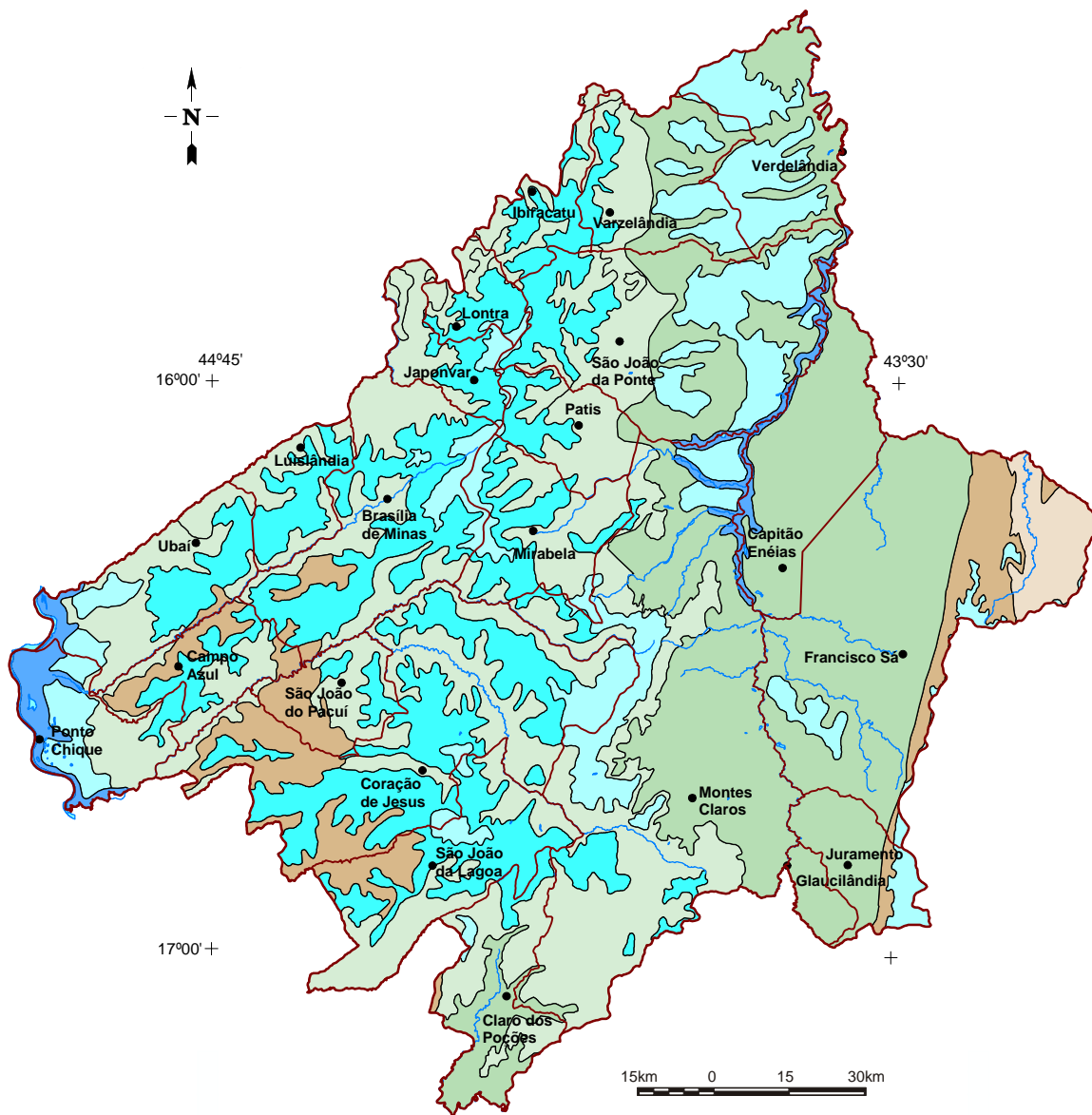
- Depósitos Clásticos Consolidados
 - Aquíferos areníticos

8.1.1. Aquíferos Aluviais

Ocorrem, principalmente, ao longo do rio São Francisco, nos municípios de Ponto Chique e Ubaí e do rio Verde Grande, além de outras pequenas manchas distribuídas ao longo das calhas de rios menores, tais como os rios São Lamberto, Pacuí e Canabrava.

São formados por corpos arenosos alternados com leitos de siltes e argilas, sendo essas variações faciológicas bastante comuns. As espessuras das aluviões variam desde 1m até valores máximos de 50m, conforme determinações realizadas pelo CETEC (1981), com base em perfis geofísicos e dados de poços ou sondagens. Os perfis geológicos dos poços UBA-58 e PCH-07 indicam espessura de 45m. Segundo Silva (1984), o terraço aluvial do rio São Francisco alcança a largura de 10km.

As características físicas não foram determinadas por não fazerem parte do escopo deste trabalho. Entretanto, Custódio; Lhamas (1976) e outros autores, estabelecem valores entre 20 e 40% para a porosidade. Quanto à permeabilidade, Silin – Bekchurin (in CUSTÓDIO; LHAMAS, *op. cit.*), cita valores menores que 10^{-6} cm/s para as argilas e variando entre 5×10^{-6} a 10^{-6} cm/s para areias finas. Em ambos os casos, os autores consideram os materiais granulares relativamente homogêneos.



SISTEMA AQUÍFERO GRANULAR

- Aquíferos aluviais**
- Depósitos aluvionares formados por corpos arenosos alternados com leitos de siltes e argilas. São aquíferos livres, de ocorrência restrita aos canais fluviais e às planícies de inundação.
- Aquíferos colúvio-eluviais**
- Depósitos de pedimentos formados por materiais colúvial - areias e areias argilosas - resultantes da desagregação dos frontões e escarpas mantidas pelo Arenito Uruçuia e de rochas do subgrupo Paraopeba. Aquíferos livres.
- Depósitos detriticos - eluviões e coluviões - encontrados sobre superfícies de aplainamento correspondentes à superfície sulamericana . Aquíferos livres.
- Aquíferos areníticos**
- Representado pela formação Uruçuia, constituída por um pacote de arenitos bem selecionados que tem, na base, conglomerados monomíticos com seixos de quartzo ou quartzitos e arenitos argilosos. Aquíferos livres, com espessura média de 100m . Geomorfologicamente fazem parte dos "planaltos residuais do São Francisco", conformando extensas superfícies tabulares em cotas altimétricas variando entre 700 e 800 metros.

SISTEMA AQUÍFERO CÁRSTICO

- Aquíferos de rochas carbonáticas**
Constituído por siltitos, margas, calcários pretos da formação Lagoa do Jacaré e litotipos carbonáticos do subgrupo Paraopeba indiviso. São aquíferos livres a semi-confinados.

SISTEMA AQUÍFERO FISSURADO-CÁRSTICO

- Aquíferos de rochas pelito-carbonatadas**
Formados por folhelhos silticos, folhelhos, siltitos, margas e lentes esparsas de calcário preto da formação Serra de Santa Helena; pela seqüência pelito-carbonatada da formação Lagoa do Jacaré e do subgrupo Paraopeba indiviso. Aquíferos livres a semi-confinados.

SISTEMA AQUÍFERO FISSURADO

- Aquíferos de rochas metareníticas e metapelíticas**
- Formação Três Marias (Grupo Bambuí): arcóseos, arenitos arcosianos, siltitos e intercalações conglomeráticas.
- Formação Serra do Catuni (Grupo Macaúbas): metassiltitos, calcários e dolomitos.
- Aquíferos de rochas ígneas e xistosas**
- Complexo Porteirinha: gnaisses, bandados ou não, anfíbolitos e rocha vulcânica ultrabásica.
- Suíte Itacambirucu: granitóides foliados.
- Seqüência Metavulcanossedimentar Riacho dos Machados: xistos.

Figura 3 - Mapa de sistemas aquíferos da microrregião de Montes Claros.

O CETEC (1981), no “2º Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro”, cita: “a porosidade eficaz pode oscilar desde quase zero, em determinadas argilas, até 0,50 em depósitos de cascalho” e considera valores médios da ordem de 150m²/dia para a transmissividade. A capacidade específica, determinada com base em um único poço tubular (UBA-58), que capta exclusivamente o aquífero aluvial, é de 5,11m³/h/m. Os demais poços, ou não possuem perfil litológico ou não contêm informações precisas sobre as entradas d’água.

A alimentação das aluviões faz-se diretamente pela infiltração das águas de chuva ou por infiltrações laterais, proveniente dos cursos d’água nos períodos de enchentes. Pode ser feita, também, pela descarga das unidades situadas em zonas topográficas altas, como os arenitos cretácicos e os depósitos de pedimentos.

8.1.2. Aquíferos de Depósitos de Colúvio-eluviais

Assim como os aquíferos aluviais, os principais depósitos de materiais colúviais – resultantes dos processos de pedimentação – ocorrem ao longo das margens do rio São Francisco, nos municípios de Ponto Chique e Ubaí, cobrindo o sistema cárstico a norte e no limite entre as cidades de Coração de Jesus e Montes Claros (figura 2). Correspondem aos depósitos detríticos de cobertura (areias, areias argilosas), resultantes da desagregação dos frontões e escarpas mantidas pelo arenito Urucuia. A extensão dessas coberturas alcança 15km, com espessuras variando de 1 a 45m (poços UBA-58 e PCH-07), com valores mais elevados em direção à montante.

Estes sedimentos apresentam grande variação granulométrica, devido ao próprio processo de formação. Vão desde areia pura, de granulometria fina a média, até areia argilosa com proporção variável dos componentes finos (siltes e argilas), compatível com a natureza da área fonte (Sub-grupo Paraopeba e Formação Urucuia).

A grande diversidade granulométrica reflete-se nas propriedades hidrodinâmicas, que se mostram extremamente variáveis. Desta forma, a fácies argilosa apresenta uma

elevada porosidade total (média variando em torno de 35 a 45%), mas uma reduzida porosidade efetiva (valores médios em torno de 3%) e não tem utilização como aquífero (FEITOSA; FILHO, 1997). Já uma mistura de areia de granulometria variável, possui uma porosidade total um pouco menor (valores médios variando entre 20 e 30%), porém um valor elevado de porosidade efetiva (média em torno de 29%), constituindo um bom aquífero.

O contato inferior dessa unidade se dá com a seqüência pelito-carbonatada – aquífero fissurado-cárstico – exercendo papel importante na recarga deste.

8.1.3. Aquíferos Areníticos

Ocorrem recobrimdo porções da seqüência pelito-carbonatada ou de lentes de calcário na parte ocidental da área trabalhada. Essa unidade está geomorfologicamente relacionada aos “Planaltos Residuais do São Francisco”, conformando extensas superfícies tabulares em cotas altimétricas variando entre 700 e 800m, que se distribuem em torno da “Depressão Sanfranciscana”.

É constituída por um pacote de arenitos bem selecionados que tem, na base, conglomerados monomíticos com seixos de quartzo ou quartzitos e arenitos argilosos (COMIG, 1994). Segundo os autores, a espessura dessa seqüência é variável desde muitas dezenas de metros a menos de 200m. No entanto, na área em foco, não ultrapassa os 100m de espessura, ocorrendo freqüentemente em torno dos 50m.

As características hidrodinâmicas dos aquíferos cretácicos, a exemplo dos demais já descritos, resultam de dados secundários, uma vez que dos 4159 poços cadastrados no campo, não mais que 6 poços tubulares situam-se nesta unidade e ainda assim não se tem informações sobre os testes de bombeamento.

No teste de bombeamento realizado pelo CETEC (1981), no poço PO-01, município de Presidente Olegário, foi calculada transmissividade de 181,44m²/dia. Ainda nesse trabalho, são apresentadas estimativas fundamentadas na equação de Darcy, efetuadas em

várias bacias, levando em conta a vazão de estiagem e considerando que toda descarga de base é proveniente da restituição das águas subterrâneas do aquífero cretácico. O gradiente hidráulico foi estimado a partir de mapas piezométricos, de tal forma que os valores de transmissividade puderam ser calculados pela fórmula: $T = Q/iL$, onde Q é a vazão, em m^3/s , L é o comprimento de seção, em metros, e i o gradiente hidráulico médio. Os resultados obtidos indicam valores médios de $51,84m^2/dia$ e, portanto, inferiores aos determinados através do teste de bombeamento do poço PO-01.

Nesse mesmo trabalho, considerando as espessuras médias saturadas, estimadas a partir de seções topográficas de várias localidades, foi definida a média dos valores de permeabilidade como de $1,72m/dia$ e a capacidade específica de poços como da ordem de $28m^3/h/m$. A título de comparação, o poço SJP-004, perfurado pela COPASA no município de São João da Ponte, apresentou uma capacidade específica da ordem de $10,97m^3/h/m$, e o poço CAZ-25, localizado em Campo Azul, de $7 \times 10^{-4}m^3/h/m$. Ambos foram perfurados no arenito Uruçuia. Esses valores refletem a própria estrutura estratificada do pacote sedimentar e ocorrência de intercalações argilosas, resultando no conjunto em um meio aquífero anisotrópico. As variações de permeabilidade devem ser acentuadas de local a local, de acordo com as variações faciológicas. A média do nível estático, calculada com base nos poços acima é de 26m.

As águas de chuva são a principal fonte de recarga desses aquíferos. As infiltrações ocorrem por toda a superfície das chapadas, sendo que a presença de horizontes impermeáveis define a predominância de fluxos verticais ou horizontais.

Os pontos de descargas localizam-se nas vertentes das elevações, no contato do arenito com o substrato impermeável, representado pela seqüência pelito-carbonatada. Como estes exutórios situam-se em cotas mais altas que os níveis dos principais cursos d'água, não existe conexão hidráulica entre estes e os aquíferos cretácicos. Nestas condições, a principal função destes aquíferos é a manutenção

dos fluxos de base da drenagem local, contribuindo com uma parcela significativa do escoamento total. O CETEC (1981), com base em estimativas de infiltração e na análise de hidrogramas, estima que a contribuição total dos aquíferos cretácicos para os rios seja da ordem de $4,25 \times 10^9m^3$ anuais.

O posicionamento dos níveis de descarga próximos a base do aquífero, também indica não serem boas as condições de armazenamento, devendo ser bastante remota a possibilidade de ocorrência de reservas seculares ou passivas.

8.2. Sistema Aquífero Fissurado - Cársico

Esta denominação foi utilizada pela primeira vez pelo CETEC (1986), no trabalho "Levantamento das Disponibilidades de Água da Região do Jequitai/Verde Grande", para designar a unidade aquífera representada pelos horizontes com siltitos, às vezes calcíferos, margas, ardósias, argilitos e lentes de calcário subordinadas. No presente trabalho esse termo refere-se ao aquífero constituído pela seqüência pelito-carbonatada, representada no mapa geológico (figura 2) como Subgrupo Paraopeba e pela formação Serra de Santa Helena, a norte e pela unidade definida como Lagoa do Jacaré, a oeste da cidade de Montes Claros. Essas unidades ocorrem em toda a porção ocidental da microrregião, em cotas altimétricas correspondentes a superfície tabular ondulada (600 a 750m), dos Planaltos do São Francisco. É o sistema aquífero de maior distribuição, abrangendo em torno de 27% dos poços tubulares cadastrados em campo.

O domínio pelito-carbonatado é constituído por camadas tabulares de material pelítico homogêneo com espessura variando de milimétrica a métrica de coloração verde-clara, alternadas com camadas lenticulares de calcário cristalino, oolítico, de cor cinza-escura, com abundante calcita preta recristalizada. Essas lentes possuem dimensões variáveis, indo desde milimétricas a métricas, como observado nas localidades de São Domingos, São Bento, Poções e outras pertencentes aos municípios de Coração de Jesus e São João da Lagoa.

Essas rochas apresentam variações laterais marcantes. A litofácies pelítica que ocorre na serra do Funil e do Pouso Alto, no município de Claros dos Poções, com aproximadamente 300m de espessura, interdigita com rochas calcárias, em direção ao município de São João da Lagoa. Nessa localidade, estes pelitos ocorrem intercalados a camadas de calcários com 15m de espessura.

Tais variações faciológicas revelam a existência de um sistema aquífero heterogêneo, podendo se comportar, localmente, como um sistema essencialmente cárstico ou fissurado. Feições tipicamente cársticas, como as observadas no município de São João do Pacuí e na localidade de São Domingos, no município de Coração de Jesus, contrasta com um relevo ondulado, típico de rochas argilosas, em direção à localidade de São José da Carapina, onde vários poços tubulares foram perfurados com resultados negativos. Segundo Silva (1984), as intercalações de calcário exercem um importante papel no comportamento hidrodinâmico e na concentração iônica desse tipo de sistema. As zonas de elevada condutividade elétrica normalmente correspondem às de ocorrências de rochas mais carbonáticas, com pouca fração argilosa.

Todas as unidades estratigráficas, que constituem o sistema em pauta, encontram-se parcialmente recobertas por uma delgada camada de rocha silto-argilosa (confinante e drenante), por rochas cretácicas ou por sedimentos inconsolidados.

