

Uso Atual das Águas Subterrâneas

Um levantamento geral das condições de utilização das águas subterrâneas foi realizado com base no Inventário Hidrogeológico e em informações coletadas junto à COPASA, FNS e Prefeituras.

O uso preponderante dos recursos hídricos subterrâneos se destina ao abastecimento público. Das 182 sedes municipais analisadas, 94 são abastecidas total ou parcialmente com água subterrânea, correspondendo a pouco mais de 50% dos sistemas existentes.

O Quadro 96 mostra os tipos de mananciais captados para cada sede municipal, sendo que para 13 cidades não se tem indicação do tipo de captação.

Quadro 96 - Características físico-químicas das águas dos aquíferos Cretácicos e Terciário- Quaternários (valores médios em mg/l)

Aquífero	Condutividade elétrica (micromhos/cm)	Dureza total (mg/lCaCO ₃)	Cl	SO ₄	pH	Fe	Mn	F
CDTQ	159,6	55,36	6,8	4,1	7,04	0,2	0,18	0,15
K	82,8	42,27	6,2	2	6,75	0,2	0,39	0,12

Considerando exclusivamente o universo de 169 sedes municipais para as quais existem informações sobre o tipo de manancial captado, o percentual de cidades que exploram água subterrânea para abastecimento público sobe para aproximadamente 55%.

Os volumes explorados nas sedes municipais estão expressos na quadro 97, podendo-se notar que as cidades que não possuem dados, correspondem as que operam sistemas mistos, onde não existe diferenciação entre adução de água superficial e subterrânea.

A importância da água subterrânea na manutenção dos sistemas de abastecimento público fica clara quando se analisa o volume total explorado, da ordem de 213.000m³/dia ou 77,7 x 10⁶ m³/ano, suficientes para abastecer uma população de cerca de 850.000 habitantes, considerando-se uma taxa de 250 l/hab/dia.

É interessante observar que cidades com exploração superior a 10.000 m³/dia estão todas situadas no domínio dos aquíferos carsticos e carticos-fissurados do grupo Bambui a exceção da cidade de Congonhas, localizada no Quadrilátero Ferrífero, cujos poços captam água dos metassedimentos do supergrupo Minas.

No inventário realizado foi identificado que 90 sedes distritais ou povoados são abastecidos através de poços tubulares, mostrando uma tendência de utilização desse tipo de captação para suprir a demanda de pequenas comunidades.

A utilização de água subterrânea para abastecimento de propriedades rurais é disseminada por toda região, sobretudo para uso doméstico e dessedentação de animais. Não se dispõe de dados sobre os volumes explorados para esta finalidade.

O uso de água subterrânea para irrigação não é significativo na região, uma vez que se concentra na bacia do rio Verde Grande, onde foi estimado um consumo anual de 108,5 x 10⁶m³/ano (CETEC-1995).

152

A análise do quadro de usuários de água, mostra uma recente evolução do uso de água subterrânea para irrigação na bacia do rio Paracatu, ainda modesta, quando comparada à situação da bacia do rio Verde Grande.

Uma avaliação global da utilização dos recursos hídricos subterrâneos explorados através de poços tubulares pode ser efetuada utilizando-se o número de poços existentes (capacidade instalada das estruturas de captação) e a vazão média do conjunto de poços que possuem dados de testes de bombeamento.

Quadro 97 - Potabilidade das águas subterrâneas por aquífero - bacia dos afluentes do rio São Francisco em Minas Gerais

PARÂMETROS	LIMITES RECOMENDADOS	ALUVIAL QAL	COBERTURA CDTQ	CRETÁCICO K	CARBONÁTICO CA	PELÍTICO MP	GANISSICO GRANÍTICO RG
COR	5 - 15	-	-	-	-	-	-
TURBIDEZ	1 - 5	restrições locais	restrições locais	restrições locais	restrições locais	restrições locais	restrições locais
pH	6,5 - 8,5	s/ restrições	Inferiores a 6,5 em alguns locais	valores inferiores a 6,5 são comuns	valores acima de 8,5 em alguns locais	c/restrições locais	valores inferiores a 6,5 em alguns locais
STD	1000 mg/l	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições
DUREZA TOTAL	500 mg/l CaCO ₃	s/ restrições	s/restrições	s/restrições	c/restrições locais	c/restrições locais	s/restrições
CLORETOS	250 mg/l	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições
SULFATOS	400 mg/l	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições
NITRATOS	10 mg/l	restrições locais vulnerável à contaminação orgânica	restrições locais vulnerável à contaminação orgânica	s/restrições	restrições locais vulnerável à contaminação orgânica	restrições locais vulnerável à contaminação orgânica	restrições locais vulnerável à contaminação orgânica
FLUORETOS	0,6 - 1,6 mg/l	s/restrições	s/restrições	c/restrições locais	s/restrições	s/restrições	s/restrições
FERRO TOTAL	0,3 mg/l	c/restrições locais	c/restrições locais	s/restrições	c/restrições locais	c/restrições locais	c/restrições locais
MANGANÊS	0,1 mg/l	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições	s/restrições

Limites recomendados segundo o Ministério da Saúde (Portaria nº 36 de 19/01/1990).

Relativo à capacidade de produção dos poços, verifica-se que a vazão média dos poços (vazão de teste) é de 4.75 l/s para um rebaixamento médio de 23,87 m. Para o total de poços inventariados (2.099), pode-se estimar os volumes passíveis de exploração para diferentes regimes de bombeamento.

Considerando-se um regime contínuo, com bombeamento de 24 h/dia, tem-se uma exploração estimada em 861.000 m³/dia ou 314 x 10⁶ m³/ano, água suficiente para abastecer uma população de cerca de 3.400.000 habitantes com taxa de consumo de 250 l/hab/dia.

Uma estimativa mais realista, tomando um regime de bombeamento de 16 h/dia fornece um volume explorado de 574.000 m³/dia ou 209 x 10⁶ m³/ano.

Considerando que o inventário realizado não contempla todos os poços existentes e que o número real de poços pode chegar aos 3.000 em toda a região, estima-se para os volumes máximos explorados:

- › em regime contínuo - 1.230.000 m³/dia ou 449 x 10⁶ m³/ano.
- › em regime de 16 h/dia - 820.000 m³/dia ou 299 x 10⁶ m³/ano.

É razoável se prever que atualmente existem estruturas de captação para uma retirada máxima de água subterrânea da ordem de 450 x 10⁶ m³/ano e que uma estimativa mais conservadora e realista aponta para volumes potencialmente exploráveis de cerca de 300 x 10⁶ m³/ano.

A Qualidade das Águas

A análise dos aspectos relativos à qualidade das águas subterrâneas na bacia do rio São Francisco no Estado de Minas Gerais baseia-se em 624 análises físico-químicas disponíveis no Banco de Dados da Copasa MG e no inventário hidrogeológico da região efetuado pelo Cetec em 1976/83. Dentre estas análises, 403 são consideradas completas, ou seja, incluem a determinação dos principais constituintes iônicos, enquanto as demais (221 análises) são parciais, a maioria sem determinação de sódio e potássio.

Do total de análises, 565 são de águas procedentes de poços tubulares, 37 de poços escavados (manuais) e 22 são de fontes pontuais. Em termos de distribuição por sistema aquífero, 165 análises são de águas do aquífero Metapelítico (MP); 123 são procedentes dos aquíferos Carbonáticos (CA); 101 análises são do sistema de rochas Granito-gnaissicas (RG); 49 relativas às águas do sistema Pelítico-carbonático; 22 referentes ao sistema Arenítico Cretácico (K); 18 dos aquíferos Terciário-quadernários e 4 dos sistemas aluviais. Tem-se ainda análises de outros aquíferos de pequena representatividade na bacia e 93 análises que não registram o sistema aquífero captado (não definido).

As verificações do balanço iônico das análises completas mostraram que 81 % das análises satisfazem os limites de erros permissíveis. Acrescente-se que as análises que apresentam problemas de balanço iônico são aquelas de muito baixo conteúdo de sólidos dissolvidos, em geral inferior a 2 meq/l.

Do total de análises disponíveis, 539 referem-se a pontos de água com registro das coordenadas geográficas. Para estes pontos foram elaborados mapas de contorno da condutividade elétrica, dureza, cloretos e sulfatos, a fim de caracterizar a tendência regional de distribuição destes parâmetros.

155

Características Físico-Químicas

Uma análise das características físico-químicas das águas por sistema aquífero mostra uma diferenciação bem marcada em relação aos sistemas granulares (Cretácico e Terciário-quadernário) quando comparado aos sistemas carbonáticos, pelíticos ou gnaissico-graníticos.

Aquíferos Granulares

De um modo geral, os aquíferos granulares, em função do caráter litológico das rochas reservatórios e boas condições de circulação das águas, mostram-se com baixo conteúdo de sólidos dissolvidos, baixa dureza e muito baixas concentrações

de cloretos e sulfatos. São águas em geral ácidas, com pH abaixo de 7 devido ao conteúdo de dióxido de carbono dissolvido.

- Nos aquíferos areníticos do Cretáceo, a condutividade varia de 3,25 a 473 com média de 82,8 micromhos/cm. A dureza total das águas é baixa, com média de 42,2 mg/l de CaCO₃.

-No sistema Terciário-quaternário a condutividade média é de 159,6 micromhos/cm, com valores variando de 9,2 a 445,8 micromhos/cm. A média de sólidos totais dissolvidos (TDS) é de 112,8 mg/l. A dureza total apresenta média de 55,3 mg/l de CaCO₃. As concentrações de cloretos e sulfatos, em ambos os sistemas, são muito baixas, médias de 6,8 e 6,2 e 2,0 e 4,1 mg/l, respectivamente. Vale destacar que o sistema Terciário-quaternário abrange também as águas do lençol freático do manto de alteração das rochas, o que resulta em uma maior mineralização das águas do que naquelas procedentes das coberturas detríticas já bastante lixiviadas. Nestas coberturas, as águas são, por isso, fracamente mineralizadas, com valores médios de TDS e dureza total ainda mais baixos do que os registrados no conjunto.

156

Nos aquíferos cretácicos, salvo algumas exceções devidas à eventual presença de cimento calcífero nos arenitos, ocorre em geral pH abaixo de 7 com predominância de valores na faixa de 5,4 a 6,8. No aquífero Terciário-quaternário, a exceção de trechos onde há influência do substrato Bambuí devido à sua pequena espessura, são comuns também águas com pH entre 4,7 e 7,0.

Os tipos químicos de águas expressos nos diagramas de Piper mostram que predominam nestes sistemas granulares águas bicarbonatadas cálcicas, com menor frequência de magnesianas e sódicas..

Aquíferos em Meio Fraturado e Cárstico

Estes sistemas são representados na bacia, principalmente, por aquíferos em rochas gnáissicas e graníticas e pelos aquíferos em rochas metapelíticas, representadas pelas ardósias e siltitos do Grupo Bambuí (aquíferos fraturados),

além dos sistemas carbonáticos associados às rochas calcárias e pelítico-carbonáticas da mesma unidade geológica.

- Os aquíferos em rochas gnáissicas e graníticas apresentam concentrações de sólidos totais dissolvidos (TDS) bastante variáveis, em função das condições de circulação e das condições climáticas prevalecentes. Em geral, alcançam maiores salinidades em áreas com maiores déficits hídricos, escasso regime pluviométrico e em condições de fraca circulação subterrânea.

As condutividades elétricas variam de 5,3 a 696,6 micromhos/cm, com tendência para valores mais baixos, média de 122,5 micromhos/cm ou 100 mg/l de TDS. A salinidade típica, definida como o valor mediano, é equivalente a uma condutividade de 100 micromhos/cm.

A dureza total varia de 1,6 a 336 mg/l de CaCO_3 , mas predominam águas brandas a pouco duras com média de 49 e mediana de 40 mg/l de CaCO_3 . As concentrações de sulfatos são normalmente baixas com média de 1,89 mg/l. O conteúdo de cloretos, embora possa localmente apresentar-se elevado, têm média muito baixa, igual a 3,71 mg/l. O pH varia de 5,6 a 8,3, média de 7,39. As concentrações de ferro total, como ocorre com frequência nas águas subterâneas no Estado, podem alcançar valores elevados, sendo a média de 0,66 mg/l.

Os tipos de água predominantes são da classe bicarbonatadas cálcicas ou calco-sódicas.

- Os aquíferos metapelíticos, por outro lado, apresentam em geral salinidades e dureza total mais elevadas. As condutividades elétricas variam desde valores excepcionalmente baixos de 6,0 a 2236,5 micromhos/cm, média de 311,5, onde 50% das amostras apresentam valores maiores que 220 micromhos/cm. A dureza total varia de 3,25 a 730 mg/l de CaCO_3 , com média de 138,6 e mediana de 80 mg/l de CaCO_3 . Aproximadamente 20% das amostras de águas procedentes deste sistema aquífero apresentam dureza acima de 200 mg/l de CaCO_3 .

As concentrações de sulfatos são normalmente baixas com média de 15,0 mg/l, embora registrem-se, localmente, alguns valores elevados, máximo de 400 mg/l, como ocorre excepcionalmente na fazenda Angico, município de Francisco Sá. Os cloretos mostram concentrações baixas até um máximo de 140 mg/l. A média é de 9,9 mg/l.

As águas são em geral neutras a alcalinas, com pH máximo de 8,8, média de 7,46. Predominam águas do tipo bicarbonatadas de cálcio, com menor frequência de calco-sódicas ou calco-magnesianas. O tipo bicarbonatada-sulfatada foi registrado em uma única ocorrência.

- As águas do sistema carbonático e pelítico- carbonático apresentam, em geral, um maior grau de mineralização, alta alcalinidade e dureza mais elevada, associados aos processos de dissolução das rochas calcárias e dolomíticas.

A condutividade elétrica varia de 42 a 2236 micromhos/cm com média de 436,2 e mediana de 390 micromhos/cm. O total de sólidos dissolvidos tem valor médio de 326,2 mg/l. A alcalinidade total atinge valores máximos da ordem de 1500 mg/l de CaCO_3 com média de 210,4.

158

São águas normalmente duras, onde valores mais baixos estão associados a áreas de recarga e em estágio inicial de mineralização. À medida que o CO_2 dissolvido das águas de infiltração, mais agressivas, vão dissolvendo os carbonatos, aumentam, progressivamente, as concentrações de cálcio e magnésio. A dureza total varia de 7,2 a 890 mg/l de CaCO_3 com média de 219,7. Metade das amostras analisadas têm dureza total acima de 185 mg/l de CaCO_3 .

As águas deste sistema aquífero têm caráter predominantemente básico com pH máximo de 9,0 e valor médio de 7,79. Predominam águas de composição bicarbonatada cálcica com ocorrências localizadas de águas calco-magnesianas, quando associadas a dolomitos, ou ainda, em menor número, águas bicarbonatadas sódicas.

As concentrações de cloretos, salvo alguns valores excepcionais altos (máximo de 380 mg/l), são baixas, média de 18,6 mg/l. O mesmo acontece com os sulfatos que mostram um valor médio de 14,6 mg/l, com máximo, entre as amostras analisadas, de 272,9 mg/l. Estas áreas com concentrações elevadas de sulfatos estão, em geral, associadas à presença de disseminações de sulfetos, principalmente pirita, nos calcários do Grupo Bambuí.

Classificação Quanto Ao Uso

A análise da qualidade das águas subterrâneas no que se refere à sua adequabilidade aos diversos usos baseia-se, genericamente, nas informações das principais características físico-químicas conhecidas, constantes das listagens de análises químicas e restringem-se aos aspectos relacionados à potabilidade e ao uso agrícola. Utilizou-se como referência o padrão de potabilidade das águas do Ministério da Saúde (Portaria nº 36 de 19/01/1990) e a classificação das águas para irrigação segundo o método do "U.S. Salinity Laboratory" (diagrama de Wilcox).

159

Águas Para O Consumo Humano

No Quadro 97 são apresentadas as condições de potabilidade das águas para os diversos sistemas aquíferos da bacia no que se refere às principais características físico-químicas, com indicação dos limites máximos recomendados. Alguns parâmetros como metais pesados, componentes orgânicos e conteúdo microbiológico não foram considerados por falta de informações ou por constituírem dados antigos, sem validade para uma análise atual.

As indicações constantes do Quadro 97 mostram que os sistemas aquíferos de coberturas detríticas e cretácicos não apresentam restrições ao consumo humano, à exceção dos valores de pH, em alguns locais (águas ácidas, com ocorrência de valores inferiores a 6.5) e ocasionais concentrações algo elevadas de ferro total. Embora não se disponha de dados atuais sobre as condições bacteriológicas das águas, deve-se destacar que os sistemas aluviais e de

coberturas detríticas são extremamente vulneráveis à contaminação, devido à sua pequena profundidade e intercomunicação com as águas superficiais, no caso dos aluviões, o que favorece os riscos de poluição e degradação da qualidade das águas, se não forem tomadas medidas de proteção.

No sistema aquífero Bambuí, considerando em conjunto os tipos cársticos, fissurados e cárstico-fissurados, não há também maiores restrições ao consumo humano, salvo valores elevados de pH em algumas áreas (20 % das amostras ultrapassam o valor de 8,5), ferro total elevado e, em casos mais esporádicos, o manganês. No caso do ferro total, algumas amostras ultrapassam o limite recomendado, o que é comum em muitas regiões do Estado. No sistema Bambuí carbonático, a dureza das águas pode constituir um fator de objeção, com a ocorrência, em alguns locais, de águas com dureza excessiva. Nas análises disponíveis, a dureza total é maior do que 200 mg/l de CaCO₃ em 42 % das amostras. Vale destacar que os aquíferos cársticos, devido às condições de circulação das águas em cavidades de dissolução e condutos cársticos, com possibilidade de fluxo turbulento e rápido, são muito vulneráveis à contaminação.

Água para Consumo Agrícola

Nas águas do sistema Bambuí, a maioria enquadra-se nas classes C1S1 e C2S1, mostrando baixo a médio risco de salinidade e baixo risco de sódio, podendo ser utilizadas na irrigação para a maioria das culturas, desde que tomados os cuidados normais de drenagem dos solos. Em alguns casos, onde ocorrem águas do tipo bicarbonatadas sódicas ocorrem valores de SAR mais elevados, atingindo a classe C2S2.

As águas dos aquíferos granulares (Terciário-quaternários e Cretácicos) não apresentam restrições ao uso agrícola, tendo baixa condutividade e baixos valores de SAR (classe C1S1).