O contato com o sistema cárstico, distribuído na porção oriental da microrregião, faz-se ao longo dos penhascos das serras do Sapé, Morrinhos, Brejão e Santa Rosa, no município de Montes Claros e das serras do Morro do Sapo e da Lagoa, em São João da Ponte. Esse limite estende-se em uma direção aproximadamente norte-sul, acompanhando a borda das elevações citadas acima, ao longo da cota altimétrica de 600m, marcada por uma mudança nos valores das propriedades hidrodinâmicas e concentrações iônicas, como consequência não só das variações litológicas, como também do grau de deformação, conforme a distribuição dos domínios estruturais anteriormente apresentada.

Os níveis estáticos são normalmente rasos. A média calculada para 399 poços inventariados que dispunham desta informação, é de 12,38 metros.

Com base em dados obtidos em boletins de perfuração dos poços, a média da capacidade específica calculada para 459 poços tubulares foi de $2,97\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. Face a esses dados, a estimativa de vazão de exploração, referente a um rebaixamento de 18,0m, é de $53,46\text{m}^3/\text{h}$. Entretanto, vazões mais elevadas são obtidas em localidades de ocorrência de rochas mais carbonáticas com pouca fração argilosa (figura 4), demonstrando uma intrínseca relação de interdependência, entre: capacidade específica, condutividade elétrica, concentração iônica (HCO_3^- e CO_3^{2-}) e grau de pureza das rochas carbonáticas do sistema em pauta.

Na área de ocorrência do sistema fissurado-cárstico, os depósitos de cobertura e os capeamentos de arenitos cretácicos têm papel importante na recarga deste sistema, uma vez que esses sedimentos, como dito anteriormente, têm alta permeabilidade e grande capacidade de infiltração. Essa contribuição processa-se diretamente por filtração vertical descendente ou através de fontes de encostas que alimentam a drenagem superficial nos altos cursos, encaixados na seqüência pelito-carbonatada.

8.3. Sistema Aquífero Cárstico

O sistema aquífero cárstico estende-se pelos municípios de Montes Claros, Francisco Sá, Glaucilândia, Juramento, Capitão Enéas, São João da Ponte, Verdelândia e Varzelândia, nas extensas áreas rebaixadas da Depressão Sanfranciscana, em cotas altimétricas inferiores a 500m, abrangendo a porção oriental da microrregião.

Toda a área é constituída por calcários de cor preta e cinza-escura, cristalinos, com abundante calcita preta recristalizada. Cristais de pirita também são observados. A fração argilosa intercalada nesses é bem menos expressiva que a do sistema precedente.

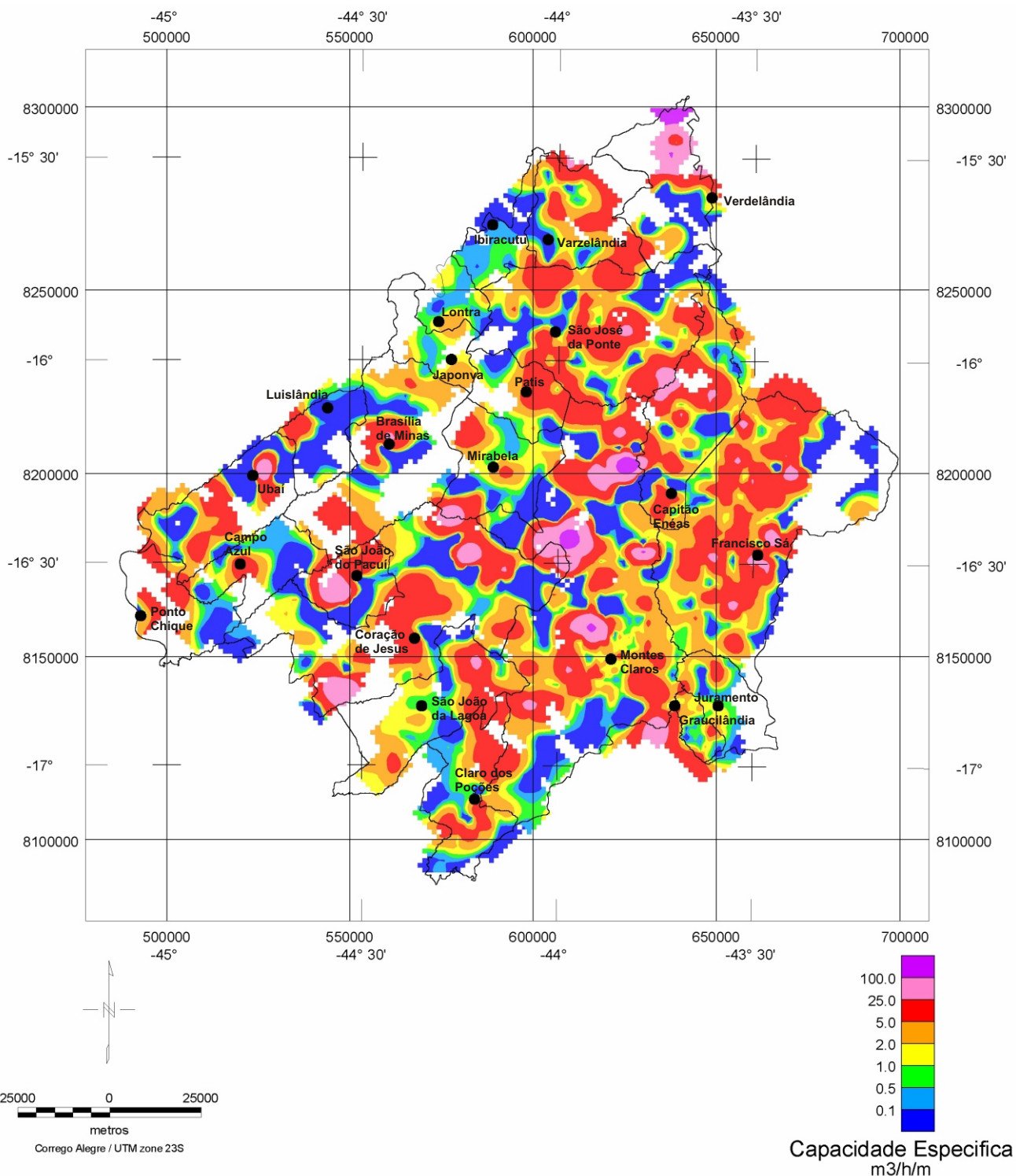


Figura 4 - Mapa de distribuição de capacidades específicas.

O aquífero cárstico encontra-se recoberto, em quase toda sua porção centro-sul, por depósitos argilosos, cuja espessura chega a alcançar valores próximos a 20 metros. Segundo a CNEN/CDTN (1996), nesses depósitos o quartzo é o mineral mais abundante, sendo que a caulinita, goethita e, em alguns pontos, a moscovita, podem ocorrer em quantidades significativas.

Na porção norte, onde esse nível pelítico foi erodido, a carstificação produziu, principalmente na região compreendida entre os rios Verde Grande e Gortuba, um relevo característico, marcado por grande densidade de dolinas, algumas orientadas segundo as direções das fraturas. O carste se caracterizou melhor onde a cobertura coluvial também foi removida.

O nível estático, a exemplo da unidade anterior, também é raso. A média calculada com base em 1103 medidas é de 15,54 metros.

A capacidade específica, segundo Silva (1984), com base nos dados de 77 poços localizados a norte de Verdelândia, nas folhas Mata do Jaíba e Manga, varia entre $0,02\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ e $64,8\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, sendo a média de $5,4\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. O CETEC (1995), considerando um conjunto de 950 poços, distribuídos por uma área que se estende desde o sul do município de Montes Claros até Urandi, no Estado da Bahia, próximo à divisa com Minas Gerais indica valores extremos de 0,001 e $264,1\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, com média de $4,3\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. A média determinada para os 966 poços tubulares cadastrados, que dispunham desse dado, é de $4,1\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, inferior aos valores médios calculados pelos autores acima. Ressalta-se, que o CETEC (1995) indica uma zona de maior produtividade, com valores entre 3,6 e $36\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, coincidente com a área do sistema cárstico estudado. Os valores acima indicam que o potencial hidrogeológico no conjunto da área cárstica pode ser considerado médio, com porções localizadas de potencial elevado (figura 4).

Em relação à transmissividade e ao coeficiente de armazenamento, deve-se mencionar que não há dados de testes com utilização de piezômetros ou poços de observação que permitam a determinação precisa. Todavia, a primeira propriedade pode ser calculada através da curva do rebaixamento residual, que neste caso, é preferível ao da curva da recuperação (CETESB, 1978). Dessa maneira, os dados dos testes de bombeamento realizados pela COPASA em 8 poços tubulares, localizados na sede do município de Montes Claros, um poço em Glaucilândia e outro em Varzelândia, serviram de base para o cálculo da transmissividade do aquífero. Os valores obtidos refletem a heterogeneidade do sistema e sugerem que, em algumas zonas com carstificação bem desenvolvida, existem elevadas transmissividades, como no caso de Rebentão dos Ferros, onde o valor calculado foi de $4.361,7\text{m}^2/\text{dia}$. O CETEC (*op.cit.*) refere-se à área de ocorrência dessa unidade hidrogeológica como uma região, em geral, com valores superiores a $200\text{m}^2/\text{dia}$. Segundo

a CETESB (*op.cit.*), aquíferos com valores de transmissividade dessa ordem, poderão servir às indústrias, à irrigação ou ao abastecimento público.

No domínio do sistema cárstico, onde o relevo caracteriza-se por uma superfície peneplanizada, as condições de recarga e escoamento das águas subterrâneas são bem particulares. Os sedimentos de cobertura ou o próprio manto de alteração das rochas pelíticas e carbonáticas atuam como elemento de retenção da água, facilitando a recarga (efeito esponja), enquanto na porção norte, na ausência desta, a recarga é mais efetiva em depressões associadas a dolinas.

8.4. Sistema Aquífero Fissurado

Este sistema, de ocorrência restrita, é encontrado numa estreita faixa de direção geral N-S, na borda oriental da bacia do Verde Grande, incluindo a Serra do Espinhaço, e na porção sudoeste da microrregião (figura 3). A primeira corresponde às áreas de afloramento de rochas do Complexo Porteirinha, composto por gnaisses bandados ou não, anfíbolito e rocha vulcânica ultrabásica; à seqüência metalvulcanossedimentar Riacho dos Machados, constituída por xistos, metassilito, calcirrudito e ao dolomito da Formação Serra do Catuni. Na região sudoeste ocorrem rochas da Formação Três Marias, representada por arcósios, arenitos arcósianos, siltitos e intercalações con-glomeráticas (COMIG, 1994). Os aquíferos relacionados às formações Serra do Catuni e Três Marias foram classificados, neste trabalho, em aquíferos de rochas metareníticas e metapelíticas, respectivamente, enquanto as demais unidades foram agrupadas em aquíferos de rochas ígneas e xistosas (figura 3).

Os aquíferos fissurados são representados por rochas com permeabilidade secundária desenvolvida pelas de fraturas, falhas, fendas e diáclases, geradas por processos tectônicos de natureza rúptil e rúptil-dúctil, resultando num meio aquífero bastante heterogêneo e com forte anisotropia. Cabe ressaltar que a unidade denominada Três Marias encontra-se inserida em uma região, cuja característica mais importante é o seu baixo grau de deformação, pouco tectonizada e portanto, com uma densidade de fraturas em geral

pouco favorável ao armazenamento e a circulação de águas subterrâneas. O mesmo já não ocorre com as demais unidades geológicas que afloram na borda da serra do Espinhaço, associadas à zona marginal de altas taxas de deformação. Vale destacar, que as unidades metapelíticas, devido ao seu comportamento plástico e granulometria fina, apresentam fraturas de abertura muito reduzida.

A capacidade específica dos poços oscila entre 0,02 e 11,97m³/h/m para os poços que dispunham destas informações e que correspondem a 50% do total cadastrado nesse aquífero. A média interna é de 1,15 m³/h/m. Quanto à transmissividade, uma estimativa aproximada pode ser efetuada a

partir dos dados de capacidade específica (Qe), utilizando-se a fórmula de Galofré (CUSTÓDIO; LLAMAS,1976). Dessa maneira, foi obtido para os aquíferos granito-gnaissicos valores da ordem de 25m²/dia e de 58m²/dia para os areníticos.

Os coeficientes de armazenamento ou de porosidade efetiva não são conhecidos pela falta de testes de aquífero com utilização de poços de observação ou piezômetros.

A recarga efetua-se predominantemente através da drenagem superficial, quando controlada por direções de fraturamento. As infiltrações diretas são mais reduzidas uma vez que as juntas e as discontinuidades no meio pelítico são relativamente localizadas.

9. Caracterização Físico-Química da Água Subterrânea

As características físico-químicas da água subterrânea estão relacionadas a fatores relativos ao próprio aquífero, tais como: a composição mineralógica da rocha, as condições de circulação e armazenamento da água, como também, de fatores externos referentes ao clima, à composição da água da chuva e às atividades antrópicas. As substâncias dissolvidas e/ou em suspensão fornecem à água suas propriedades físicas, químicas e organolépticas.

A maioria das substâncias dissolvidas encontra-se no estado iônico, estando, portanto, os aspectos físico-químicos relacionados, basicamente, às concentrações de íons fundamentais tais como: cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^-) e bicarbonato (HCO_3^-), que representam os ânions; e sódio (Na^+), cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{+2}), os cátions.

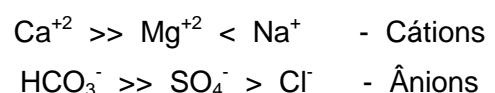
Os íons presentes em quantidades pequenas, normalmente menores que 1% do conteúdo iônico, são denominados de íons menores, e os mais importantes são: nitrato (NO_3^-), carbonato (CO_3^{-2}), potássio (K^+), ferro (Fe^{+2}), nitrito (NO_2^-), fluoreto (F^-), amônia (NH_4^+) e estrôncio (Sr^{+2}). No estado coloidal, têm-se os ácidos e os ânions derivados de sílica (SiO_2), como substâncias pouco ionizadas. Na fração gasosa, consideram-se como fundamentais o gás anídrico carbônico (CO_2) e o oxigênio dissolvido (O_2), sendo este pouco freqüente em água subterrânea (CUSTÓDIO; LHAMAS, 1976).

Visando estabelecer a caracterização hidroquímica, foram utilizadas 61 análises físico-químicas, resultantes de dados secundários, que compreendem, principalmente análises

cedidas pela COPASA e de certificados anexados aos relatórios de perfuração obtidos junto a proprietários de poços tubulares e empresas de perfuração. Dentre essas análises, 31 correspondem a poços localizados na área de trabalho, mas que não puderam ser correlacionadas com os poços cadastrados em campo. Ressalta-se que apesar de terem sido utilizadas no estudo hidroquímico, não encontram-se inseridas no banco de dados. As análises foram realizadas no período de 1980 a 2001. Os resultados bacteriológicos não foram considerados no estudo por corresponderem a coletas antigas.

O tratamento dos dados hidroquímicos iniciou-se com a discriminação das análises em relação ao tipo aquífero ao qual se associavam. Em seguida, procedeu-se à consistência e avaliação da qualidade da análise, selecionando-se, preferencialmente, amostras com erro no balanço iônico abaixo ou próximo de 10%, utilizando-se o programa Ground Water For Windows – GWW (BRATICEVIC, 1995). O tratamento das análises utilizando-se de gráficos hidroquímicos foi efetuada nesse mesmo programa.

Desse modo, foram incluídas 28 análises no aquífero cárstico, 32 no fissurado-cárstico e 1 no aquífero fissurado. Não há análise para o sistema granular, por isso, dados bibliográficos foram usados para complementar a sua caracterização hidroquímica. De modo geral, as 61 análises apresentam a seguinte relação iônica (valor médio):



Pela análise do diagrama de Piper (figura 5), percebe-se que as águas do aquífero cárstico são predominantemente bicarbonatadas cálcicas (25 amostras), entretanto, 2 amostras classificam-se como cloro-sulfatadas cálcicas e 1 como mista. No sistema fissurado-cárstico (figura 6), também predominam águas bicarbonatadas cálcicas (27 amostras), estando presentes águas bicarbonatadas sódicas (2 amostras), mistas (2 amostras) e sulfatada magnésiana (1 amostra).

A única análise referente ao aquífero fissurado (FCO-900), classifica-se como bicarbonatada mista, sendo originada do aquífero fissurado cristalino localizado a nordeste de Francisco Sá. De acordo com IGAM (2000), as águas do aquífero fissurado em rochas do cristalino, na porção setentrional da Bacia do São Francisco, são, em ordem de grandeza, bicarbonatadas cálcio-magnesianas, bicarbonatadas-cloretadas, sulfatadas cálcio-magnesianas e bicarbonatadas cálcio-sódicas. O sistema aquífero granular apresenta, tanto para

as aluviões quanto para as coberturas detríticas, águas bicarbonatadas pouco mineralizadas, com concentrações menores para as coberturas detríticas (CETEC, 1986).