Perspectivas de Utilização dos Recursos Hídricos Subterrâneos - Identificação dos Problemas e Potencialidades

As perspectivas de utilização das águas subterrâneas, assim como a identificação dos problemas e potencialidades da região serão analisadas em função dos seguintes fatores:

- Produtividade ou capacidade de produção dos poços
- Profundidade de captação
- Profundidade dos níveis de água
- Qualidade das águas e principais restrições de uso
- Condições ambientais (vulnerabilidade e riscos de contaminação)

Em termos de capacidade de produção através de poços, as informações sobre os diversos sistemas aquíferos abordadas nos itens anteriores indicam como de maior potencial os sistemas relacionados às rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (CA e MPCA). Este sistema ocorre em amplas faixas, tanto a N-NE, região de Montes Claros, Januária, Manga, como ao S-SW, região de Sete Lagoas, Curvelo, Bambuí e Arcos, perfazendo na área estudada cerca de 7.300 Km², conforme indicado no mapa de sistemas aquíferos. Em geral, as zonas de valores mais elevados de vazão específica estão relacionadas a este sistema. Em função do desenvolvimento dos fenômenos de carstificação (cavidades de dissolução) podem fornecer, em zonas com estruturas cársticas favoráveis, vazões superiores a 100 m³/h. Com uma vazão específica média de 3,54 l/s.m, estes sistemas cársticos poderão produzir vazões da ordem de 70 l/s (252 m³/h) para rebaixamento dos níveis de água de 20 m.

Estes sistemas vêm sendo aproveitados, principalmente ao norte do Estado, como na bacia do rio Verde Grande para irrigação ou para abastecimento público. Muitas cidades e distritos da região, como em Sete Lagoas, Curvelo e Montes Claros se abastecem total ou parcialmente a partir destes mananciais subterrâneos.

Os sistemas relacionados aos arenitos cretácicos (K), em que pese sua posição topográfica elevada (chapadas), caracterizando-se sobretudo como áreas de recarga, responsáveis pela alimentação de inúmeras fontes de encostas, apresentam produtividades médias, devido a sua constituição litológica e características hidráulicas, com transmissividades da ordem de 50 a 200 m²/dia, conforme os dados disponíveis. A vazão específica máxima nos poços inventariados é de 2,91 l/s.m com média de 0,58 l/s.m (2,088 m³/h.m). Poços com vazões específicas médias desta ordem podem produzir de 11 a 17 l/s (40 e 60 m³/h) para rebaixamentos de 20 e 30 metros, respectivamente. Em condições favoráveis, este sistema granular pode ser utilizado para abastecimento público e pequenos projetos de irrigação.

Os aquíferos aluviais (Qal), por outro lado, apresentam condições bastante variáveis em termos de produtividade devido à grande variação de espessura, mudanças de facies e caráter granulométrico dos sedimentos. Onde alcançam maiores espessuras, ao longo dos cursos d'água principais, e têm composição predominantemente arenosa, podem produzir vazões relativamente elevadas, com a vantagem de apresentar alimentação efetiva através de recarga induzida dos cursos d'água. Devido a constituírem um aquífero freático superficial e de pequena espessura, são indicados para aproveitamento através de poços tubulares de pequena profundidade ou poços rasos escavados. Constituem, entretanto, um importante manancial para abastecimento doméstico através de poços rasos escavados.

Dentre os poços inventariados, apenas 5 registram valores de vazão específica, com média de 0,45 l/s.m, de modo que as informações sobre este sistema na bacia como um todo são muito deficientes, requerendo estudos locais detalhados para a definição de suas potencialidades e das áreas mais favoráveis ao seu aproveitamento.

Nos estudos realizados pela COPASA - Hidrosistemas (1995) em todo o Estado de Minas Gerais, indica-se um potencial deste sistema aquífero bastante elevado. Com base em 55 poços em todo o Estado, determinou-se uma vazão

específica muito alta, com média de 28,32 l/s.m. A vazão máxima explotável média, segundo estes estudos, seria da ordem de 47 l/s (179 m³/h).

Com extensiva área de ocorrência na maior parte da bacia, os sistemas fissurados relacionados aos sistemas pelíticos, granítico-gnaissico, quartzítico e xistoso caracterizam-se principalmente por uma grande heterogeneidade e anisotropia, em função do próprio caráter fissural e permeabilidade secundária restrita às fraturas das rochas.

Dentre estes sistemas, destaca-se como os mais produtivos os aquíferos pelíticos associados às ardósias e siltitos do Grupo Bambui. Acrescente-se que, em muitas áreas, pode apresentar desenvolvimento cárstico, mesmo incipiente, devido a intercalações de leitos carbonáticos ou cimento calcífero, não suficientemente conhecido em sub-superfície. A vazão específica média é de 0,62 l/s.m, com mediana de 0,17l/s.m., podendo produzir, através de poços, vazões de 22 a 33 l/s (44,6 a 67 m³/h), para rebaixamentos de 20 a 30 metros.

Nos demais sistemas fissurados, a capacidade de produção varia de muito baixa a média, com vazão específica média variando de 0,23 l/s.m nos sistemas xistosos; 0,17 nos granítico-gnaissicos e 0,28 l/s.m nos quartzíticos. Poços com estas características poderão produzir, em tempos médios, vazões de 3,4 a 5 l/s (12 a 18 m³/h) para rebaixamentos de 20 ou 30 metros; um em cada quatro poços perfurados poderão fornecer vazões superiores a 4,0 l/s (14 m³/h), conforme mostra a distribuição de probabilidade de vazão específica da Fig. 13.

Estes sistemas aquíferos em meio fissurado, em que pese sua baixa produtividade, constituem uma importante fonte de abastecimento para atendimento de inúmeros distritos e cidades de pequeno porte, e para abastecimento doméstico e pecuário nas propriedades rurais.

O sistema de Coberturas Detríticas do Terciário-quaternário (TQC), representado por materiais detríticos (colúvios, elúvios e manto de alteração), com grande distribuição na zona da Depressão Sanfranciscana, em cotas baixas, têm em geral muito pequena capacidade de produção e devido à sua reduzida espessura

são indicados apenas para captação através de poços rasos escavados, visando o abastecimento doméstico de pequenas propriedades. Vale destacar que êstes sistemas desempenham importante função de alimentação e recarga dos sistemas fraturados inferiores, por filtração vertical descendente, e na regularização das vazões dos cursos d'água.

No que se refere à profundidade de captação, não há grandes limitações na bacia do rio São Francisco, no Estado de Minas Gerais, uma vez que a maior parte dos sistemas aquíferos são livres, como os aluviais e sistemas de cobertura, ou ocorrem associados a fraturas e cavidades de dissolução cujo desenvolvimento não ultrapassa a 100 metros de profundidade. Não há sistemas confinados profundos que requeiram grandes profundidades de captação. Neste particular, apenas os aquíferos de arenitos cretácicos apresentam situação mais desfavorável, podendo ocorrer nas áreas de maior espessura de sedimentos níveis semi-confinados e superpostos por intercalações argilosas, requerendo maior profundidade de captação e maiores cuidados na construção e completação de poços tubulares.

164

As mesmas considerações sobre profundidade de captação são válidas para os níveis de água. Níveis de água profundos, excetuando-se as zonas de alinhamentos de serras em cotas elevadas para os aquíferos cársticos e cárstico-fissurados, ocorrem somente nas zonas de chapadas com cotas superiores a 900-1.000 metros, relacionadas aos sistemas areníticos cretácicos.

De um modo geral, a qualidade das águas subterrâneas na bacia não oferece maiores restrições, seja para consumo humano, seja para uso agrícola ou dessedentação de animais. As únicas restrições quanto à potabilidade são teores elevados de ferro ou manganês em algumas áreas ou durezas algo elevadas nas águas dos aquíferos carbonáticos. A maior parte das águas analisadas apresenta excelentes condições para uso na irrigação, com baixos riscos de salinidade e de sódio. Algumas poucas amostras (< 1% de ocorrência) de águas bicarbonatadas sódicas, identificadas nos sistemas cársticos e fissurados do Bambuí podem ocasionalmente apresentar valores de SAR um pouco elevados, enquadrados na classe S2; em termos de condutividade elétrica,

metade das amostras analisadas ultrapassa o valor de 250 micromhos/cm ou mesmo 750 micromhos/cm, enquadrando-se nas classes C2 ou C3, requerendo maiores cuidados na seleção das culturas e nos problemas de drenagem e lixiviação do solo. Os valores de pH, alcalinidade e dureza podem apresentar também algumas restrições para muitas instalações ou usos industriais mais exigentes e restritivos.

Do ponto de vista dos riscos e vulnerabilidade a contaminação dos diversos sistemas aquíferos, podem ser feitas as seguintes considerações:

- Aquíferos aluviais Qal e de cobertura Terciário-quaternário TQc - Em geral são bastante vulneráveis à contaminação de natureza orgânica e microbiológica, devido à sua pequena profundidade e por sua conexão, como nos aluviões, com as águas superficiais. As possibilidades de contaminação podem ser atenuadas ou evitadas com escolha adequada dos locais de captação e estabelecimento de áreas de proteção.

- Aquíferos cársticos (CA), cárstico-fissurado (MPCA) e fissurados - Em geral são muito vulneráveis a contaminação, devido à circulação mais rápida em fraturas e condutos cársticos. Selos sanitários no revestimento ou lages de proteção à superfície são necessários.