Outra maneira de se avaliar a composição iônica dos sistemas aquíferos é por meio de diagramas de Stiff. Na figura 7 encontram-se alguns exemplos desses diagramas para os sistemas aquíferos cárstico, fissurado e fissurado-cárstico. Nesses diagramas as concentrações iônicas em meq/L são representadas sobre linhas paralelas horizontais, com ânions à direita e à esquerda, cátions. Ligando os pontos extremos, obtém-se uma figura geométrica característica para a água analisada. A leitura do diagrama é feita tomando-se ânions e cátions predominantes, fornecendo nesta ordem, o nome ao tipo da água. A figura 7 mostra diagramas representativos de águas bicarbonatadas cálcicas, cloretadas cálcicas, bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas magnesianas, associadas aos sistemas aquíferos cárstico, fissurado e fissurado-cárstico.

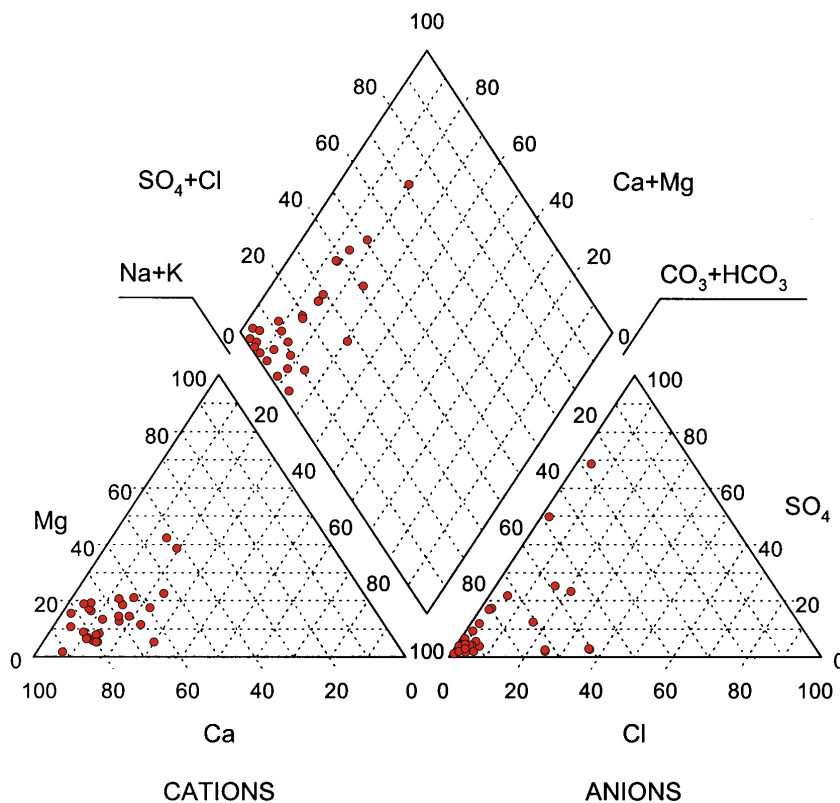


Figura 5 - Diagrama de Piper para as águas do aquífero cárstico.

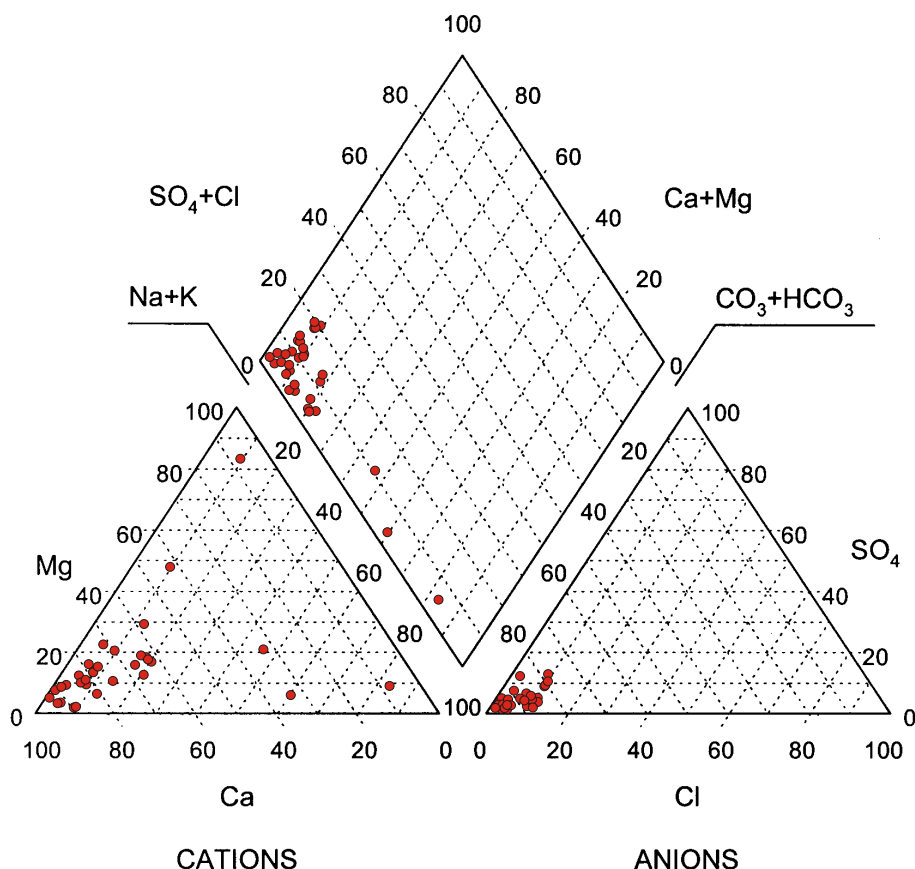


Figura 6 - Diagrama de Piper para as águas do aquífero fissurado-cárstico.

Na tabela 1, são apresentadas as principais características composicionais das águas subterrâneas para os sistemas aquíferos cárstico, fissurado-cárstico e fissurado, estabelecidas

pelos concentrações dos íons fundamentais ou maiores, em termos de valores mínimos, médios e máximos.

Tabela 1 - Concentrações iônicas médias, máximas e mínimas, expressas por tipo aquífero.

Aquíferos	Valores	Componentes Iônicos Principais						
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
Cárstico (28 amostras)	Máximo	423,20	82,50	131,00	5,90	480,68	137,50	900,00
	Médio	114,79	15,01	26,70	1,54	368,70	29,12	47,26
	Mínimo	54,40	12,40	2,07	0,17	267,18	0,50	0,50
Fissurado-Cárstico (32 amostras)	Máximo	136,00	39,85	59,40	6,90	414,43	26,80	38,0
	Médio	79,71	8,47	15,71	1,80	290,70	9,21	9,92
	Mínimo	1,60	1,00	0,33	0,13	0,54	0,50	0,10
Fissurado	Única Amostra	66,10	24,50	31,50	2,13	315,86	50,40	12,17

Valores elevados nas concentrações iônicas das águas do aquífero cárstico, como visto na tabela 1, principalmente dos íons Ca⁺² e HCO₃⁻, devem-se à facilidade de dissolução de carbonatos de cálcio e magnésio (Ca, Mg)CO₃,

pelos águas que se infiltram ou circulam no sistema. Os valores mais elevados do íon Ca⁺² em relação ao Mg⁺, é explicada pela maior ocorrência de calcários calcíticos que dolomitos (magnesianos).

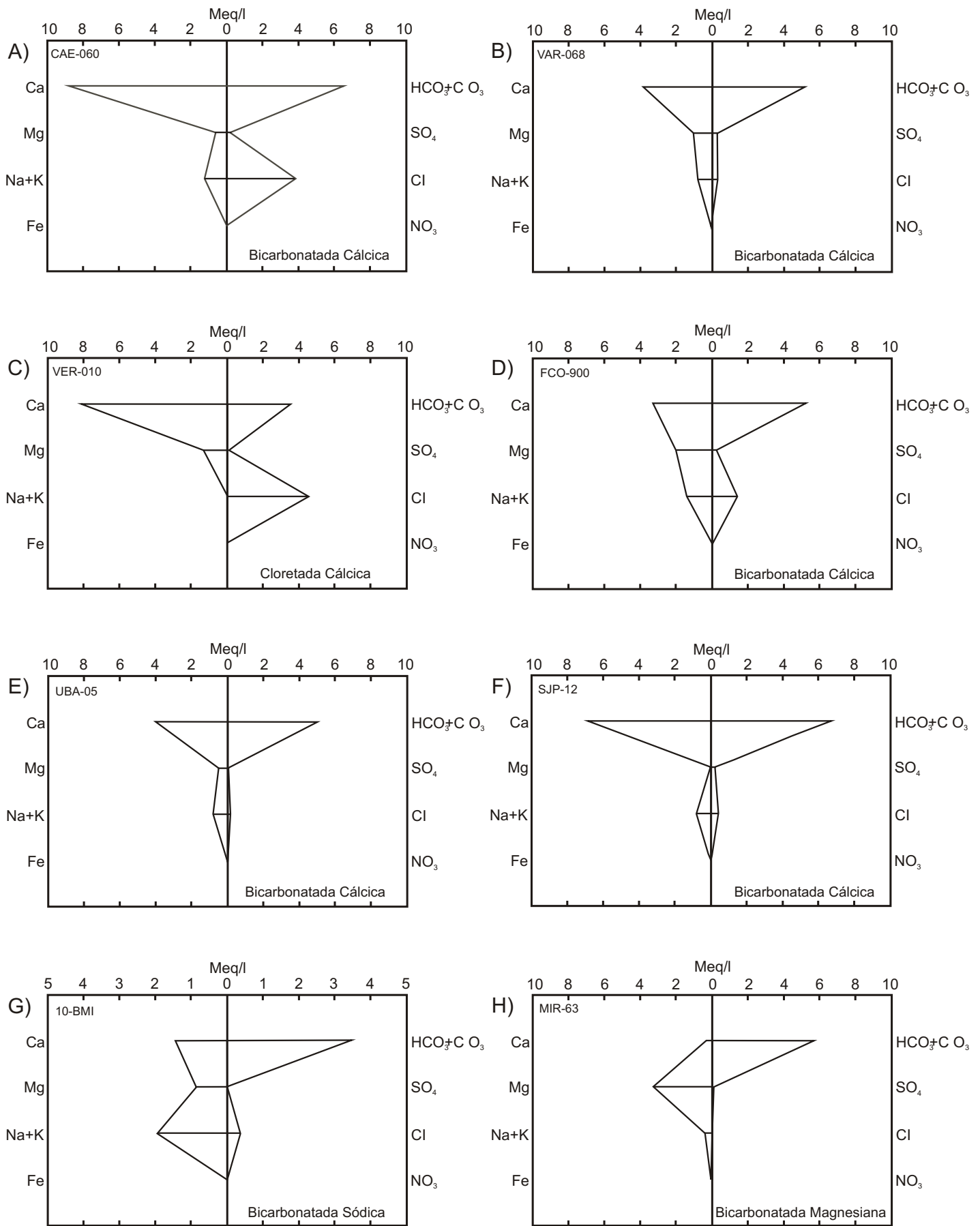


Figura 7 - Diagramas de Stiff representativos para os sistemas aquíferos: a, b, c) cárstico, d) fissurado, e, f, g, h) fissurado-cárstico.

O sulfato (SO_4^{-2}) é mais abundante nas águas do sistema cárstico, originando-se da oxidação de sulfeto de ferro (pirita), presente nos calcários. Nas águas subterrâneas, em geral, o íon SO_4^- , apresenta concentrações normalmente inferiores a 100mg/L, porém, havendo sulfeto na rocha, a lixiviação pela água pode elevar os teores tal como acontece no aquífero cárstico (tabela 1).

O íon K^+ ocorre em pequenas quantidades nas águas subterrâneas (1 a 5mg/L), devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, à facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e, ainda, ao fato de serem bastante utilizados pelos vegetais. Nota-se que os valores médios encontrados são bastante similares (tabela 1).

O sódio (Na^+) é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas, ocorrendo principalmente sob a forma de cloretos. Está presente em todas as águas, predominando em algumas devido a alguns fatores tais como: ocorrência dos minerais fonte, baixa estabilidade química dos minerais que o contém, solubilidade elevada e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução. Observa-se, na tabela 1, que as diferenças entre os valores

mínimos e máximos, num mesmo aquífero, são significativas, como verificado no aquífero fissurado-cárstico.

O íon cloreto (Cl^-) é muito solúvel e muito estável em solução, logo dificilmente se precipita, e nos aquíferos estudados apresentam, geralmente, teores abaixo de 100mg/L, com algumas exceções. Tal como o Na^+ , as diferenças entre seus valores mínimos e máximos são altas num mesmo aquífero, como observado para o aquífero cárstico.

Valores de Cl^- , Na^+ e SO_4^{-2} são eventualmente altos, no setor setentrional da Bacia do São Francisco, onde ocorrem rochas do embasamento cristalino, tendo como origem, a lixiviação dos sais concentrados pela elevada evapotranspiração na cobertura detrítica e eluvionar sobreposta, facilitada pela pequena profundidade do nível freático e a baixa permeabilidade das rochas (MOURÃO, et al. 2001).

Os valores obtidos para a razão $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ (meq/L), em geral abaixo de 1, comprova a maior influência das rochas carbonáticas calcíticas na composição química das águas para os aquíferos cárstico e fissurado-cárstico, como apresentado na tabela 2.

Tabela 2 - Razão iônica $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ em meq/L.

Aquíferos	$\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ abaixo de 1 (influência de calcários calcíticos)	$\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ próximo de 1 (influência de dolomitos)	Total de Análises
Cárstico	26	2	28
Fissurado-Cárstico	27	5	32

Durante o cadastramento de campo foram realizadas medidas “*in loco*” de pH, condutividade elétrica e temperatura, que possibilitaram a avaliação preliminar das características físico-químicas da água. Esses dados foram tratados em função do tipo aquífero, em termos de valores mínimos, médios e máximos, apresentados na tabela 3.

A condutividade elétrica é uma medida da facilidade da água em conduzir corrente elétrica, estando ligada à presença de sais dissolvidos

na forma de íons. O sistema fissurado exhibe o maior valor médio (1.158,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$), em decorrência dos poços localizados a nordeste de Francisco Sá (FCO-897; 898; 900 e 902), onde ocorrem as rochas cristalinas. O sistema aquífero cárstico exhibe valores de condutividade elétrica acima dos sistemas fissurado-cárstico e granular, exibindo média 948,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C. O sistema fissurado-cárstico possui média de 519,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o granular de 322,97 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25°C.

Tabela 3 - Parâmetros medidos "in loco".

Aqüíferos	Valores	PH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Cárstico	Máximo	9,89	8.070,00	35,60
	Médio	7,2 (2002)	948,00 (2006)	26,41 (1998)
	Mínimo	5,62	32,00	19,50
Fissurado-Cárstico	Máximo	9,6	1.813,00	39,30
	Médio	7,28 (689)	519,00 (689)	26,20 (688)
	Mínimo	5,48	3,17	20
Fissurado	Máximo	8,31	3.100,00	28,90
	Médio	7,27 (15)	1.158,00 (15)	26,66 (15)
	Mínimo	6,46	269,00	23,50
Granular	Máximo	7,84	539,00	31,70
	Médio	7,15 (7)	322,97 (7)	27,87 (7)
	Mínimo	6,86	78,10	25,10

(Nº de dados utilizados no cálculo da média)

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 igual a 7. As águas exibem caráter ácido para valores de pH abaixo de 7 e básico para valores acima. Os valores médios de pH, medidos "in loco", de uma forma geral, mostraram caráter neutro a básico (tabela 3).

As medidas de condutividade elétrica foram usadas para elaboração de um mapa de distribuição de valores (figura 8), possibilitando diferenciar dois grandes domínios (I e II).

O Domínio I apresenta valores de condutividade elétrica acima de $700,0\mu\text{s}/\text{cm}$, representado no mapa por uma faixa norte-sul, que se estende de Glaucilândia a Verdelândia, passando por Montes Claros, Francisco Sá e Capitão Enéas. Esse domínio aproxima-se dos limites do aquífero cárstico em superfície (figura 3). Engloba também valores de condutividade associados ao sistema fissurado em rochas cristalinas, localizado na porção nordeste de Francisco Sá.

O Domínio II abrange toda porção a oeste do primeiro domínio e compreende valores de condutividade menores que $700,0\mu\text{s}/\text{cm}$, que se associam principalmente à área de ocorrên-

cia do sistema aquífero fissurado-cárstico, porém, envolve também setores dos sistemas fissurado (litotipos da Formação Três Marias) e granular.

Os valores de condutividade elétrica das águas do sistema aquífero fissurado, constituído por rochas cristalinas, localizado a nordeste de Francisco Sá, assemelham-se aos do sistema cárstico e encontram-se normalmente acima de $1.000\mu\text{s}/\text{cm}$. Já o sistema fissurado associado a rochas metapelíticas e metareníticas (formações Três Marias e Serra do Catuni) exibem valores de condutividade mais baixos, menores que $600\mu\text{s}/\text{cm}$, estando essas diferenças relacionadas à litologia.

Manchas apontando altos de condutividade no Domínio II, correspondem a porções mais carbonáticas, como ocorre ao norte de São João do Pacuí, sudoeste de Brasília de Minas e Campo Azul. Porções brancas correspondem às regiões onde não há medidas de condutividade.

Visando a caracterização química das águas subterrâneas, foram extraídos dados de Dureza Total e Alcalinidade de análises químicas existentes e calculados valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Resíduo Seco (Rs) a partir da condutividade elétrica. Seus valores encontram-se na tabela 4.

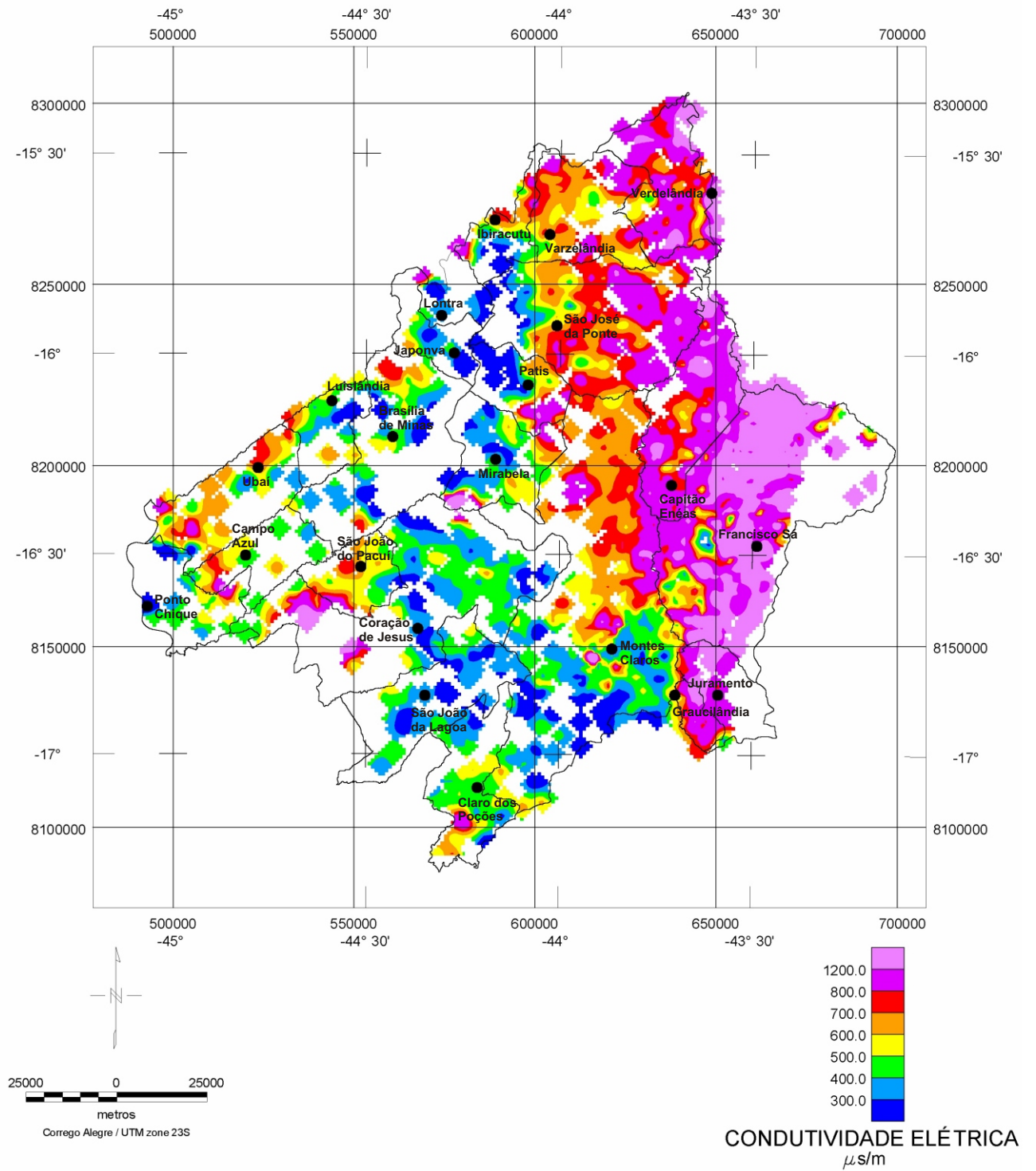


Figura 8 - Mapa de distribuição de condutividade elétrica.

Tabela 4 - Valores mínimos, médios e máximos de STD, Dureza Total, Alcalinidade e Resíduo Seco, por tipo aquífero.

Aquíferos	Valores	STD (mg/L)	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidade (mg /LCaCO ₃)	Resíduo Seco (mg/L)
Cárstico	Máximo	6.052,5	1.276,00	480,00	4.664,74
	Médio	711,25 (2.006)	318,48 (52)	262,62 (56)	547,81(2009)
	Mínimo	24,0	45,70	63,40	18,5
Fissurado-Cárstico	Máximo	1.269,10	567,90	420,00	1.745,52
	Médio	363,64 (689)	194,14 (74)	220,93 (79)	316,25(693)
	Mínimo	2,22	6,30	23,10	1,92
Fissurado	Máximo	2.245,50	266,10	258,90	-
	Médio	839,65 (15)	172,90 (3)	199,63 (3)	-
	Mínimo	195,00	53,6	137,00	-
Granular	Máximo	390,78	275,47	295,96	-
	Médio	234,15 (7)	221,79 (3)	206,35 (3)	-
	Mínimo	56,62	149,90	115,10	-

(Nº de dados utilizados no cálculo da média)

Os sólidos totais dissolvidos correspondem à concentração de todo material dissolvido na água, seja volátil ou não. Os valores de STD, apresentados na tabela 4, foram calculados através da relação com a condutividade elétrica "in loco" (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1976), expressa por:

$$\text{STD} = \text{Condutividade Elétrica } (\mu\text{/cm}) / F$$

Onde "F" corresponde ao fator calculado a partir das análises químicas existentes, utilizando os valores de STD e condutividade de laboratório, separados por aquíferos. Obteve-se, então, para o cárstico um fator "F" igual 1,33 (média de 11 valores) e 1,43 para o fissurado-cárstico (média de 14 valores). Por não haver análises químicas para os sistemas fissurado e granular suficientes para se obter fatores "F" representativos, foi utilizado $F=1,37$ que corresponde à média entre 1,33 e 1,43, referentes aos fatores encontrados para os aquíferos cárstico e fissurado-cárstico. A tabela 4 mostra valores médios de STD iguais a 711,25mg/L, 363,64mg/L, 839,65mg/L e 234,15mg/L, para os sistemas cárstico, fissurado-cárstico, fissurado e granular, respectivamente.

O resíduo seco (Rs) equivale ao peso dos sais resultantes da evaporação de 1 litro d'água após filtragem para a remoção de materiais em suspensão. Foi calculado utilizando os valores de condutividade elétrica "in loco",

através da expressão (CUSTÓDIO; LLAMAS, *op. cit.*):

$$R_s = \text{Condutividade Elétrica } (\mu\text{/cm}) / F$$

Onde "F", refere-se ao fator médio encontrado para os aquíferos cárstico e fissurado-cárstico, através das análises de laboratório. Com a fórmula do resíduo seco: $R_s = \Sigma \text{cátions} + \Sigma \text{ânions} - 1/2\text{HCO}_3$, obteve-se os valores de R_s para cada análise existente, separadas por aquífero e, juntamente com a condutividade de laboratório, pôde-se calcular os fatores "F", sendo: $F_{\text{cárstico}}=1,73$ (média de 14 valores) e $F_{\text{fissurado-cárstico}} = 1,65$ (média de 10 valores). A determinação do resíduo seco para os aquíferos fissurado e granular não foi possível, devido à inexistência de análises químicas para a obtenção de R_s e dos fatores $F_{\text{fissurado}}$ e F_{granular} .

A dureza representa a capacidade da água em neutralizar o sabão pelo efeito da presença, principalmente, de cálcio e magnésio, ou de outros elementos como ferro, manganês, etc. Os dados de dureza apresentados na tabela 4 correspondem a dureza total extraída das análises químicas. Águas do sistema aquífero cárstico apresentam média de dureza total equivalente a 318,48mg/L de CaCO₃, enquanto no fissurado-cárstico é de 194,14mg/L de CaCO₃. Os sistemas fissurado e granular exibem, respectivamente, valores médios de dureza total de 172,90mg/L de CaCO₃ e 221,79mg/L de CaCO₃.

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 mais elevada, exibindo valor médio igual a 262,62mg/L. A alcalinidade média do sistema fissurado-cárstico é de 220,93mg/L, do fissurado de 199,63mg/L e do granular de 206,35mg/L.

Planilhas contendo os principais dados químicos, físico-químicos e organolépticos são

apresentadas no anexo 2. A descrição dos parâmetros analisados quanto aos limites permitidos de potabilidade, origem, inconveniente/toxicidade e formas de tratamento encontra-se apresentada no anexo 3.

Quanto aos parâmetros físicos e organolépticos da água, avaliou-se, a turbidez e a cor, juntamente com ferro total, manganês e nitrato. Esses dados são apresentados nos itens a seguir que tratam da contaminação e qualidade da água em função da natureza do uso.

10. Contaminação da Água Subterrânea

Entende-se por água contaminada, aquela que possui organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas, em teores prejudiciais à saúde do homem. Por outro lado, o conceito de água poluída leva em consideração o tipo de uso ao qual será destinada, podendo a água ser considerada poluída para um determinado fim, e ainda assim, ser útil para outro uso, desde que não afete a saúde do homem (Feitosa & Filho, 1997).

Os aquíferos mais propensos à contaminação correspondem aos sistemas granulares, devido à facilidade de infiltração de águas superficiais contaminadas, em decorrência da alta permeabilidade, fator este agravado pela pequena profundidade do nível da água. Os aquíferos cársticos exibem alta vulnerabilidade nas regiões de afloramento, principalmente onde há sumidouros, dolinas ou fendas nas rochas (foto 8).

Os sistemas aquíferos cárstico, fissurado-cárstico e/ou fissurado quando sotopostos a uma seqüência metapelítica ou espessa camada de depósitos de cobertura ou manto de alteração, mostram-se mais protegidos em virtude da possibilidade de atenuação e mesmo remoção dos contaminantes durante a infiltração.

O risco potencial de contaminação dos aquíferos foi avaliado com base nas características construtivas e de manutenção dos poços, portanto, levou-se em consideração o poço como veículo de contaminantes até o aquífero. 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 ou presença de orifício na mesma e espaço anelar não preenchido (foto 9). Poços com risco potencial alto referem-se aqueles que exibiam algum desses problemas, mas mostravam-se cercados ou possuíam laje de concreto (foto 10). 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 (foto 11). 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 12).

Com base nessas características, verificou-se que 3,8% dos poços públicos encontravam-se sob potencial de risco de contaminação muito alto, devido principalmente à irregularidade na desativação e abandono dos poços (fotos 13, 14 e 15). Sob risco alto, identificaram-se 6,8% dos poços, sob risco médio 53,8% e sob risco potencial baixo 35,7% dos poços. A situação dos poços privados é um pouco mais preocupante, pois 4,6% estão sob risco muito alto e 7% sob risco alto, cerca de 63% encontram-se sob risco médio e 25,3% dos poços sob risco baixo. A figura 9 ilustra a proporção das situações potenciais de risco apresentadas nos poços da microrregião de Montes Claros e a figura 10 os riscos potenciais dos poços públicos e privados.

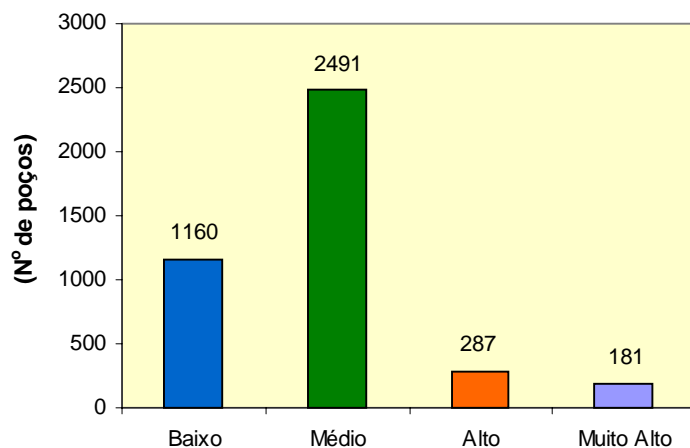


Figura 9 - Risco potencial de contaminação dos aquíferos por meio dos poços tubulares da microrregião.

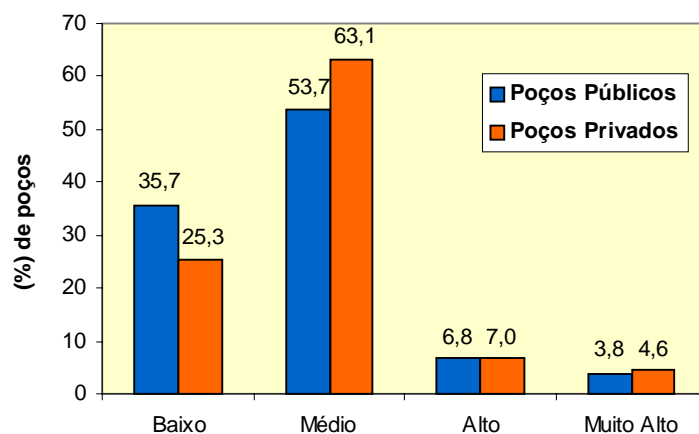


Figura 10 - Risco potencial de contaminação dos aquíferos por meio de poços tubulares públicos e privados.

A contaminação por atividades domésticas compreende a introdução no aquífero de compostos de natureza orgânica e biológica originados 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 estas (foto 16). A existência de contaminação por rompimentos da rede de esgoto e por fossas na sede municipal, apesar de não constatada, é de ocorrência possível.

As atividades de pecuária constituem, na microrregião, a principal fonte potencial para contaminação das águas subterrâneas por fezes animais. Grande número de poços foi

encontrado nas proximidades de currais, pocilgas, granjas ou em áreas de pastagens (fotos 17, 18 e 19).

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 de animais) e inorgânicos (à base de nitratos, fosfatos e potássio); 3) emprego de agrotóxico (inseticidas, herbicidas, praguicidas, etc) e 4) aplicação de compostos para corrigir o solo (foto 20).

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 postos de gasolina. Na sede do município de Montes Claros foram observadas algumas situações de risco de contaminação por óleos, graxas e detergentes resultantes da lavagem de veículos. Na zona rural da microrregião, foram encontrados compressores localizados muito próximos aos poços, com óleo derramado no solo ao seu redor.

Os poços tubulares 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 (fotos 21, 22 e 23). Nesta situação enquadram-se 440 poços, que correspondem a aproximadamente 10% dos poços cadastrados.

Os poços mal construídos são encontrados, em grande parte, com o espaço anelar não preenchido, outras vezes sem laje de proteção sanitária, resultando em desmoronamento da parede do poço ou solapamento próximo ao revestimento. Os poços abandonados, de maneira geral, não recebem o tratamento recomendado que consiste na selagem com material impermeável ou cimento. São encontrados em várias situações, tais como: com a bomba em seu interior; com tampa de madeira ou de metal (soldada ou não); com cobertura de plástico ou borracha; destampados; preenchidos com areia ou cascalho e com evidências de solapamento das paredes laterais pela infiltração e percolação da água superficial ao longo do revestimento. Dessa maneira, servem de veículo para todo tipo de contaminante, desde resíduos tóxicos até animais mortos e dejetos.

11. O Uso da Água Subterrânea

A água subterrânea vem se destacando, nos últimos anos, como uma importante fonte alternativa de abastecimento, e em muitas localidades na microrregião de Montes Claros, a única fonte para o consumo humano, des-

sedentação animal e irrigação. Esse fato reflete-se na intensificação das perfurações, de tal forma que 41% dos poços cadastrados (959 poços) com indicação do ano de perfuração, foram construídos a partir de 1995 (figura 11).

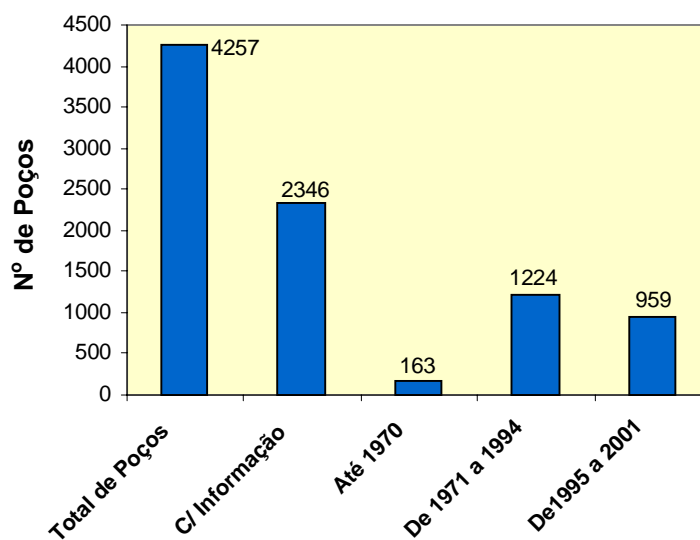


Figura 11 - Data das perfurações dos poços tubulares.