- Aquíferos de arenitos cretácicos - Têm em geral maior capacidade de depuração devido a espessa zona não saturada e seu meio granular, sendo menos vulneráveis à contaminação devido aos níveis d'água mais profundos sob as chapadas.

As reservas renováveis para toda a bacia, conforme apresentado no item 5.3, são da ordem de $22.000 \times 10^6 \text{ m}^3$, determinadas a partir da capacidade de armazenamento e do escoamento subterrâneo. Os recursos exploráveis correspondentes a 30 % das reservas renováveis seriam da ordem de $6.600 \times 10^6 \text{ m}^3$. Um balanço entre os recursos exploráveis em toda a bacia e os volumes de água atualmente explorados através de poços, estimados em 300×10^6 a $450 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, mostram que estes representam uma parcela insignificante das

disponibilidades globais de água subterrânea. Mesmo considerando-se a capacidade de captação atualmente instalada (cerca de 3000 poços), o volume máximo que poderia ser explotado a partir destes poços ($450 \times 10^6 \text{ m}^3$) corresponderia a apenas 6,8% dos recursos explotáveis. Estas observações indicam que os sistemas hídricos subterrâneos, atualmente, são sub-aproveitados.

c) BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARACATU

Para a elaboração do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu foi prevista, na fase de estudos hidrológicos básicos, a execução de estudos hidrogeológicos que, em conjunto com os estudos climatológicos e o das águas superficiais, darão suporte ao diagnóstico da situação atual da bacia.

Os estudos hidrogeológicos tiveram como objetivo determinar o potencial e as disponibilidades hídricas subterrâneas, caracterizar a qualidade das águas e sua adequação frente às diversas utilizações e apresentar um quadro relativo ao uso atual destes recursos, bem como das possibilidades de seu aproveitamento.

166

Este documento apresenta uma síntese dos resultados e principais conclusões dos referidos estudos. A maior parte dos dados e informações aqui apresentados foram extraídos dos relatórios referentes ao Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia elaborado através do Contrato nº 2279, firmado entre a SEAPA/RURALMINAS e o Consórcio MAGNA/DAM/EYSER (1995).

Devido à semelhança dos sistemas aquíferos ocorrentes na bacia com aquelas já descritas no PDRH das bacias dos afluentes da bacia do São Francisco, a caracterização e descrição dos aspectos hidrogeológicos e ilustrações serão apresentadas com menor detalhamento, que poderá ser consultado em relatórios do referido Plano Diretor

c.1) Síntese Hidrogeológica e Definição das Áreas Mais Favoráveis À Captação; Demandas e Disponibilidades

Tendo por base todas as informações e o processamento dos dados obtidos nas etapas anteriores, referentes à quantidade e qualidade das águas subterrâneas, procedeu-se a uma análise para definição das áreas mais favoráveis à captação e das principais restrições ao seu aproveitamento, incluindo um balanço entre as demandas e disponibilidades, visando o aproveitamento racional desses recursos na bacia.

Geologia Regional

A geologia da área é representada pelas seguintes unidades litoestratigráficas:

- Depósitos aluviais do Quaternário (AL) –Areias, conglomerados, siltes e argilas
- Colúvios, elúvios e coberturas detríticas do Terciário-quaternário (TQ) – sedimentos coluviais areno-argilosos, níveis de cascalho.
- Arenitos representados pelas formações Mata da Corda, Areado e Urucuia do Cretácio (K).
- Supergrupo Bambuí, formação Três Marias do Proterozoico Superior (BTM), constituída de arcóseos e pelitos.
- Supergrupo Bambuí - Formação Paraopeba do Proterozoico Superior (BP), constituída de calcários, dolomitos, margas, ardósias e siltitos.
- Grupo Paranoá constituído de quartzitos, pelitos, calcários, dolomitos, chertes e conglomerados do Proterozoico Médio (PR).
- Formação Paracatu, constituída de filitos, carbonosos ou não, e quartzitos (PAF) do Proterozoico Médio.
- Formação Vazante caracterizada por ardósias, fosforitos e quartzitos (VAA); e dolomitos, calcários, chertes, metapelitos e fosforitos (VAD). do Proterozoico Médio.
- Grupo Canastra do Proterozoico Médio (CAQ), constituído de quartzitos e filitos.

Há ainda muita controvérsia em relação à classificação e posicionamento estratigráfico das formações Vazante e Paracatu. Inicialmente atribuídas ao Grupo Bambuí (conforme DNPM, mapa geológico ao milionésimo, 1976 e CETEC, Planoroeste II, 1980), foram reclassificadas pela COMIG, no mapa geológico do Estado de Minas Gerais, 1994. Em trabalho realizado pela Pedogeo, Irriplan e Água e Terra (2003) consta uma detalhada descrição da evolução da classificação estratigráfica, que envolve estas formações e o próprio Supergrupo Bambuí. Estas controvérsias e dúvidas de classificação são motivadas, em parte, pelo complexo arcabouço estrutural da área.

Os Sistemas Aquíferos

A distribuição dos principais sistemas aquíferos na da sub-bacia do rio Paracatu está representada no Quadro 98 onde constam as relações entre os sistemas aquíferos e as unidades geológicas associadas, assim como os tipos de rochas dominantes.

A classificação dos grandes grupamentos aquíferos foi baseada nos aspectos lito-estruturais das unidades geológicas e nas condições de permeabilidade e porosidade, abrangendo os aquíferos granulares, com permeabilidade primária e armazenamento de água nos espaços intergranulares; aquíferos cársticos com permeabilidade secundária associada a cavidades de dissolução das rochas carbonáticas; aquíferos cársticos-fissurados com água acumulada em fraturas e cavidades de dissolução; e sistemas em meio fraturado onde o armazenamento e circulação das águas são restritos às fraturas – porosidade por fissuração.

c.2) Ocorrência, Distribuição E Principais Características Lito Estruturais

A ocorrência, distribuição e principais características litológicas e estruturais de cada sistema são descritas em continuação. A maior parte das informações aqui constantes foi extraída do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do rio Paracatu, elaborado pelo Consórcio MAGNA/DAM/EYSER para a SOAPA-Ruralminas (1996); Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais (COMIG, 1994; Projeto São Francisco, Micro Região de Unaí, CPRM (1998); e SBG (2001).

Quadro 98 - Sistemas aquíferos da bacia do rio paracatu

SISTEMAS AQUÍFEROS DAS BACIAS AFLUENTES DO RIO PARACATU EM MINAS GERAIS		
SISTEMAS AQUÍFEROS	UNIDADES GEOLÓGICAS ASSOCIADAS	LITOGIAS PREDOMINANTES
MEIO GRANULAR		
Aquíferos quaternários	Areias, siltes, argilas e cascalhos.	Depósitos aluviais (AL).
Aquíferos Terciário Quaternários	Areias finas a médias com argilas, às vezes lateritizadas, e cascalheiras (TQ)	Coluviões e coberturas detríticas.
Aquíferos Cretácicos	Arenitos predominantemente finos, secundariamente, conglomerados;	Formações Mata da Corda, Urucua e Areado
MEIO CÁRSTICO		
Aquíferos Cársticos	Fácies carbonatada – calcários e dolomitos, com intercalações argilosas (PB).	Formação Paraopeba do Grupo Bambuí
MEIO CÁRSTICO-FISSURADO		
Aquífero de Rochas Pelítico-Carbonáticas	São constituídos pelas facies argilo-carbonatadas a pelíticas do Grupo Bambuí de idade Precambriana (PEB).	De ampla distribuição na bacia, estendem-se por 33,6% da área total da bacia.
MEIO FISSURADO		
Aquífero de Rochas Pelíticas	São representados pelos filitos e quartzitos	Formação Paranoá e arcósios da Formação Três Marias, ambas pertencentes ao Grupo Bambuí, englobando ainda quartzitos e xistos do Grupo Canastra (PEBC).

Aquíferos Granulares

Aquíferos onde a água subterrânea preenche os poros ou interstícios da rocha; são representados pelas rochas sedimentares detríticas do Cretáceo (K), por coluviões e coberturas detríticas do Terciário-Quaternário (TQ) e pelos depósitos aluviais recentes do Quaternário (AL).

Aquíferos Quaternários

Unidade aquífera correspondente aos depósitos aluviais recentes, de origem fluvial, encontrados ao longo da rede de drenagem, nos canais fluviais, nas planícies de inundação e nos terraços. As características litológicas e dimensionais dessa unidade aquífera são variáveis e dependentes, sobretudo, dos processos genéticos de formação dos depósitos aluviais.

Estima-se a sua espessura média em 5 m, podendo atingir 10 m ou mais, excepcionalmente, no médio e baixo curso do rio Paracatu, sendo exíguas e imprecisas as informações disponíveis.

As variações de composição granulométrica podem ser bastante acentuadas, sendo comuns as alternâncias de leitos arenosos, sílticos e argilosos, com menor frequência dos termos grosseiros ou depósitos de cascalho encontrados nos estratos basais no fundo de canais.

Aquíferos Terciário-Quaternários

Unidade aquífera que corresponde ao manto de alteração das rochas, e aos sedimentos detríticos de cobertura, formados pela deposição de materiais coluviais resultantes dos processos de pedimentação correlacionados à superfície de aplainamento do Terciário – Quaternário.

Os mantos de alteração (saprólitos e elúvios), ocorrem de modo generalizado; sua constituição e espessura são muito variáveis.