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.

As modalidades de usos tais como, dessedentação animal, doméstico e irrigação, representam, nesta ordem, a busca pelo recurso hídrico subterrâneo no âmbito do setor privado, enquanto no setor público, os poços em operação visam atender principalmente o uso doméstico e dessedentação animal. Usos no comércio, indústria e lazer, ocupam posições subordinadas (figura 12).

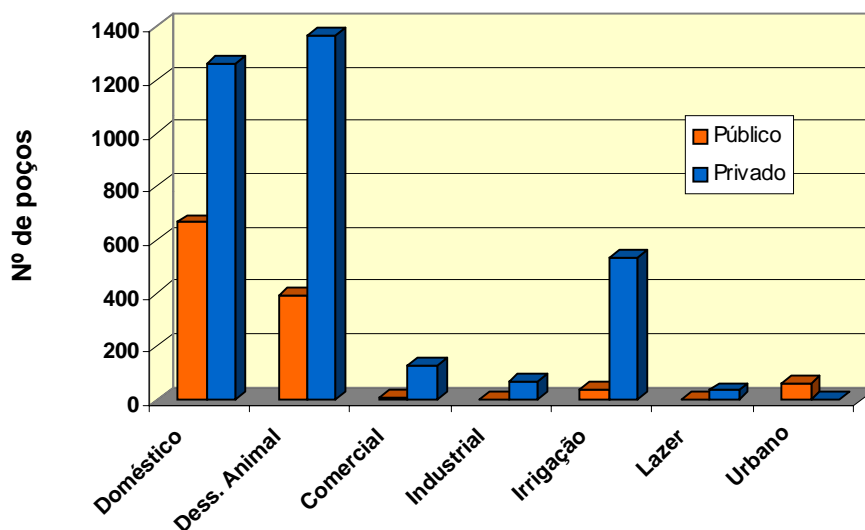


Figura 12 - Modalidades de usos da água subterrânea nos setores público e privado.

Regiões com maior potencial hidrogeológico, em especial aquelas inseridas no domínio de terrenos cársticos, têm no recurso subterrâneo, uma fonte potencial importante, correspondendo-se às regiões de maior concentração antrópica e onde se percebe maior desenvolvimento socioeconômico. Neste contexto estão inseridos, principalmente, os municípios de Montes Claros, Francisco Sá e Capitão Enéas.

O aproveitamento dos aquíferos granulares é feito comumente através de poços escavados. Apesar dessa forma de captação não ter sido cadastrada neste trabalho, é bastante comum na região. Poços tubulares são raramente encontrados nas chapadas, onde as espessuras das coberturas sedimentares são mais expressivas, podendo chegar a 100m, por isso são regiões onde as perfurações profundas são evitadas, já que o custo das obras é elevado. Quanto aos sistemas aquíferos fissurado-cárstico, cárstico e fissurado, a forma de captação mais comum consiste de poços tubulares. Na sua maioria, os poços atravessam o material de cobertura e a seqüência metapelítica, captando água exclusivamente do sistema cárstico ou do fissurado-cárstico sotoposto.

Na zona rural, o recurso subterrâneo é utilizado basicamente para abastecimento doméstico, dessedentação animal e irrigação. Nos

períodos chuvosos, vários poços são temporariamente 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 o Consumo Humano

A avaliação da qualidade da água para o consumo humano baseia-se na portaria nº 1.469 de 29 de dezembro/2000, do Ministério da Saúde, que estabelece limites de potabilidade em relação a diversos parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e radiológicos.

Os parâmetros acima dos limites de potabilidade, que ocorrem com maior frequência nas análises existentes são: cor, turbidez, ferro, e manganês. Os resultados de análises bacteriológicas foram inseridas no banco de dados, porém, não foram consideradas aqui por se tratar de análises antigas. A figura 13 ilustra as proporções dos parâmetros acima dos limites de potabilidade.

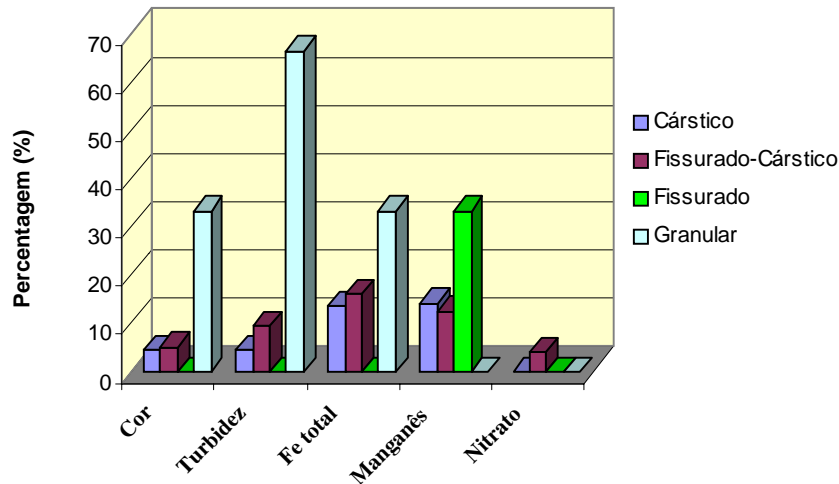


Figura 13 - Percentual dos parâmetros que estão acima dos padrões de qualidade para consumo humano.

A má qualidade das águas, relativamente a esses parâmetros, 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 do poço.

Alto teor de ferro em água subterrânea, pode ser decorrente da presença de minerais ferromagnesianos, ocorrência de ferrobactérias ou à corrosão do revestimento e/ou do filtro. 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. A turbidez representa a dificuldade da água em transmitir a luz, devido à contaminação por sólidos em suspensão (silte, argila, matéria orgânica, entre outros).

Concentrações de nitrato, nitrito, cloreto, sulfato, fluoreto, dureza e STD são relativamente baixas. Entretanto, nos municípios de Luislândia, Coração de Jesus e São João do Pacuí, há poços com teores de fluoreto bem acima do limite aceitável para o consumo humano, o que é considerado grave diante do efeito prejudicial à saúde. Os poços com problemas de fluoreto podem ser identificados no banco de dados pelas siglas: LUI – 14 e LUI – 17 (Luislândia), COJ - 99 (Coração de Jesus) e SPA – 98 (São João do Pacuí).

11.2. Uso Agrícola e da 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 do diagrama elaborado pelo programa QUALIGRAF (MOBUS, 2002) para os aquíferos cárstico e fissurado-cárstico (figura 14 A e B), respectivamente, permite prever as suas aptidões para o cultivo.

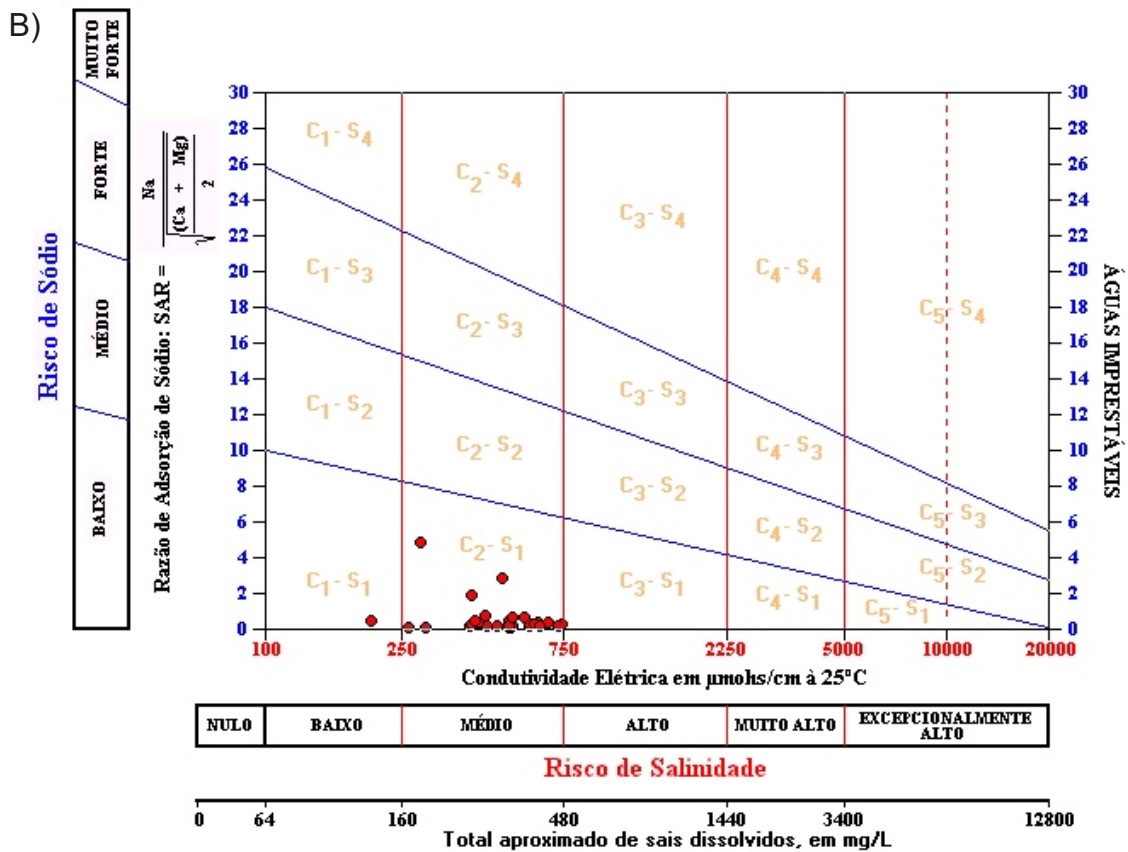
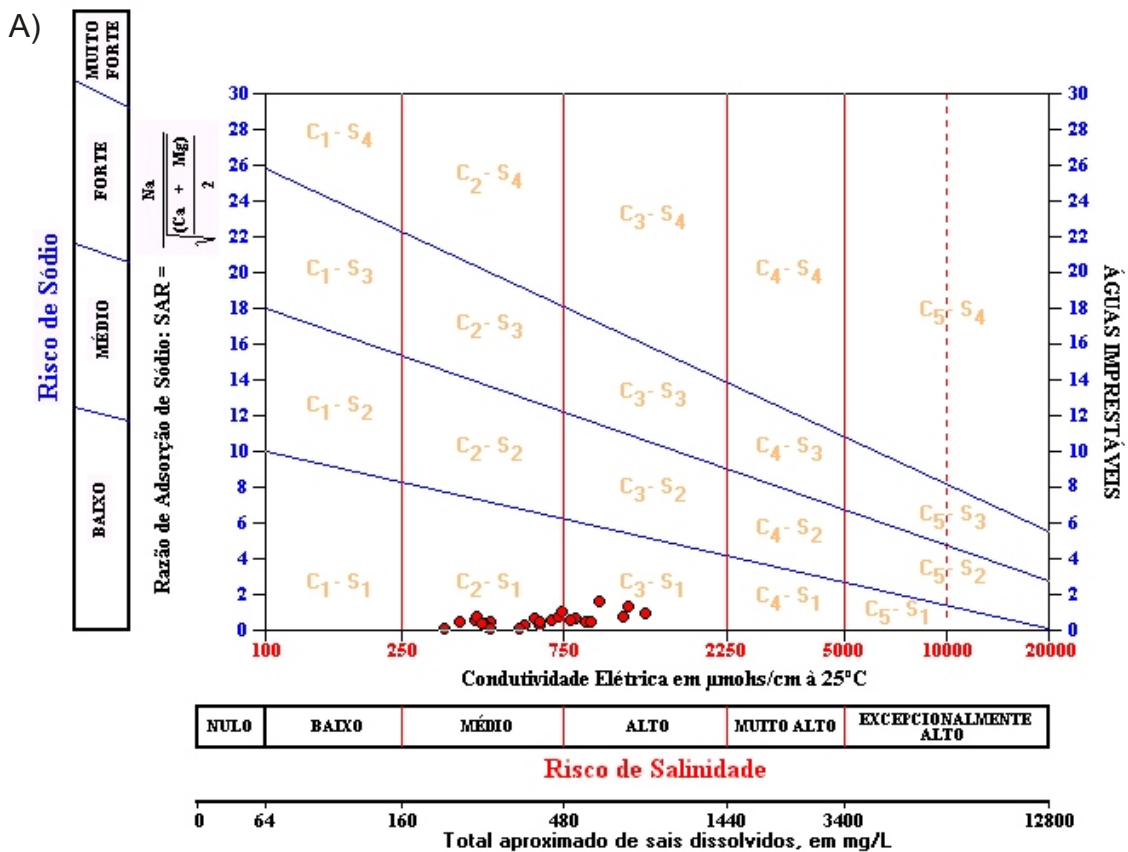


Figura 14 - Diagrama de Wilcox para os aquíferos A) cárstico e B) fissurado-cárstico.

A maioria das amostras, em ambos diagramas, possui baixa razão de sódio e risco médio de salinização, exibindo condutividade elétrica média entre 250 e 750 μ S/cm a 25°C, referente ao campo C2-S1. Em relação ao uso agrícola, isto significa que estas águas devem ser usadas com precaução, de preferência em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver moderada lixiviação do solo. O cultivo de plantas fracamente tolerantes aos sais, pode ser feito, na maioria dos casos, sem exigência de controle rígido.

O aquífero cárstico exibe um considerável número de amostras no campo C3-S1, onde o risco de sódio é baixo, mas o de salinidade é alto, com valores de condutividade elétrica entre 750 e 2.250 μ S/cm a 25°C. Nesse caso, as águas só podem ser utilizadas em solos bem drenados, tomando sempre o cuidado para se evitar a salinização. Apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados. O fissurado-cárstico apresenta quase a totalidade das amostras no campo C2-S1, com apenas uma no campo C1-S1, o que indica riscos baixos de sódio e salinidade.

Segundo Logan, (1965; *apud* FEITOSA; FILHO, 1997), a água é considerada boa para o consumo animal se o valor de sólidos totais dissolvidos for menor ou igual a 2.500mg/L, entretanto, o gado pode consumir água com valor de STD até 5.000mg/L. De acordo com os dados obtidos, há somente restrição, para a água do poço localizado no bairro Jardim Liberdade em Montes Claros, identificado no banco de dados pela sigla MOC-995. Este poço apresentou valor de 6.052,50mg/L,

correspondendo ao valor máximo de STD encontrado, sendo também provável que esta água não seja adequada para regar plantas, uso constatado na visita.

A classificação da água para o consumo animal, levando em consideração o resíduo seco, determina que, se a concentração estiver entre 7.800 a 9.375mg/L, a água é suportável pelo gado (FEITOSA; FILHO, 1997). O valor máximo de resíduo seco encontrado nas águas estudadas é igual a 4.664,74mg/L, teor bem inferior aos limites acima sugeridos, não havendo portanto, nenhuma restrição quanto a esse parâmetro.

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, procurou-se determinar a agressividade, a neutralidade ou a incrustabilidade da água, para os aquíferos cársticos e fissurado-cárstico, a partir do cálculo do índice de estabilidade de carbonato de cálcio que se utiliza dos valores de pH de laboratório, da temperatura e da alcalinidade total.

Dessa forma, utilizou-se, a classificação de Custódio; Llamas, 1976 (*apud* FEITOSA; FILHO, 1997), que se baseia nos valores do índice de estabilidade do carbonato de cálcio (índice de Ryznar), para 39 análises referentes ao sistema cárstico e 48 ao sistema fissurado-cárstico. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na tabela 5, abaixo:

Tabela 5 - Índice de Estabilidade de Ryznar para amostras de águas dos sistemas cárstico e fissurado-cárstico.

IE (Índice de Ryznar)	Classificação	Nº de amostras (Cárstico)	Nº de amostras (Fissurado-Cárstico)
4,0 – 5,0.	Muito Incrustante	0	2
5,0 – 6,0	Moderadamente Incrustante	6	9
6,0 – 7,0	Pouco Incrustante ou Agressiva	22	23
7,0 – 7,5	Agressiva	4	9
7,5 – 9,0	Francamente Agressiva	6	3
> 9,0	Muito Agressiva	2	2

Como observado no quadro acima, há predomínio de águas pouco incrustantes ou pouco agressivas para ambos os sistemas aquíferos estudados, os quais, de um modo geral, mostram semelhanças em termos do índice de estabilidade de Ryznar. 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 total, alcalinidade e resíduo seco, grande parte das águas dos aquíferos cárstico e fissurado-cárstico não se adequam aos requisitos exigidos para os diversos tipos de indústrias, em decorrência da maioria dos valores estarem acima dos padrões recomendados de acordo com os

critérios propostos por Mathess, 1982; Szikszay, 1993; Driscoll, 1986 (*apud* FEITOSA; FILHO, *op. cit.*). O emprego extensivo das águas destes dois tipos aquíferos requer a adoção de técnicas de abrandamento.

Vale destacar que o ferro e o manganês apresentam-se, para ambos os aquíferos, acima dos limites industriais aceitáveis, para a maioria das análises, sendo a indústria de papel a mais exigente. É oportuno salientar que, em muitos casos, essas concentrações decorrem de problemas construtivos e operacionais, já que não são elementos abundantes nos aquíferos, em especial nos cárstico e fissurado-cárstico. Portanto, espera-se que poços corretamente construídos apresentem valores menores, permitindo o uso industrial mais abrangente.

12. Diagnóstico Atual da Exploração de Água Subterrânea

Foram cadastrados durante a etapa de campo um total de 4.159 poços tubulares profundos, sendo 3.085 pertencentes ao setor privado e 1.172 ao setor público. Atualmente, 3.250 poços são ativos, 359 não instalados, 331 desativados, 161 são considerados improdutivos ou secos, 130 foram abandonados e 26 poços não possuem informação. Cabe ressaltar que do total cadastrado, ou seja constante no banco de dados, 98 referem-se a poços não visitados, cujas informações foram extraídas de bibliografia, não possibilitando portanto, identificar a situação atual dos mesmos. A figura 15 A e B apresenta as proporções da situação atual dos poços para os setores público e privado, respectivamente.

Poços não instalados 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 aos que chegaram a produzir água durante um determinado período e por algum motivo tiveram sua produção paralisada, mas são passíveis de reativação. Os designados como abandonados, são aqueles cuja 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. Por fim, poços sem informação referem-se àqueles obtidos de fontes bibliográficas e não visitados, além dos visitados, mas sem obtenção de dados.

O aquífero cárstico é o mais explorado com 2.833 poços, sendo 2.243 ativos, 238 desativados, 218 tamponados, 91 abandonados, 28 secos e 15 não definidos. No sistema fissurado foram cadastrados 24 poços, sendo que 16 são ativos, 3 poços desativados, 1 tamponado, 2 abandonados e 2 poços sem definição do estado atual. O sistema fissurado-cárstico, com 1.139 poços, 824 são ativos, 76 desativados, 28 abandonados, 107 tamponados, 97 secos e 7 de estado atual indefinido. O sistema granular é captado por 9 poços, destes 7 são ativos, 1 é tamponado e 1 seco. No sistema mixto (granular-cárstico), observou-se 1 poço ativo. No sistema mixto (granular-fissurado-cárstico) com 15 poços, 11 são ativos e 4 tamponados. O restante dos poços, num total de 236, não pôde-se definir o aquífero captado dada à falta de informações, entretanto, 150 são ativos, 12 desativados, 26 tamponados, 7 abandonados, 36 secos e 5 sem definição do estado.

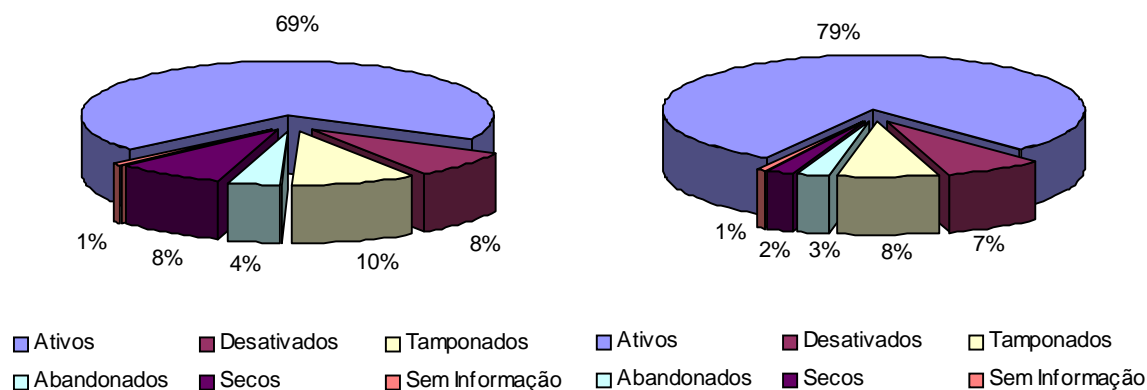


Figura 15 - Diagrama da situação atual dos poços: A) Setor Público e B) Setor Privado.

Na tentativa de mostrar uma visão da exploração de água subterrânea na microrregião de Montes Claros, serão apresentados: gráficos mostrando as proporções de poços perfurados por empresas públicas e privadas (figura 16); número de poços perfurados pelas empresas

públicas e de empresas privadas (figura 17); relação de poços perfurados pelas principais empresas privadas que atuam na região (figura 18) e relação do método de perfuração (figura 19).

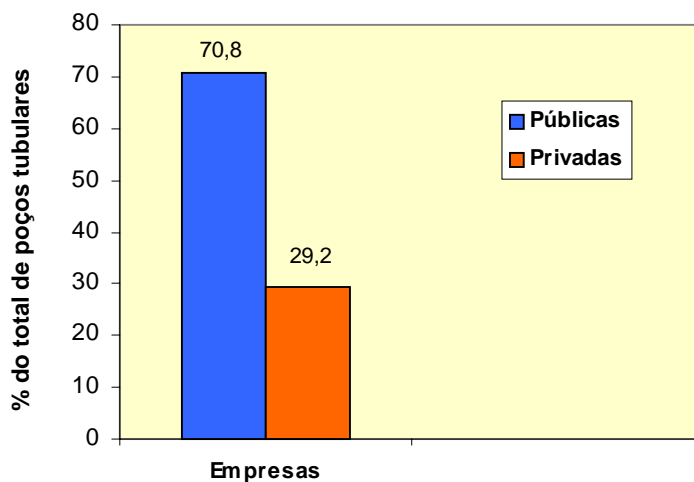


Figura 16 - Relação de poços perfurados por empresas públicas e privadas.

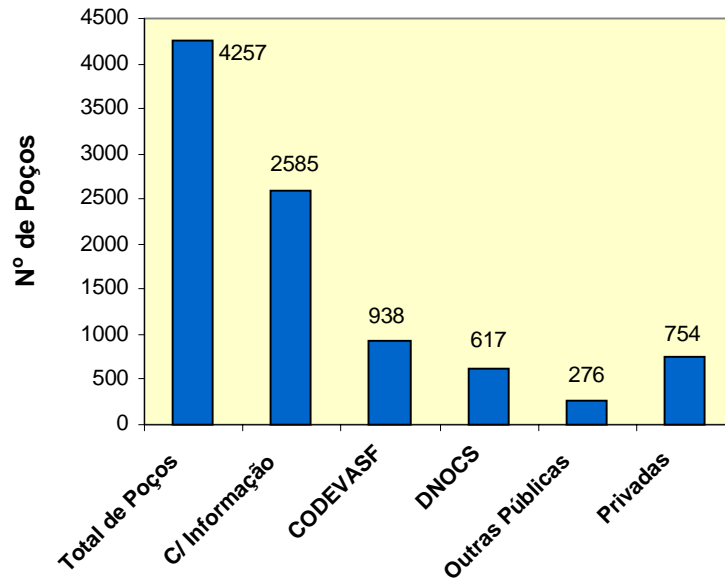


Figura 17 - Número de poços perfurados pelas diversas empresas.

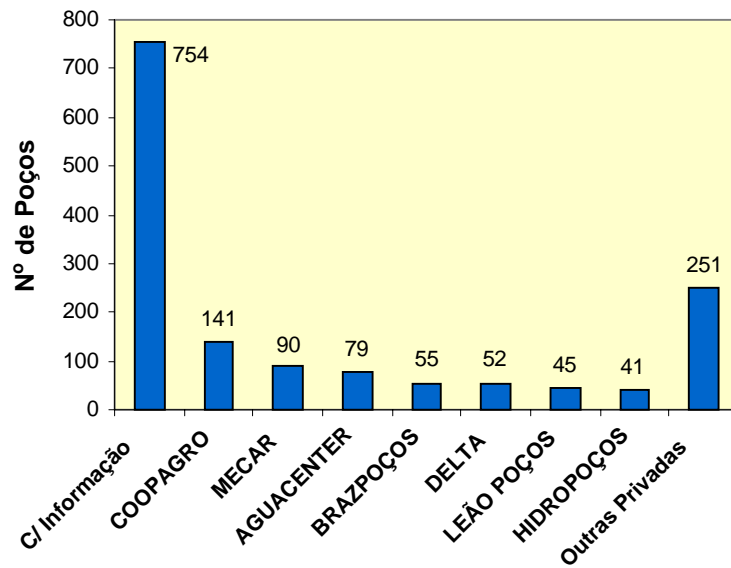


Figura 18 - Número de poços perfurados pelas principais empresas privadas.

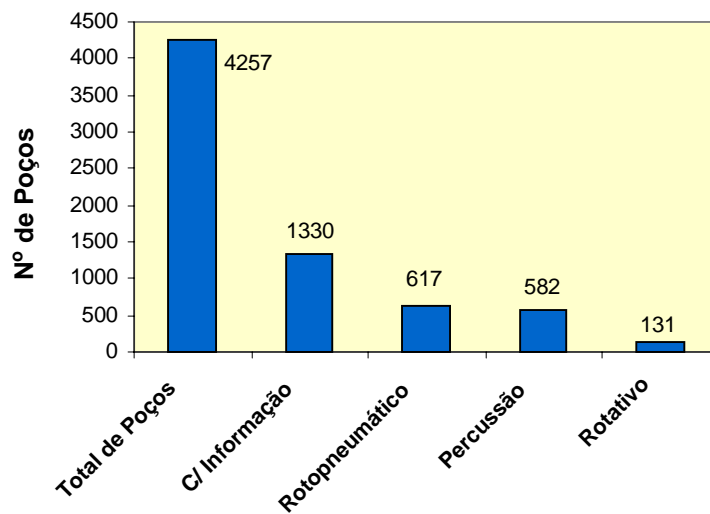


Figura 19 - Métodos de perfuração empregados.

A figura 20 mostra a relação entre o número de poços com suas respectivas profundidades. Dentre um total de 2.374 poços, com informação da profundidade, 70% situam-se numa faixa entre 51 e 100m de profundidade. Essa porcentagem está ligada ao fato da maioria

das empresas de perfuração executarem obras com profundidade mínima de 60m, chamando-se atenção para o fato da demanda ser atendida, na maioria das vezes, a profundidades de até 100m, devido ao sucesso alcançado.

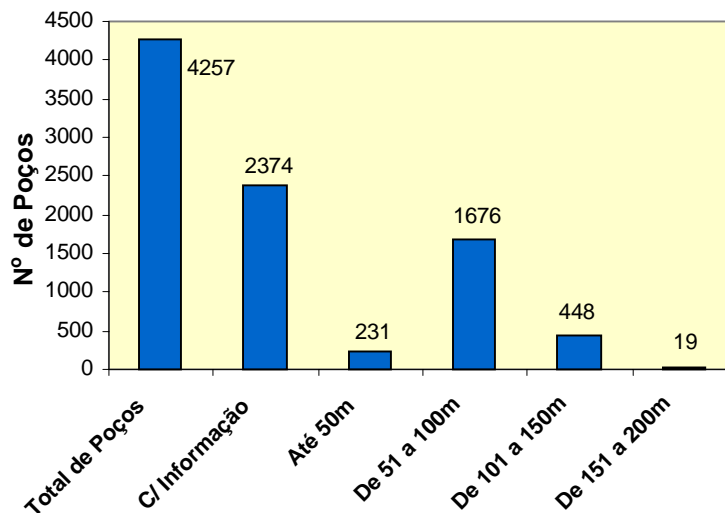


Figura 20 - Relação do número de poços x intervalos de profundidade.

O gráfico da figura 21 apresenta a relação dos intervalos de perfuração com as respectivas médias das vazões (m^3/h) e vazões específicas ($m^3/h/m$). Nota-se um decréscimo nas vazões com o aumento da profundidade ressaltando-se que as maiores vazões estão associadas ao mais baixo inter-valo de profun-

didade. Este fato reflete características de tipos aquíferos de baixa potencialidade, pois, a perfuração somente é concluída quando se obtém a vazão de água necessária a demanda em particular, claro, respeitando os recursos financeiros do contratante dos serviços de perfuração e limites dos equipamentos.

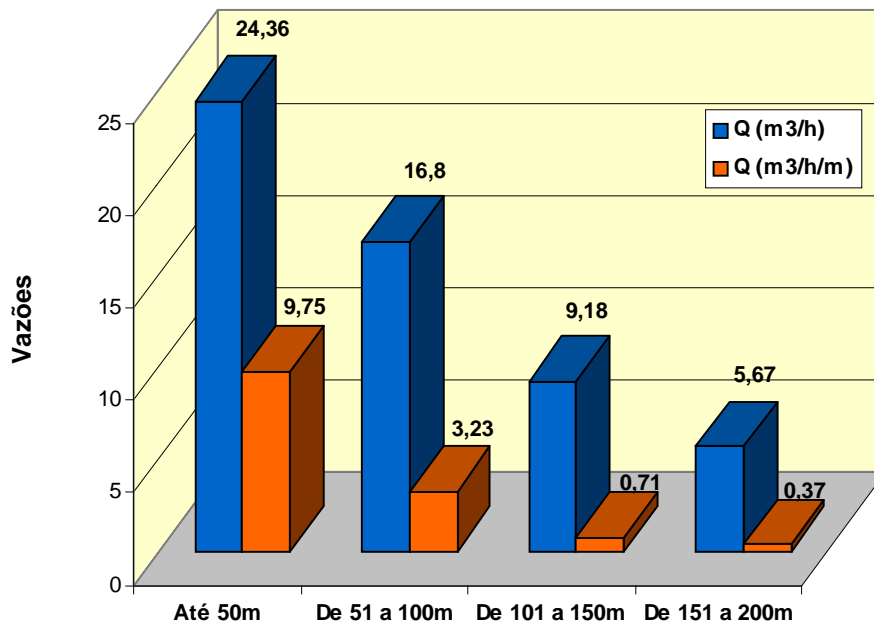


Figura 21 - Relação entre profundidade e médias da vazão e vazão específica dos poços tubulares.

12.1. Avaliação da Demanda Atual e da Disponibilidade de Água Subterrânea

A demanda de água subterrânea para a microrregião foi calculada levando-se em consideração a população das sedes municipais abastecidas por captação subterrânea e captação mista (figura 22), toda a população da zona rural e a totalidade de animais, como bovinos, eqüinos, suínos e galináceos, conforme tabela 6. Na agricultura, foram consideradas as áreas mais expressivas, com culturas permanentes de frutas, como banana, laranja e manga e culturas temporárias de alho, tomate e cebola (tabela 7). Deve-se salientar que outras culturas são desenvolvidas na região, entretanto, não foram consideradas no trabalho por não apresentarem área irrigada definida.