170

Os depósitos detríticos de cobertura (TQ) são encontrados basicamente sob duas condições distintas. No primeiro caso, ocupam mais freqüentemente a borda ocidental da bacia, nas porções mais elevadas do relevo regional, entre as cotas de 800-1000 m, constituindo superfícies planas a levemente onduladas, nas formas de platôs ou pediplanos, freqüentemente dissecados e limitados por escarpas resultantes de processos erosivos atuais. Esses sedimentos são litologicamente caracterizados por coberturas detríticas autóctones e alóctones constituídas basicamente de areias de granulação média a fina, misturadas com material argiloso, às vezes lateritizadas e com horizontes de canga na base. São comuns os depósitos de cascalheiras, com seixos de quartzo e quartzito e concreções ferruginosas. Normalmente suas espessuras não ultrapassam os 10 m, embora excepcionalmente alcancem 30 m. Essas ocorrências relacionadas a cotas elevadas distribuem-se mais freqüentemente, no alto curso das sub-bacias dos rios Preto, Entre Ribeiros, São Pedro, Santa Isabel, Escuro e Claro.

No segundo caso, os sedimentos de cobertura TQ distribuem-se de modo mais contínuo e homogêneo nas faixas da depressão Sanfranciscana, no médio e baixo cursos das sub-bacias dos principais rios, sob cotas que variam de 400 a 600m e com espessuras que, em geral, não ultrapassam os 5 m.

Aquíferos Cársticos

Esta unidade aquífera está associada às rochas da Formação Paraopeba - facies carbonática, do Grupo Bambuí, constituídas pela predominância de calcários silicosos, oolíticos, pisolíticos, e calcários dolomíticos, compactos e com baixo grau de metamorfismo, incluindo ainda as zonas carstificadas da formação Vazante, em litologias carbonáticas (calcários e dolomitos).

São rochas-reservatório cuja porosidade e permeabilidade dependem, sobretudo, do grau de fraturamento e do desenvolvimento das cavidades e aberturas causadas pela dissolução dos carbonatos. Por apresentarem vazios de dissolução muito irregulares e aleatórios, freqüentemente possuem permeabilidades secundárias muito variáveis, de local a local.

171

Embora pouco conhecidas e estudadas na bacia do Paracatu, estas unidades aquíferas podem apresentar potencial hidrogeológico elevado, dadas as suas características litológicas, estruturais e de posicionamento estratigráfico subjacente aos aquíferos granulares, propícios à infiltração e à percolação de águas subterrâneas.

Admite-se que as condições de recarga devam ser mais efetivas para esta unidade aquífera em determinadas áreas, devido às contribuições dos aquíferos granulares sobrepostos e devido aos demais aportes provenientes dos cursos d'água, sob controle estrutural, superimpostos por fraturamentos.

As direções de controle estrutural NNE e NNW devem constituir-se em zonas preferenciais de recarga e circulação de águas subterrâneas, facilitada pelas estruturas cársticas de dissolução.

Aquíferos Cárstico-Fissurados

Constitui uma unidade aquífera com ampla distribuição na bacia, representada pelas rochas da Formação Paraopeba -facies argilo-carbonatada a pelítica que correspondem a ardósias, meta-argilitos, meta-siltitos e margas, com freqüentes interdigitações de lentes carbonáticas (PB). A formação Vazante (VAD) também se inclui nesta classificação, uma vez composta de calcários, dolomitos, chertes e metapelitos.

Dentro dessa unidade ocorrem freqüentes variações faciológicas, por vezes muito locais, responsáveis por uma grande complexidade litológica, relacionada ao paleoambiente de sedimentação.

Esta unidade aquífera apresenta características de funcionamento cárstico-fissural, termo adotado face à ocorrência de interdigitações dos termos carbonáticos, às vezes puros, às vezes impuros, mas sujeitos aos processos de carstificação, e freqüentemente associados ao forte tectonismo que promove descontinuidades de rupturas e deformações nas rochas carbonáticas, facilitando a sua dissolução e formação de vazios de permeabilidade secundária.

O potencial hidrogeológico desta unidade depende pois, do grau de fraturamento e desenvolvimento das cavidades e aberturas de dissolução dos carbonatos. Por se tratar de um meio de grande complexidade litológica e geométrica, pode apresentar características e potencialidades ora de caráter cárstico, ora fissural, ora misto de um meio fissurado e cárstico.

Aquíferos Fissurados.

Os aquíferos puramente fissurados são representados na bacia pelas rochas metamórficas do Grupo Canastra, do Pré-Cambriano Médio; pelas rochas quartzíticas da Formação Paranoá; rochas arcossianas da Formação Três Marias, do Grupo Bambuí, do Pré-Cambriano Superior, incluindo ainda as rochas da formação Paracatu, constituídas de filitos e quartzitos.

As rochas metamórficas do Grupo Canastra têm ocorrência bastante restrita, na borda ocidental sul da bacia, e são representadas por quartzo-xistos constituídos de intercalações laminares de quartzito e xisto de cor cinza, quartzitos cataclásticos e xistos grafitosos, plaqueados, de coloração prateada. Caracteriza-se estruturalmente por intensos dobramentos em estilo assimétrico e pelo conjunto de falhas de cavalgamento com estilo de “escamas imbricadas”, e inversões estratigráficas. O seu contato inferior se dá com as rochas da Formação Paraopeba através de uma extensa falha de cavalgamento onde o Grupo Canastra mais antigo, encontra-se estruturalmente sobreposto ao Grupo Bambuí, mais novo na coluna estratigráfica.

As rochas da Formação Paranoá, igualmente de ocorrência restrita, afloram à superfície sob uma estreita faixa a noroeste, na região de Unai, no alto-médio curso do rio Preto, apresentando rochas quartzo-areníticas de granulação média a grosseira, intensamente dobradas, ocupando núcleos de anticlinais, sob a forma de “janelas de erosão”.

As rochas da Formação Três Marias, de maior expressão geográfica, constitui o topo da seqüência estratigráfica do Grupo Bambuí, apresentando na base contato gradacional com as rochas pelítico-carbonatadas da Formação Paraopeba, encontrando-se freqüentemente recoberta pelos sedimentos cretácicos (K) e pelas coberturas detríticas terciário-quadernárias (TQ).

A Formação Três Marias apresenta-se regionalmente como uma sucessão de mais de 400 m de sedimentos imaturos, onde predominam arcósios finos a médios, de cor cinza-esverdeada, com intercalações finas, decimétricas, de siltitos feldspáticos. O produto de intemperismo destas rochas apresenta estruturas de esfoliação esferoidal, com o desenvolvimento de matações.

Características dos Pontos d’água inventariados e Capacidade de Produção

Durante a execução do Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do rio Paracatu (1996) foram cadastrados 403 pontos d’água constantes do Banco de

Dados da COPASA MG e do inventário hidrogeológico realizado pelo CETEC (1976 e 1978). Os principais resultados obtidos são sintetizados a seguir:

- A maioria dos pontos d'água (207 ou 51,3%) é representativa do sistema cárstico ou cárstico fissurado; 78 pontos (19,5%) foram perfurados nos arenitos cretácicos; 37 pontos (9,2%) são representativos dos aquíferos associados às coberturas detríticas do TQ; os sistemas aluviais e do Grupo Canastra têm reduzido número de poços;
- As profundidades dos poços tubulares variam de 33 a 250 metros, com maior incidência entre 80 e 110 metros;
- As profundidades dos níveis estáticos dos poços em um campo amostral de 281 pontos variaram de 0 a 70 metros, com média de 13,3 m.
- A distribuição de frequência das vazões específicas mostra que a quase totalidade dos poços apresenta valores inferiores a 2 l/s/m, com média de 9,97 l/s/m, mínima de 0,0012 e máximo de 27,47 l/s/m. Considerando a distribuição para o intervalo de 0 a 2 l/s/m, verifica-se que a moda é representada pelo intervalo de 0 a 0,1 l/s/m e a mediana é igual a 0,15 l/s/m.
- Estes resultados indicam, para o conjunto da bacia representada pelos sistemas fissurados e cárstico-fissurados, capacidade de produção baixa a muito baixa. A exceção ocorre apenas nos aquíferos cársticos que podem ser considerados como de alta produtividade em alguns locais.

Uma análise das características físico-químicas das águas por sistema aquífero mostra uma diferenciação bem marcada em relação aos sistemas granulares (Cretácico e Terciário-quaternário) quando comparados aos cársticos e cárstico-fissurados.

Potencial e Disponibilidades Hídricas

Os dados de vazão específica dos poços tubulares inventariados na bacia do rio Paracatu são relativos, na sua grande maioria, aos aquíferos do sistema Bambuí - cársticos ou cárstico-fissurados. Por este motivo, foi realizado um tratamento estatístico deste parâmetro considerando o total de poços inventariados na bacia. Para os poços que dispunham de informações relativas às coordenadas geográficas, foi elaborado o mapa de tendência de distribuição regional das vazões específicas.