O cálculo da demanda foi realizado a partir da fórmula:

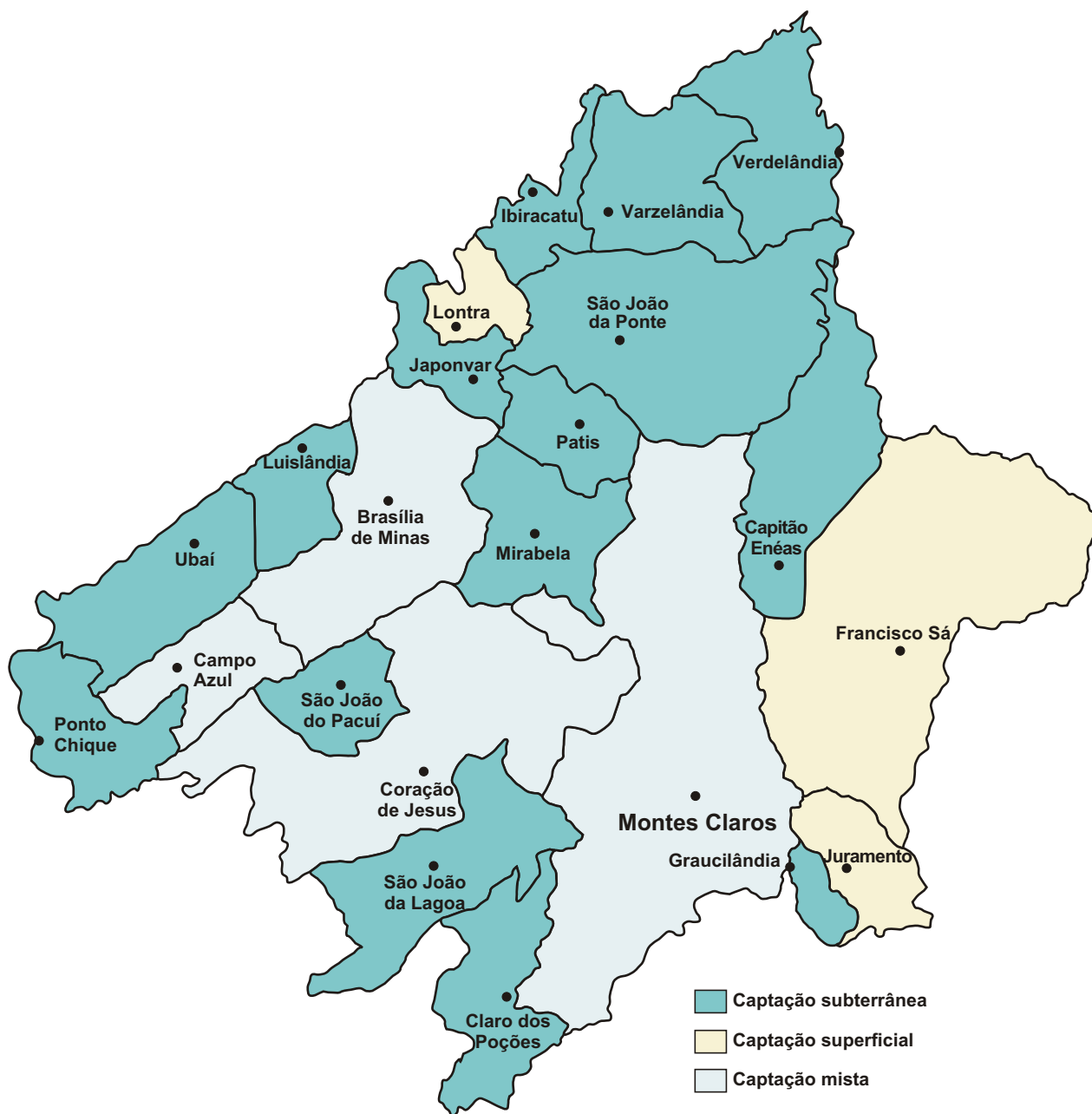
Demanda =

$$\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de habitantes}^* \times \text{consumo/dia} \times 1,5 \times 1,2}{24 \text{ (horas)}}$$

* = n° de habitantes ou n° de animais ou área irrigada

1,5 = fator de proteção para períodos de maior demanda

1,2 = fator de correção para tempo de bombeamento de 16 horas



FONTE: COPASA, 2001.
(*apud* PATRUS et. al. 2001)

Figura 22 - Tipos de captação para o abastecimento das sedes municipais.

Tabela 6 - Estimativa de consumo de água para uso humano e dessedentação animal para cada município.

Município	Área Territorial (km ²)	População / Estimativa do Consumo de Água (m ³ /dia)					Número de Animais / Estimativa de Consumo de Água (m ³ /dia)							
		População Total	Zona Rural		Zona Urbana		Bovinos		Equinos		Galináceos		Suínos	
			População	Demanda	População	Demanda	Cabeças	Demanda	Cabeças	Demanda	Cabeças	Demanda	Cabeças	Demanda
Brasília de Minas	1.400,00	30.266	12.686	2.283	17.580	4.747	38.144	4.120	4.091	295	64.649	41	6.936	187
Campo Azul	506,00	3.574	2.252	405	1.322	357	12.233	1.321	1.043	75	18.501	12	2.692	73
Capitão Enéas	970,00	13.113	3.146	566	9.967	2.691	53.000	5.724	1.900	137	10.550	7	1.050	28
Claro dos Poções	706,00	8.193	3.136	564	5.057	1.365	30.000	3.240	1.500	108	42.500	27	3.360	91
Coração de Jesus	2.236,00	25.729	11.781	2.121	13.948	3.766	63.000	6.804	4.600	331	79.500	50	5.580	151
Francisco Sá	2.749,00	23.562	10.371	1.867	13.191	3.562	11.500	1.242	6.000	432	45.500	29	6.750	182
Glaucilândia	146,00	2.767	2.004	361	763	206	7.000	756	460	33	10.500	7	1.130	31
Ibiracatu	359,00	6.534	3.678	662	2.856	771	18.628	2.012	1.598	115	36.270	23	3.271	88
Japonvar	375,00	8.121	5.544	998	2.577	696	6.403	692	1.012	73	14.950	9	2.089	56
Juramento	430,00	3.901	2.028	365	1.873	506	20.000	2.160	900	65	10.900	7	2.320	63
Lontra	257,00	7.640	2.686	483	4.954	1.338	6.965	752	614	44	11.623	7	1.073	29
Luislândia	425,00	6.121	3.913	704	2.208	596	13.769	1.487	1.434	103	25.289	16	1.227	33
Mirabela	721,00	12.552	3.076	554	9.476	2.559	20.162	2.177	1.562	112	34.816	22	2.868	77
Montes Claros	3.582,00	306.947	17.764	3.198	289.183	78.079	108.000	11.664	6.000	432	1.900.000	1.197	10.300	278
Patis	445,00	5.164	3.130	563	2.034	549	8.794	950	974	70	11.424	7	1.203	32
Ponto Chique	602,00	3.651	1.531	276	2.120	572	14.949	1.614	9.542	687	10.784	7	1.137	31
São João da Lagoa	990,00	4.400	2.472	445	1.928	521	20.500	2.214	1.480	107	19.400	12	1.390	38
São João da Ponte	1.849,00	26.028	18.166	3.270	7.862	2.123	74.645	8.062	4.939	356	111.285	70	9.653	261
São João do Pacuí	421,00	3.664	2.139	385	1.525	412	15.500	1.674	1.250	90	17.700	11	1.840	50
Ubaí	821,00	10.774	6.153	1.108	4.621	1.248	30.139	3.255	26.840	1.932	30.586	19	3.242	88
Varzelândia	790,00	19.169	10.638	1.915	8.531	2.303	54.898	5.929	2.049	148	43.432	27	3.882	105
Verdelândia*	800,00	3.948	1.920	346	2.028	548	23.583	2.547	1.787	129	17.391	11	1.856	50
Total	21.580,00	535.818	130.214	23.439	405.604	109.513	651.812	70.396	81.575	5.873	2.567.550	1.618	74.849	2.021

* Corresponde somente a área do município de Verdelândia que está inserida na microrregião de Montes Claros, referindo-se a 55% da área total do município. Todos os dados foram transformados nesta proporção.
Fonte: IBGE e EMATER - dezembro de 2002.

Tabela 7 - Estimativa de consumo de água para irrigação de culturas agrícolas por município.

Município	Culturas Agrícolas / Estimativa de Consumo de Água (m3/dia/ha)																			
	Alho		Banana		Arroz		Feijão		Laranja		Manga		Milho		Tomate		Cebola		Sorgo	
	Hectares	Demanda	Hectares	Demanda	Hectares	Demanda	Hectares	Demanda	Hectares	Demanda	Hectares	Demanda	Hectares	Demanda	Hectares	Demanda	Hectares	Demanda	Hectares	Demanda
Brasília de Minas	6	405	4	238	0	0	350	15.400	18	940	0	0	2.000	88.000	2	155	0	0	150	6.000
Campo Azul	2	135	1	59	0	0	320	14.080	9	470	0	0	900	39.600	0	0	0	0	0	0
Capitão Enéas	5	338	300	17.820	0	0	1.206	53.064	5	261	0	0	1.100	48.400	0	0	0	0	250	10.000
Claro dos Poções	2	135	25	1.485	10	864	1.420	62.480	4	209	0	0	3.000	132.000	8	619	0	0	0	0
Coração de Jesus	12	810	20	1.188	20	1.728	2.760	121.440	41	2.140	0	0	6.000	264.000	42	3.251	11	743	0	0
Francisco Sá	50	3.375	70	4.158	20	1.728	610	26.840	55	2.871	0	0	3.200	140.800	2	155	8	540	250	10.000
Glaucilândia	0	0	0	0	0	0	665	29.260	4	209	0	0	1.000	44.000	2	155	0	0	0	0
Ibiracatu	0	0	10	594	0	0	120	5.280	8	418	0	0	200	8.800	0	0	0	0	0	0
Japonvar	2	135	2	119	0	0	540	23.760	8	418	0	0	1.000	44.000	0	0	0	0	0	0
Juramento	15	1.013	5	297	0	0	655	28.820	5	261	0	0	1.400	61.600	2	155	1	68	0	0
Lontra	12	810	12	713	0	0	120	5.280	0	0	2	104	300	13.200	0	0	0	0	0	0
Luislândia	2	135	1	59	0	0	160	7.040	7	365	3	157	500	22.000	0	0	0	0	30	1.200
Mirabela	2	135	10	594	0	0	560	24.640	40	2.088	0	0	1.000	44.000	1	77	0	0	0	0
Montes Claros	10	675	185	10.989	50	4.320	2.350	103.400	55	2.871	120	6.264	6.300	277.200	14	1.084	9	608	0	0
Patis	0	0	10	594	0	0	100	4.400	17	887	0	0	2.500	110.000	0	0	0	0	0	0
Ponto Chique	2	135	8	475	0	0	214	9.416	10	522	8	418	1.800	79.200	2	155	0	0	0	0
São João da Lagoa	2	135	50	2.970	0	0	1.020	44.880	10	522	12	626	1.000	44.000	0	0	0	0	0	0
São João da Ponte	15	1.013	48	2.851	0	0	300	13.200	37	1.931	0	0	1.000	44.000	1	77	0	0	0	0
São João do Pacuí	2	135	5	297	0	0	640	28.160	12	626	0	0	1.200	52.800	0	0	0	0	0	0
Ubaí	10	675	16	950	0	0	850	37.400	20	1.044	10	522	1.850	81.400	0	0	0	0	0	0
Varzelândia	4	270	28	1.663	30	2.592	2.350	103.400	20	1.044	0	0	3.000	132.000	1	77	0	0	60	2.400
Verdelândia*	0	0	603	35.818	0	0	121	5.324	0	0	0	0	357	15.708	47	3.638	0	0	55	2.200
Total	155	10.463	1.918	83.932	130	11.232	17.431	766.964	385	20.097	155	8.091	40.607	1.786.708	124	9.598	29	1.958	795	31.800

* Corresponde somente a área do município de Verdelândia que está inserida na microrregião de Montes Claros, referindo-se a 55% da área total do município. Todos os dados foram transformados nesta proporção.

Fonte: IBGE e EMATER - dezembro de 2002.

Na tentativa de estabelecer a estimativa da disponibilidade atual (número de poços ativos vezes a vazão média) e a possibilidade de expansão do volume explotado de água, a partir da reativação de poços desativados e tamponados, foi elaborada a tabela 8. Os setores público e privado, em conjunto, poderão aumentar a disponibilidade de água

em até 21,06%, caso os poços desativados e tamponados sejam colocados em produção. Ressalta-se que a disponibilidade está sendo tratada como a capacidade potencial de produção de todos os poços ativos não sendo consideradas as reservas dos aquíferos, cuja determinação requer estudos mais detalhados.

Tabela 8 - 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	805	23,12	18611.6	211	23.12	4878.32	26,21
Setor Privado	2447	23,12	56574.64	474	23.12	10958.88	19,37
Total	3252	-	75186.24	685	-	15837.2	21,06

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

Levando-se em consideração as demandas para o abastecimento da população rural e urbana, dessedentação animal e irrigação (tabelas 6 e 7), temos que a demanda diária total de água para a microrregião é de 2.973.740m³/dia.

A produção potencial dos 3.252 poços ativos, considerando vazão média de 23,12m³/h, é equivalente a 75.186,24m³/h (tabela 8), logo a produção diária é de 1.804.470m³/dia, correspondendo a 60% da demanda total na área. O volume diário relativo à disponi-

bilidade potencial de produção de poços desativados e tamponados é de 380.093m³/dia, o que representaria um acréscimo de 13% para atendimento da demanda atual, caso estes poços fossem colocados em produção.

Reitera-se que o bombeamento de poços tubulares profundos em regime de 24h/dia ou 16h/dia, de forma sustentável, requer um estudo de avaliação das reservas subterrâneas e deve estar em concordância com os processos de gestão estabelecidos.

13. Conclusões

- A intensificação das perfurações, a partir de 1995 (figura 11), deve-se, em parte, ao aumento das áreas irrigadas, principalmente no setor de fruticultura, sendo a cultura da banana a mais intensa e com maior consumo de água.
- O sistema aquífero cárstico, com 2.243 poços em produção, é o mais explorado e sua ocorrência condicionou a formação das principais concentrações populacionais, o desenvolvimento de intensa atividade pecuária e de extensas áreas de cultivo. Esse fato deve-se ao potencial do sistema aquífero de armazenar maiores volumes de água e à facilidade de captação a menores profundidades.
- O sistema fissurado-cárstico, com 824 poços ativos, apresenta, com certa frequência, poços com boa vazão. Na área de sua ocorrência, a pecuária é a atividade principal, enquanto a agricultura é somente de subsistência.
- O sistema fissurado, com 16 poços ativos, é caracterizado como um sistema de baixo fornecimento de água, apropriado para o abastecimento de pequenas comunidades rurais, onde se desenvolve a pecuária e agricultura de subsistência.
- Os aquíferos granulares e mistos (granular-cárstico e granular-fissurado-cárstico), com 19 poços ativos, atendem a pequenas comunidades rurais.
- Os sedimentos aluvionares apresentam boas características para a circulação e armazenamento de água, tendo expressiva ocorrência na microrregião, principalmente, às margens do rio Verde. Apesar do bom potencial, são pouco utilizados.
- Grande parte das águas do sistema cárstico são classificadas como bicarbonatadas cálcicas (25 amostras), mas, de forma subordinada ocorrem águas clorosulfatadas-cálcicas (2 amostras) e mista (1 amostra). As águas do sistema fissurado-cárstico são, também, predominantemente bicarbonatadas-cálcicas (27 amostras), estando presentes águas bicarbonatadas-sódicas (2 amostras), mistas (2 amostras) e sulfatada magnesiana (1 amostra). No sistema fissurado, a única amostra analisada apresenta água bicarbonatada mista.
- Com base nas características construtivas e de manutenção, verificou-se que 3,8% dos poços públicos encontravam-se sob risco potencial muito alto de contaminação, 6,8% sob risco alto, 53,8% sob risco médio e sob risco baixo, 35,7% dos poços. Quanto ao setor privado, 4,6% dos poços mostravam-se sob risco muito alto de contaminação e 7% sob risco alto, 63% encontram-se sob risco médio e 25% dos poços sob risco baixo.
- 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 e adubos nas áreas de cultura é especialmente preocupante em vista da toxicidade destes compostos e à dificuldade de remoção do solo e principalmente do aquífero, quando atingido.

- A qualidade da água subterrânea, determinada com base na análise físico-química de 61 poços, não indica, de modo geral, restrição para o uso agrícola ou da pecuária. No entanto, para 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 1469/2000 do Ministério da Saúde. As análises bacteriológicas não foram utilizadas no presente relatório por serem antigas, não representando a realidade atual.
- O volume de água atualmente utilizada é de 2.973.740m³/dia, correspondente a uma estimativa mínima da demanda para abastecimento doméstico, urbano, pecuária e irrigação. Cerca de 60% desse volume é captado de poços tubulares profundos. Avalia-se que a partir da reativação dos poços tamponados e desativados o volume de água a ser explotado poderá ser expandido em até 13% da demanda total.

14. Recomendações

- Para se evitar que os mananciais de água subterrânea sejam contaminados deve-se adotar as seguintes medidas de precaução (CETESB, 1987; DACACH, 1979 e LEVES et al., 1988):
 - Afastamento adequado dos possíveis focos de contaminação, observando-se as distâncias mínimas de:
 - Fossas secas, tanques sépticos, linhas de esgoto: 15 metros;
 - Poços absorventes, linhas de irrigação subsuperficial, estábulos e currais: 30 metros;
 - Fossas negras (solução conde-nada): 45 metros;
 - Depósitos de lixo e estrumeiras: 15 metros;
 - Localização do fundo das fossas secas e dos poços absorventes : 2 a 3 metros acima do lençol freático.
 - Localização das instalações de esgotamento sanitário, depósitos de lixos, currais e estábulos em cota mais baixa que a fonte ou poço;
 - Construção de valetas diversoras de águas de enxurrada;
 - Construção de cercados, a uma distância mínima de 30 metros da fonte ou poço, para impedir o acesso de animais;
 - Proteção da tomada de água de fonte por intermédio de caixas cobertas e fechadas. Manter os poços (cisternas) cobertos e com revestimento impermeável até cerca de 3 a 4 metros de profundidade, prolongando-se no mínimo 50 centímetros acima do solo;
 - Retirada da água por tubulação;
 - A fim de evitar entrada de águas externas (p.ex. no caso de ocorrer transbordamento de um curso d'água), o tubo de revestimento deve sobressair no mínimo 0,50m 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.

- 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, o fornecimento ao cliente de relatório de perfuração contendo os dados construtivos, perfil litológico, planilha de teste de bombeamento, medidas dos níveis estático e dinâmico e vazão de teste.