Capacidade de Produção dos Poços

A distribuição de frequência das vazões específicas mostra que a quase totalidade dos poços apresenta valores menores que 2 l/s.m, com média de 0,97 (l/s).m, variando de um mínimo de 0,0012 a 27,47 l/s.m, com desvio padrão igual a 3,61. Eliminando-se três valores excepcionalmente altos relativos aos aquíferos carbonáticos, a média cai para 0,558 l/s.m. Detalhando esta distribuição para o intervalo de 0 a 2 l/s.m), verifica-se que a moda é representada pelo intervalo de 0 a 0,1 l/s.m e a mediana é igual a 0,15 l/s.m, ou seja, metade dos poços têm vazões específicas abaixo deste valor, enquanto apenas 25 % dos poços tem este parâmetro maior do que 0,4 l/s.m (1440 l/h.m).

175

Estes valores indicam que metade dos poços tem capacidade para produzir vazões inferiores a 16.000 l/h para rebaixamentos dos níveis de água de 3º metros. Em termos de probabilidade, 1 em cada 4 poços perfurados pode produzir vazões superiores a 43.000 l/h, considerando idêntico rebaixamento.

Maiores detalhes sobre o tratamento estatístico das vazões específicas podem ser obtidos e consultados nos gráficos de distribuição de frequência e nos mapas que dão a tendência de distribuição deste parâmetro, constantes dos relatórios do PDRH da bacia do rio Paracatu.

Capacidade de Armazenamento Subterrâneo

A análise das relações entre as águas superficiais e subterrâneas na bacia foi efetuada a partir dos dados de hidrogramas oriundos de 17 estações fluviométricas catalogadas pela Copasa/Hidrosistemas (1993) através dos quais foram derivados parâmetros que permitiram a determinação, em primeira aproximação, do potencial hidrogeológico da bacia do rio Paracatu

As reservas reguladoras, correlacionadas à “capacidade de armazenamento” e ao escoamento subterrâneo, foram calculadas a partir das curvas de esgotamento. Para o total da bacia do rio Paracatu, a montante da estação de Porto Alegre, com uma área de drenagem de 42.367 km², a capacidade de armazenamento é igual a 5.764 E+6 m³. O total de escoamento subterrâneo para a mesma estação é de 8.022 E+6 m³/ano. O total das reservas reguladoras dos sistemas aquíferos, em termos médios de longo período, na bacia seria da ordem de 5.764 E+6 m³, estimativa mais conservadora, a 8.022 E+6 m³.

176

Estes volumes equivalem a alturas de lâmina d'água de 136 mm e 189 mm, que relacionadas ao valor médio do total pluviométrico anual na bacia (1340 mm) fornece uma ordem de grandeza da taxa de infiltração (I) ou recarga média anual, englobando os diversos sistemas aquíferos:

$$I = 136 \times 100/1340 = 10,14\%$$

$$189 \times 100/1340 = 14,1\%$$

Considerando-se como os “recursos explotáveis” na bacia um volume total correspondente a 30% das reservas reguladoras, tendo em conta a manutenção de um fluxo de base de 70%, tem-se Recursos

$$\text{Explotáveis} = 5.764 \text{ E+6} \times 0,30 = 1729 \text{ E+6 m}^3. = 8.022 \text{ E+6} \times 0,30 = 2406 \text{ E+6 m}^3 \text{ ou, em outros termos, } 2000 \text{ E+6} \pm 400 \text{ E+6 m}^3.$$

Ao se considerar os valores dos coeficientes de armazenamento " α " com os de descarga subterrânea específica " q ", verifica-se uma boa compatibilidade entre os mesmos, segundo dois agrupamentos, discriminados no Quadro 99.

Quadro 99 - Coeficiente de Esgotamento e Descarga Subterrânea Específica

a) Agrupamento I: $\alpha = [0,0048 ; 0,0065]$ e $q = [7,0 \text{ l/s/km}^2 ; 23,8 \text{ l/s/km}^2]$:

Sub-bacia/rio	Estação Fluviométrica	$\alpha \text{ (dia}^{-1}\text{)}$	$q \text{ (l/s/km}^2\text{)}$
Escuro	Fz. Córrego do Ouro	0,0059	23,8
São Pedro	Fz. Poções	0,0058	9,1
Preto	Fz. Limeira	0,0057	10,7
Santo Antônio	Veredas	0,0048	12,0
Santa Isabel	Fz. Nolasco	0,0062	16,0
Rio da Prata	Porto Diamante	0,0062	9,9
Preto	Porto dos Poções	0,0065	7,0
Verde	Fz. Rio Verde	0,0064	2,8*

b) Agrupamento II: $\alpha = [0,0069 ; 0,0080]$ e $q = [5,2 \text{ l/s/km}^2 ; 9,8 \text{ l/s/km}^2]$:

Sub-bacia	Estação Fluviométrica	$\alpha \text{ dia}^{-1}$	$q \text{ (l/s/km}^2\text{)}$
Claro	Fz. Limoeiro	0,0069	9,8
Barra da Égua	Fz. Barra da Égua	0,0070	5,2
Paracatu	Porto Alegre	0,0070	6,0
Paracatu	Porto Buriti	0,0072	6,8
Paracatu	Porto da Extrema	0,0071	6,4
Paracatu	Caatinga	0,0071	6,2
Rio do Sono	Cachoeira do Paredão	0,0073	5,7
Paracatu	Ponte BR 040	0,0080	6,4

* Excessão do agrupamento acima

A capacidade de armazenamento calculada para a estação da Ponte BR-040 no rio Paracatu, com uma área de drenagem de 8.250 km^2 , é de 1.130 Hm^3 , o que corresponderia a cerca de 20% do volume total armazenado, calculado para a estação de Porto Alegre.

A capacidade de armazenamento calculada para a estação de Cachoeira do Paredão no rio do Sono, com uma área de drenagem de 5.720 km^2 , é de

657 Hm³, o que corresponde a um percentual de apenas 11 % da capacidade específica calculada em Porto Alegre no Paracatu.

Reservas Reguladoras e Recursos Explotáveis

A quantificação das reservas de água subterrânea pressupõe um conhecimento das características dimensionais e da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento das diversas unidades hidrogeológicas envolvidas. O conhecimento atual dos parâmetros dos sistemas aquíferos que ocorrem na bacia, entretanto, é ainda insuficiente para uma quantificação mais precisa, sendo baseada em estimativas ou em reduzido número de testes de aquífero.

As reservas reguladoras ou renováveis são aquelas relacionadas à alimentação anual ou taxas de recarga dos diversos sistemas. Estas reservas reguladoras são aquelas que definem os recursos explotáveis, considerados como a quantidade máxima de água que pode ser utilizada, sem comprometer as chamadas reservas permanentes ou acumuladas.

178

Em termos médios de longo período e em condições não influenciadas, admite-se que as entradas de água nos sistemas igualam as descargas ou saídas, que em geral são responsáveis pelo fluxo de base dos cursos d'água. Teoricamente, uma exploração que iguale a recarga total do sistema acabaria por influenciar o regime de vazões mínimas do escoamento superficial. Por este motivo, admite-se que os recursos explotáveis representam apenas uma parcela das reservas reguladoras, a fim de garantir a manutenção de uma vazão mínima dos cursos d'água.

Modelo Hidrogeológico e Balanço Hídrico

O modelo hidrogeológico da bacia do rio Paracatu é caracterizado pelos seguintes aspectos:

- As áreas de recarga principais correspondem às superfícies tabulares (chapadas) elaboradas sobre as formações areníticas do Cretáceo ou coberturas

detríticas do Terciário em cotas altas que se distribuem pelos interflúvios e divisores de água da bacia. Nestas áreas, com formações superficiais (Latosolos e areias quartzosas) muito permeáveis, o escoamento superficial é muito reduzido e a capacidade de infiltração muito elevada.

- Os sedimentos detríticos do Terciário-quaternário que se estendem ao longo da depressão Sanfranciscana constituem também áreas de recarga dos aquíferos freáticos superficiais que, embora tenham pequeno potencial hidrogeológico, contribuem em parte para a regularização do escoamento superficial e para a infiltração e recarga dos aquíferos inferiores em meio fissurado e cárstico-fissurado representados pelas rochas do Grupo Bambuí. Neste último sistema, além da filtração vertical descendente através do freático superior ou de infiltração mais profunda do capeamento sedimentar cretácico, a recarga processa-se também nos pontos de coincidência fratura-drenagem, ou seja, através dos leitos dos cursos d'água controlados por direções de fraturas.

- As áreas de descarga ocorrem através de inúmeras fontes de encosta, no contato dos arenitos cretácicos com o substrato das rochas precambrianas do Bambuí ou, eventualmente, no contato com níveis argilosos intercalados nos arenitos, a partir de aquíferos suspensos; e através dos principais cursos d'água em cotas baixas, por filtração vertical ascendente dos sistemas cársticos e cárstico-fissurados. No primeiro caso, as principais feições características da drenagem dos aquíferos cretácicos são as inúmeras "veredas", vales de fundo chato, com ocorrência de buritis e solos hidromórficos, que se originam nas áreas dos planaltos, nos sopés das encostas ou mesmo na zona de depressão, drenando sedimentos detríticos do Terciário-quaternário.

- Em cotas baixas, ao longo dos principais cursos d'água, os sistemas aluviais, por outro lado, constituem zonas de ativa troca de água, em interconexão com as águas superficiais, recebendo recarga dos rios nos períodos de águas altas, com restituição nos períodos de estiagem, onde sua carga hidráulica encontra-se em níveis superiores às dos rios. À exceção destas zonas onde a recarga é intermitente em função da altura dos níveis dos rios, os demais pontos de

descarga nas encostas, situados em cotas superiores, contribuem ao longo de todo o ano.

Uma estimativa do balanço hídrico global da bacia do rio Paracatu foi efetuada em termos médios, com base nos dados hidroclimatológicos e hidrogeológicos disponíveis.

A elaboração do balanço foi efetuada a partir dos seguintes dados e pressupostos básicos:

- O volume médio anual da precipitação (P), igual a 1245 mm, foi extraído dos levantamentos efetuados pelo Cetec na região Noroeste de Minas Gerais (1981).
- O escoamento superficial total ($E_t = E_{sup} + E_{sub}$) foi calculado a partir das descargas médias mensais do período 1939/40-1988/89 (Copasa-Hidrosistemas, 1990) da estação fluviométrica de Porto Alegre, próximo à foz do rio São Francisco, com uma área de drenagem de 42.367 Km².
- O fluxo subterrâneo para bacias vizinhas foi considerado inexistente ou desprezível, tendo em conta que os aquíferos são freáticos e sua divisória coincide com a das águas superficiais e, conseqüentemente, com os limites da bacia.
- A variação anual de armazenamento pode ser considerada nula ou tendendo para zero, uma vez que os dados utilizados são médias de longo período.
- A descarga artificial, representada pela extração de água subterrânea por bombeamento de poços - estimada em 4,1 E + 6 m³ anuais - é insignificante em termos de volumes envolvidos no balanço e pode ser desprezada para efeitos práticos.
- Os volumes de evapotranspiração (ETP) média anual, de difícil estimativa, representa o termos desconhecido do balanço, sendo detmrinados por diferença

entre o total de entradas (precipitação) e a soma das demais componentes de saída dos sistema.

Os resultados obtidos podem ser sintetizados na seguinte equação do balanço:

$$P = ETP + (E_{sup} + E_{sub})$$

de onde:

$$1245 \text{ mm} = 900 \text{ mm} + (155 \text{ mm} + 190 \text{ mm})$$

Uso Atual das Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas na bacia do rio Paracatu são utilizadas através de poços tubulares, poços rasos escavados e também pelo aproveitamento e captação de fontes e nascentes. A maior parte das fontes são procedentes dos aquíferos cretácicos. Poços rasos escavados são utilizados para abastecimento na zona rural de pequenas comunidades e fazendas, nos sistemas aluviais e nas coberturas Terciário -quaternárias. Nos demais sistemas, o aproveitamento é feito através de poços tubulares.

181

Não foi realizado levantamento de campo para verificar as condições de uso atual das águas subterrâneas, o que demandaria um tempo relativamente grande, uma vez que muitos poços localizam-se na zona rural e destinam-se ao abastecimento de fazendas e pequenas localidades.

A maior parte da água explorada destina-se ao abastecimento público, ao uso doméstico e pecuário. Pelas informações existentes, é reduzida a quantidade de água utilizada para fins industriais ou agrícolas (irrigação).

A totalidade das cidades da bacia conta com serviços de abastecimento de água explorados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA - além de alguns distritos e comunidades cujos serviços são mantidos pelas prefeituras municipais. Em algumas cidades, o sistema é atendido por mananciais superficiais, com a água subterrânea tendo caráter complementar ou de reforço.

Cerca de 8 cidades da bacia são abastecidas completamente a partir de mananciais subterrâneos.

Uma estimativa dos volumes explorados para abastecimento público, considerando as vazões médias e regimes de bombeamento normalmente praticados na região, segundo informações da Copasa, indica um total de aproximadamente $4,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ anuais, quantitativo muito pequeno em comparação com as disponibilidades e recursos exploráveis da bacia.

Considerando, por outro lado, o número de poços em operação na bacia, cujo total não deve ser muito superior aos poços cadastrados (233 poços), o volume total máximo passível de ser explorado, tendo em conta (1) a vazão específica média (1 l/s.m) obtida nos testes de produção; (2) um rebaixamento de 30 metros e (3) um regime de 15 horas/dia, seria igual a $137,7 \times 10^6 \text{ m}^3$. Este volume corresponderia à capacidade da estrutura de captação instalada atualmente, valor que representa apenas 8 % dos recursos exploráveis ou disponibilidade de água na bacia.

A Qualidade das Águas

A análise dos aspectos relativos à qualidade das águas subterrâneas na bacia baseia-se em 106 análises físico-químicas disponíveis no Banco de Dados da Copasa MG e no inventário hidrogeológico da região efetuado pelo Cetec em 1976. Dentre estas análises, 35 são consideradas completas, ou seja, incluem a determinação dos principais constituintes iônicos, enquanto as demais são parciais, a maioria sem determinação de sódio e potássio.

Do total de análises, 69 são de águas procedentes de poços tubulares, 20 de poços escavados (manuais) e 17 são de fontes pontuais. Em termos de distribuição por sistema aquífero, 58 são de águas do aquífero Bambuí (CaP&B + P&B), 20 dos aquíferos Cretácicos, 10 do sistema Terciário-quaternário e 2 dos sistemas aluviais. Tem-se ainda 6 análises que são de poços que captam conjuntamente os aquíferos TQc+P&B, e 10 análises que não registram o sistema aquífero captado (não definido).

As verificações do balanço iônico das análises completas mostraram que 75 % das análises satisfazem os limites de erros permissíveis. Acrescente-se que as análises que apresentam problemas de balanço iônico são aquelas de muito baixo conteúdo de sólidos dissolvidos, em geral inferior a 2 meq/l.

Do total de análises disponíveis, 89 referem-se a pontos água com indicação das coordenadas geográficas. Para êstes pontos foram elaborados mapas de contorno da condutividade elétrica, dureza, cloretos e sulfatos, a fim de caracterizar a tendência regional de distribuição destes parâmetros.

Características Físico - Químicas

O conjunto das águas subterrâneas da bacia apresenta as seguintes características físico-químicas:

- A condutividade elétrica, que reflete a concentração de sais dissolvidos varia de 3,75 a 2.028 micromhos/cm, com média de 196 micromhos/cm. Excluindo-se um único valor elevado, as águas mostram variação máxima até 700 micromhos/cm, com predominância de valores até 200 micromhos/cm. A mediana é igual a 120 e apenas 20 % das amostras ultrapassam 350 micromhos/cm. A distribuição de condutividade elétrica mostra, de um modo geral, a predominância de baixos valores em todo o médio e alto cursos, com um único pico na região de Santa Fé de Minas e altos localizados associados a zonas calcárias.
- As águas são em geral alcalinas e com dureza moderada. A alcalinidade total varia de 1,5 a 364 mg/l de CaCO_3 com média de 92,5. A maior parte das amostras (cerca de 65 %) tem valores inferiores a 100 mg/l de CaCO_3 . A dureza total varia de 0,21 a 362 mg/l CaCO_3 com média de 78,2. Como se verá adiante, êstes valores mais baixos encontram-se influenciados pelas águas dos aquíferos Cretácicos e Terciário-quaternários, embora a maior parte das amostras provenha de sistemas carbonáticos ou com alguma parcela deste componente nas rochas.

- As concentrações de cloretos e sulfatos são muito baixas com predominância de valores menores que 50 mg/l de cloretos (média de 13,5 mg/l) e menores que 8 mg/l de sulfatos, o que indica a ausência de águas com altas salinidades na bacia.
- No conjunto, as águas têm caráter básico ou alcalino, com predominância de pH acima de 7,5 até 8,9. A média é de 7,56.
- As concentrações de ferro total variam de 0 a 90, com média de 1,8 mg/l. Cerca de 80 % das amostras apresentam concentrações inferiores a 1,0 mg/l.

Uma análise das características físico-químicas das águas por sistema aquífero mostra uma diferenciação bem marcada em relação aos sistemas granulares (Cretácico e Terciário-quaternário) quando comparados aos cársticos e cárstico-fissurados.

De um modo geral, os aquíferos granulares, em função do caráter litológico das rochas reservatórios e boas condições de circulação das águas, mostram-se com baixo conteúdo de sólidos dissolvidos, baixa dureza e muito baixas concentrações de cloretos e sulfatos. São águas em geral ácidas, com pH abaixo de 7 devido ao conteúdo de dióxido de carbono dissolvido.

Nos aquíferos areníticos do Cretáceo, a condutividade varia de 3,75 a 203 com média de 43 micromhos/cm. No sistema Terciário-quaternário a condutividade média é de 61,5 micromhos/cm. No sistema Bambuí a média é de 245, atingindo um valor máximo de 679 micromhos/cm.

A dureza das águas nos aquíferos Cretáceo e Terciário-quaternário varia de 0,33 a 124, com média de 17,8 e 21,8 mg/l CaCO₃, respectivamente. No sistema Bambuí a média é de 106,1 com valor máximo de 362 mg/l CaCO₃.

As concentrações de cloretos e sulfatos, muito baixas no sistema Bambuí, médias de 8,1 e 3 mg/l, apresentam-se ainda mais baixas nos aquíferos granulares, com

média de 2,5 mg/l no aquífero Cretácico, para ambos os parâmetros, e de 1,0 e 1,78 mg/l, respectivamente no aquífero Terciário-quaternário.

Nos aquíferos cretácicos, salvo algumas exceções devidas a eventual presença de cimento calcífero nos arenitos, ocorre em geral pH abaixo de 7 com predominância de valores na faixa de 5 a 6. No aquífero Terciário-quaternário, a exceção de trechos onde há influência do substrato Bambuí devido à sua pequena espessura, são comuns também águas com pH variando de 5,1 a 6,9.