15. Referências Bibliográficas

ALKMIM, F. F.; MARTINS NETO, A. M. *A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos*. *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 9-30-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

AMARAL, G.; KAWASHITA, K.. *Determinação da idade dos grupos Bambuí e Paranoá na Serra de São Domingos*. In: SBG, CONG. BRAS. GEOL., 21, Curitiba, **Anais**, p. 214-217, 1967, *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 9-30-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

APPELO, C. J. A., POSTMA D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Netherlands, A. A. Balkema Publishers. 1994. 250p.

BABINSKI, M.; IYER, S. S. *Uso dos dados isotópicos de chumbo como ferramenta na gênese e prospecção mineral*. In: Soc. Bras. Geoq., Cong. Bras. Geoquímica, 1, Porto Alegre, **Anais**, 1, p. 121-132, 1987, *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 9-30-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

BEDMAR, A. P.; MINARDI, P. S. P. *Investigacion de recursos hídricos de los acuíferos Carbonatados Caititu y Pai João – Cedro*. Belo Horizonte/Viena: OIEA/CDTN, 1996. 95p. (anexos).

BONHOMME, M. G. *Mineralogie des fractions fines et datation rubidium- estrontium dans le group Bambui, Brésil*. Rev. Bras. Geoc., São Paulo, v. 6, n. 4, p. 39-43, 1976, *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 9-30-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

BRATICEVIC, D.; KARANJAC, J. *Ground Water for Windows: user's manual*, version 1.1. USA; GWW, 1995. 15 cap.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. 1999. *Distribuição estratigráfica e sistemas deposicionais do Grupo Urucuia, Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana*. Rev. Bras. Geoc., São Paulo, n.18, p. 481-499. *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 9-30-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Planoroeste: hidrogeologia subterrânea*. Belo Horizonte: CETEC, 1981. v.2.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CETEC, 1983. 158 p. (Inclui 4 mapas).

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Desenvolvimento metodológico para o modelo de gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas: estudo de caso da Bacia do Rio Verde Grande*. Belo Horizonte: CETEC/FAPEMIG, 1995. v. 4.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Levantamento das Disponibilidades de Água na Região do PDRI Jequitai/Verde Grande*. Belo Horizonte. CETEC, 1996

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Técnica de abastecimento e tratamento de água*. São Paulo: CETESB, 1987.

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.

CORDANI, U. G. *Definição e caracterização do Cráton do São Francisco*. In: SBG, CONG. BRAS. GEOL., 27, Aracaju, **Anais**, 1973, 2, p.142-145. *apud In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 9-30-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

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.

DARDENNE, M. A. *O tilito da base do grupo Bambuí na borda ocidental do Cráton do São Francisco*. *ibid*. COMIG. Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000, Belo Horizonte: COMIG, 1994, *apud*, SBG-Núcleo Centro-Oeste, Bol. Inf., n. 7-8, p. 85-97, 1978.

D'ARRIGO, H. B. P. 1995. *O Deslocamento Basal do Grupo Bambuí e o Alto de Sete Lagoas*. Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), Dissertação de Mestrado, 89p. *apud In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 93-138-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

DOMENICO, P.A., SCHWARTZ, F.W. *Physical and Chemical Hydrogeology*. New York: John Willey, 1990. 824p.

DOMINGUEZ, J. M. L. *As coberturas do Cráton do São Francisco: Uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias*. In: DOMINGUEZ, J. M. L.; MISI, A. O Cráton do São Francisco. Salvador. SBG BA-SE/SGM/CNPq. 215 p. 1993. Cap. 8, p. 137-159. In: Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000, Belo Horizonte: COMIG, 1994.

DUSSIN, I. A.; DUSSIN, T. M. 1995. *Supergrupo Espinhaço: Modelo de evolução geodinâmica*. Geonomos, Belo Horizonte, v. 3, n.1, p. 19-26. *apud In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 93-138-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. Dessedentação animal. Belo Horizonte: EMATER, 2002. (Disponível via e-mail) acesso em julho de 2002.

FEITOSA, Fernando A. C.; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM / UFPE – Laboratório de Hidrogeologia, 1997.412p.

FERREIRA, R.M.O., SILVA, J.M.M., *Informações Sócio-econômicas*. Disponível em <http://www.montesclaros.mg.gov.br>. Acesso em: maio/2002.

FONSECA, E.; LOBATO, L.M. *Depósito aurífero em zona de cisalhamento na borda leste do Cráton do São Francisco: Riacho dos Machados: Minas Gerais*. In: Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000. Belo Horizonte: COMIG, 1994.

GUIMARÃES, M. L. V.; GROSSI-SAD, J. H.; FONSECA, E. da 1997. *apud*, In: GROSSI-SAD, J. H.; LOBATO, L. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; SOARES-FILHO, B. S. (coordenadores e editores). *Projeto Espinhaço: Geologia da Folha Francisco Sá. apud* CROCCO-RODRIGUES, F. A.; GUIMARÃES, M. L. V.; ABREU, F. R.; BELO DE OLIVEIRA, O. A.; GRECO, F. M., 1993. *Evolução Tectônica do Bloco Itacambira - Monte Azul entre Barroco e Porteirinha*, MG. Soc. Bras. Geol., Núcleo MG, Bol. 12, SIMP. NAC. EST. TECTON. SNET, 4, Belo Horizonte, 1997, p. 212-216.

HETTICH, M. *A glaciação proterozóica no centro-norte de Minas Gerais*. Rev. Bras. de Geoc., São Paulo, v. 7, n. 2, p. 87-101, 1977. In: Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000, *ibid*. Belo Horizonte: COMIG, 1994.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Informações Sócioeconômicas. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em junho/2002.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Projeto Estudo Hidrogeológico da Bacia do Rio Riachão*. Belo Horizonte: SEMAD/Min. Meio Ambiente, 2001. 69p. (inclui mapas e anexos).

INDI. Instituto de Desenvolvimento Industrial de Minas Gerais. *Informações Sócio-econômicas*. Disponível em <http://www.almg.gov.br>. Acesso em junho/2002.

IYER, S. S. 1984. *A discussion on the lead isotope geochemistry of galenas from the Bambuí Group, Minas Gerais - Brazil*. Mineral. Deposita, n. 19, p. 132-137. *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 9-30-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

JOHNSON DIVISION, UNIVERSAL OIL PRODUCTS CO. *Água subterrânea e poços tubulares*. 3. Saint Paul, Minnesota, 1972. São Paulo: CETESB, 1978. 482p.

JULIÃO, J. *Apostila da disciplina química sanitária e ambiental*. Belo Horizonte. 1995. 124p. (Material exclusivo para treinamento não comercializado).

KAWASHITA, K.; MIZUSAKI, A.M.P.; KIANG, C.H. 1987. *Razões Sr-87/Sr-86 em sedimentos carbonáticos do grupo Bambuí*. In: SBGq, Cong. Bras. Geoq., 1, Porto Alegre, Anais, 133-137. *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 9-30-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

KARFUNKEL, J.; HOPPE, A. *Late Proterozoic glaciation in central-eastern Brazil: Synthesis and model*. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, v. 65, p. 1-21, 1988. In: Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000. Belo Horizonte: COMIG, 1994.

LEVES, W.J., FOSTER, S., DRASAR, B.S. *Análisis de Contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamento básico*. Lima, Peru. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria - Programa Regional de Prevención e Control de la Contaminación de Aguas Subterráneas, 1988. 102p.

LOGAN, J. *Interpretação de análises químicas de água*. Recife: U. S. Agency for International Development, 1965. 67p. In: FEITOSA, F.A. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM / UFPE – Laboratório de Hidrogeologia, 1997. 412p.

MAGALHÃES, L. *Análise estrutural qualitativa dos sedimentos do Grupo Bambuí, região sudeste da Bacia do São Francisco (Faixa Sete Lagoas-Serra do Cipó)*. Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), Dissertação de Mestrado, 1988. 109p. *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 93-138-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

MARSHAK, S.; ALKMIM, F. F. *Proterozoic contraction/extension tectonics of the southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil*. Tectonics, v. 8, n. 3, p. 555-571, 1989.

MESTRINHO, S.S.P. *Apostila de curso de contaminação de aquíferos*. Belo Horizonte.1996. 99p. (Material exclusivo para treinamento não comercializado).

MOBUS, G. *Programa para análise da qualidade de água*. Fortaleza: Fund. Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2002. 1 Cd.

MOURÃO, M. A. A.; CRUZ, W. D.; GONÇALVES, R. L. F. *Caracterização hidrogeológica da porção mineira da Bacia Hidrográfica do São Francisco*. apud In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. XIV, p. 327-350-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

NIMER, Edmon; BRANDÃO, Ana M. P. M. *Balanço Hídrico e Clima da região dos cerrados*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 166 p.

NORMAS CLIMATOLÓGICAS (1961 – 1990). Ministério da Agricultura e Reforma Agrária / Departamento Nacional de Meteorologia. Brasília: DNM, 1992. 84p

OLIVEIRA, J. R. P. de. *Comportamento Estrutural do Grupo Macaúbas e Bambuí na Porção Centro-Norte de Minas Gerais*. 1989. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto / Departamento de Geologia, Ouro Preto 1989. 111p. (Inclui 3 anexos).

OLIVEIRA, F. V. *Estilo estrutural e curvatura da zona limítrofe do Cráton São Francisco, nas regiões de Presidente Juscelino e Cardeal Mota, MG*. Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), Dissertação de Mestrado, 1994, 128p. apud In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 93-138-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

PARENTI COUTO, J. G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; IYER, S. S.; MORAIS, N. M. P. 1981. *Considerações sobre a idade do Grupo Bambuí com base em análises isotópicas de Sr e Pb*. Rev. Bras. Geoc., São Paulo, v. 11, n. 1, p. 5-16, 1994. apud In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 9-30-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

PATRUS, M.L.R.A. *Estudo hidrológico e de qualidade de água*. Belo Horizonte. IBAMA/CPRM, 1998. v.1. In: Projeto APA Carste de Lagoa Santa: Meio Físico. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998.

PATRUS, M. Letícia R.A.; SANTOS, Augusto C.S. de; FIGUEIREDO, Vânia L.S.; MATOS, Alcione R. de; MENEZES, Isabel C. R. *Municípios mineiros abastecidos pela COPASA na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e tipo de captação*. apud In: Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. XIII, p. 304-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

PFLUG, R.; RENGER, F. *Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do Cráton São Francisco*. CONG. BRAS. GEOL., 27, 1973. Aracaju. **Anais...** Salvador: SBG-NE, *ibid*. 1973. v. 2. p. 5-19. In: Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Mineraias do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000, Belo Horizonte: COMIG, 1994.

PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. *Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais*. SBG/MG – Belo Horizonte, 2001. 349 p.

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).

SGARBI, G. N. C.; SGARBI, P. B. A.; CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A.; PENHA, U. C. *Bacia Sanfranciscana: O registro fanerozóico da Bacia do São Francisco. apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. VI, p. 93-138-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

SIGA JR., O. *A evolução geocronológica da porção nordeste de Minas Gerais, com base em interpretações geocronológicas*. EG/USP. São Paulo. 140p. 1986 (Tese de Mestrado). In: Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Mineraias do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000, Belo Horizonte: COMIG, 1994.

SILVA, Adelbani Braz da. *Análise Morfoestrutural, Hidrogeológica e Hidroquímica no Estudo do Aquífero Cárstico do Jaíba, Norte de Minas*. 1984. Tese de Doutorado em Geologia Geral e Aplicada. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1984. 190p.

SOUZA Fº, R. G. *O arcabouço estrutural da porção externa da Faixa Araçuaí da Serra do Cabral (MG) e o contraste de estilos deformacionais entre os supergrupos Espinhaço e São Francisco*. Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), Dissertação de Mestrado, 148p. 1995 *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 93-138-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

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

UHLEIN, A.; TROMPETTE, R.; SILVA, M. E. *Estruturação tectônica do Supergrupo Espinhaço na região de Diamantina (MG)*. Rev. Bras. Geoc., São Paulo, v. 16, n. 2, p. 212-216. 1986 *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 93-138-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

UHLEIN, A. *Transição Cráton – Faixa dobrada: um exemplo do Cráton São Francisco e da Faixa Araçuaí (ciclo Brasileiro) no estado de Minas Gerais*. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 295p. 1991 *apud* In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. *ibid* Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, cap. II, p. 93-138-SBG/MG-Belo Horizonte, 2001.

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



DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



Foto 1 - Rebordos erosivos nos sedimentos Urucuia, delimitando as superfícies tabulares do Planalto do São Francisco. Município de Ponto Chique.



Foto 2 - Superfície de aplainamento em coberturas cretácicas (Formação Urucuia), correspondente ao compartimento geomorfológico do Planalto do São Francisco. Município de Brasília de Minas.



Foto 3 - Fraturamento em rocha metapelítica do Subgrupo Paraopeba. Porção leste do município de Ponto Chique.



Foto 4 - Rocha metapelítica associada ao Subgrupo Paraopeba. Nota-se a gradação da rocha sã, para semi-alterada e alterada ("Toá"). Município de Ponto Chique.



Foto 5 - Detalhe da rocha metapelítica sã da foto anterior. Nota-se acamamento subhorizontal. Município de Ponto Chique.



Foto 6 - Morro testemunho em rocha calcária da Formação Lagoa do Jacaré. Nota-se acamamento subhorizontal. Município de Montes Claros.



Foto 7 - Sedimentos argilo-arenosos da Formação Urucuia, com níveis silicificados mais resistentes a erosão. Município de Ponto Chique.



Foto 8 - Feição cárstica caracterizada como dolina. Fazenda Curral Novo em Montes Claros.



Foto 9 - Poço apresentando risco potencial muito alto de contaminação, evidenciado pela ausência de tampa, não preenchimento do espaço anelar e não confecção do laje de proteção sanitária. Nota-se abatimento da parede do poço e carreamento de resíduo orgânico e inclusive ossada de animal para dentro do furo da perfuração. Município de Verdelândia.



Foto 10 - Poço tubular em péssimo estado de conservação, e evidenciando alto risco potencial de contaminação, com revestimento enferrujado e furado, sem laje de proteção e solapamento junto ao revestimento. Município de Francisco Sá.



Foto 11 - Poço com vazamento na adução e ausência de laje de proteção sanitária, exibindo risco potencial médio de contaminação. Nota-se lama e estrume de gado próximo ao poço. Município de Lontra.



Foto 12 - Poço bem concluído, apresentando proteção sanitária maior que 1m², reservatório e abrigo do painel elétrico em bom estado de conservação. Apresenta risco baixo de contaminação. Município de Montes Claros.



Foto 13 - Poço tubular abandonado, sem tampa, sem laje de proteção, configurando risco de contaminação. Município de Montes Claros.



Foto 14 - Poço abandonado, na porção inferior da foto, mostrando ausência de tampa e laje de proteção sanitária, o que configura alto risco potencial de contaminação. Poço ativo, na porção superior da foto, sem laje de proteção sanitária.



Foto 15 - Poço abandonado, encontrando-se entupido. Utilização de tampa não apropriada. Município de Montes Claros.



Foto 16 - Poço apresentando risco potencial muito alto de contaminação, decorrente de orifício no revestimento próximo à superfície do terreno e da ausência de laje de proteção sanitária. Nota-se o acúmulo de lixo doméstico em torno da saliência do poço e vazamento de água na adução. Município de Brasília de Minas.



Foto 17 - Poço tubular em péssimo estado de conservação, sem laje de proteção, revestimento, furado, vazamento de água ao redor. Alto risco potencial de contaminação. Município de Francisco Sá.



Foto 18 - Poço tubular em péssimo estado de conservação, sem laje de proteção e com vazamento de água. Nota-se acumulação de água residual doméstica ao redor do poço. Alto risco potencial de contaminação. Município de Francisco Sá.



Foto 19 - Poço tubular sem laje de proteção e com risco de contaminação da água pelo vazamento de óleo do compressor. A água é bombeada e armazenada diretamente em escavação no solo, para dessedentação animal. Alto risco potencial de contaminação. Município de Francisco Sá.



Foto 20 - Poço tubular sem laje de proteção sanitária, em área de irrigação de banana. Verifica-se o uso constante de fertilizante, o qual é armazenado próximo. Risco elevado de contaminação. Município de Francisco Sá.



Foto 21 - Poço tubular com revestimento abaixo da superfície do terreno localizado em área de oficina mecânica e lavagem de automóveis. Encontra-se coberto com areia e sem laje de proteção. Alto risco de contaminação. Área urbana de Montes Claros.



Foto 22 - Detalhe da foto anterior.



Foto 23 - Poço tubular com risco potencial de contaminação elevado, sem cimentação do espaço anelar e ausência de laje de proteção, facilitando o solapamento ao redor do revestimento. Município de Francisco Sá.



ANEXOS

Os anexos citados abaixo estão disponibilizados em CD

ANEXO 1

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

ANEXO 2

Características Organolépticas, Físico-Químicas, Químicas e Bacteriológicas

ANEXO 3

Relação e Características dos Principais Parâmetros Analisados em Amostras de Água

ANEXO 4

Mapa de Sistemas Aquíferos da microrregião de Montes Claros e 22 mapas municipais de sistemas aquíferos e poços tubulares profundos

ANEXO 5

Tabela de Dados de Poços Tubulares Profundos da Microrregião de Montes Claros