Classificação Quanto ao Uso

A análise da qualidade das águas subterrâneas no que se refere à sua adequabilidade aos diversos usos baseia-se, genericamente, nas informações das principais características físico-químicas conhecidas e restringem-se aos aspectos relacionados à potabilidade e ao uso agrícola. Utilizou-se como referência o padrão de potabilidade das águas do Ministério da Saúde (Portaria nº 36 de 19/01/1990) e a classificação das águas para irrigação segundo o método do “U.S. Salinity Laboratory” (diagrama de Wilcox).

185

Águas para o Consumo Humano

Alguns parâmetros como metais pesados, componentes orgânicos e conteúdo microbiológico não foram considerados por falta de informações ou por constituírem dados antigos, sem validade para uma análise atual.

Os sistemas aquíferos aluvial, de coberturas detríticas e cretácicos não apresentam restrições ao consumo humano, à exceção dos valores de pH, em alguns locais, para os dois últimos sistemas (águas ácidas, com ocorrência de valores inferiores a 6,5) e ocasionais concentrações algo elevadas de ferro total. Embora não se disponha de dados atuais sobre as condições bacteriológicas das águas, deve-se destacar que os sistemas aluviais e de coberturas detríticas são extremamente vulneráveis à contaminação, devido à sua pequena profundidade e intercomunicação com as águas superficiais, no caso dos aluviões, o que

favorece os riscos de poluição e degradação da qualidade das águas, se não forem tomadas medidas de proteção.

No sistema aquífero Bambuí, considerando em conjunto os tipos cársticos, fissurados e cárstico-fissurados, não há também maiores restrições ao consumo humano, salvo valores elevados de pH em algumas áreas (20 % das amostras ultrapassam o valor de 8,5), ferro total elevado e, em casos mais esporádicos, o manganês. No caso do ferro total, cerca de 40 % das amostras ultrapassam o limite recomendado, o que é comum em muitas regiões do Estado. No sistema Bambuí carbonático, a dureza das águas pode constituir um fator de objeção, não se descartando a possibilidade de ocorrência em alguns locais de águas com dureza excessiva. Nas análises disponíveis a dureza não ultrapassa 360 mg/l de CaCO₃. Vale destacar que os aquíferos cársticos, devido às condições de circulação das águas em cavidades de dissolução e condutos cársticos, com possibilidade de fluxo turbulento e rápido, são muito vulneráveis à contaminação.

Água para Consumo Agrícola

186

Para a classificação das águas subterrâneas para irrigação foi utilizado o método recomendado pelo "U.S. Salinity Laboratory" (diagrama de Wilcox), tendo em conta a condutividade elétrica, em micromhos/cm a 25° C e a razão de adsorção de sódio (SAR).

Nas águas do sistema Bambuí a maioria enquadra-se nas classes C1S1 e C2S1, mostrando baixo a médio risco de salinidade e baixo risco de sódio, podendo ser utilizadas na irrigação para a maioria das culturas, desde que tomados os cuidados normais de drenagem dos solos. Em alguns casos, onde ocorrem águas do tipo bicarbonatadas sódicas ocorrem valores de SAR mais elevados, atingindo a classe C2S2. Nas amostras disponíveis (análises completas), 25 % das águas do Bambuí são sódicas, das quais 5% têm valores de SAR enquadrados na classe S2.

As águas dos aquíferos granulares (Terciário-quaternários e Cretácicos) não apresentam restrições ao uso agrícola, tendo baixa condutividade e baixos valores de SAR (classe C1S1).

Áreas mais Favoráveis à Captação e Recomendações para Exploração

As condições de captação de água subterrânea e a seleção de áreas mais favoráveis à exploração serão analisadas em função dos seguintes fatores:

- Produtividade ou capacidade de produção dos poços
- Profundidade de captação
- Profundidade dos níveis d'água
- Qualidade das águas

Em termos de capacidade de produção através de poços, as informações sobre os diversos sistemas aquíferos abordadas nos itens anteriores indicam como de maior potencial os sistemas relacionados às rochas carbonáticas do Grupo Bambuí CaP&B que ocorrem em faixas relativamente estreitas na porção ocidental da bacia, região de Vazante-Lagamar, Morro Agudo Paracatu e ao longo do vale do rio Preto. Estes sistemas, em função do desenvolvimento de carstificação (cavidades de dissolução) podem fornecer, através de poços, vazões superiores a 100 m³/h. As maiores vazões específicas obtidas atingem 27 l/s.m.

Os sistemas relacionados aos arenitos cretácicos (K), em que pese sua posição topográfica, caracterizando-se sobretudo como áreas de recarga, responsáveis pela alimentação de inúmeras fontes de encostas, apresentam produtividades médias, devido a sua constituição litológica e características hidráulicas, com transmissividades da ordem de 50 a 200 m²/dia, conforme os dados disponíveis. Vazão específica máxima de 11,1 l/s.m foi constatada em um único poço e a média, sem considerar este valor máximo, é de 0,63 l/s.m (2.268 l/h.m). Poços com vazões específicas desta ordem podem produzir 45 a 55 m³/h para rebaixamentos de 20 - 25 metros.

Os aquíferos aluviais (Qal), por outro lado, apresentam condições bastante variáveis em termos de produtividade devido à grande variação de espessura e mudanças de facies e caráter granulométrico dos sedimentos. Onde alcançam maiores espessuras, ao longo dos cursos d'água principais, e têm composição predominantemente arenosa, podem produzir vazões relativamente elevadas, com a vantagem de apresentar alimentação efetiva através de recarga induzida dos cursos d'água. Por constituírem um aquífero freático superficial e de pequena espessura, não são indicados para aproveitamento através de poços tubulares. Constituem, entretanto, um importante manancial para abastecimento doméstico através de poços rasos escavados.

Com extensiva área de ocorrência na maior parte da bacia, os sistemas fissurados (P&BC) e cárstico-fissurados Bambuí (P&B) caracterizam-se principalmente por uma grande heterogeneidade e anisotropia, em função do caráter fissural. Acrescente-se que em muitas áreas pode apresentar desenvolvimento cárstico, mesmo incipiente, devido a intercalações de leitos carbonáticos ou cimento calcífero, não suficientemente conhecido em sub-superfície. A capacidade de produção varia de muito baixa a média, com vazão específica típica (ocorrência de 50 %) igual a 0,15 l/s.m (540 l/h.m), onde 25 % dos poços apresentam valores superiores a 0,4 l/s.m. Poços com estas características poderão produzir cerca de 16.000 l/h para rebaixamentos de 30 metros; um em cada quatro poços perfurados poderão fornecer vazões superiores a 43.000 l/h.

Terciário-Quaternário - TQC

Representado por materiais detríticos (colúvios, elúvios e manto de alteração), com grande distribuição na zona da depressão Sanfranciscana, em cotas baixas, têm em geral muito pequena capacidade de produção e devido à sua espessura são indicados apenas para captação através de poços rasos escavados, visando o abastecimento doméstico de pequenas propriedades. Vale destacar que estes sistemas desempenham importante função de alimentação e recarga dos sistemas fraturados inferiores, por filtração vertical descendente, e na regularização das vazões dos cursos d'água.

No que se refere à profundidade de captação, não há grandes limitações na bacia do rio Paracatu, uma vez que a maior parte dos sistemas aquíferos são livres, como os aluviais e sistemas de cobertura, ou ocorrem associados a fraturas e cavidades de dissolução cujo desenvolvimento não ultrapassa a 100 metros de profundidade. Não há sistemas confinados profundos que requeiram grandes profundidades de captação. Neste particular, apenas os aquíferos de arenitos cretácicos apresentam situação mais desfavorável, podendo ocorrer nas áreas de maior espessura de sedimentos níveis semi-confinados e superpostos por intercalações argilosas, requerendo maior profundidade de captação e maiores cuidados na construção e completação de poços tubulares.

As mesmas considerações sobre profundidade de captação são válidas para os níveis água. Níveis água profundos, excetuando-se as zonas de alinhamentos de serras em cotas elevadas para os aquíferos cársticos e cárstico-fissurados, ocorrem somente nas zonas de chapadas com cotas superiores a 900-1.000 metros, relacionadas aos sistemas cretácicos.

De um modo geral, a qualidade das águas subterrâneas na bacia do rio Paracatu não oferece maiores restrições, seja para consumo humano, seja para uso agrícola ou dessedentação de animais. As únicas restrições quanto à potabilidade são teores elevados de ferro em algumas áreas ou durezas algo elevadas nas águas dos aquíferos carbonáticos. A maior parte das águas analisadas apresenta excelentes condições para uso na irrigação, com baixos riscos de salinidade e de sódio. Algumas águas bicarbonatadas sódicas, identificadas nos sistemas cársticos e fissurados do Bambuí podem ocasionalmente apresentar valores de SAR um pouco elevados, enquadrados na Classe S2, requerendo maiores cuidados na seleção das culturas e nos problemas de drenagem e lixiviação do solo. Os valores de pH, alcalinidade e dureza podem apresentar também algumas restrições para muitas instalações ou usos industriais mais exigentes e restritivos.

Do ponto de vista dos riscos e vulnerabilidade a contaminação dos diversos sistemas aquíferos, podem ser feitas as seguintes considerações:

- Aquíferos aluviais Qal e de cobertura Terciário-quadernário TQc - Em geral são bastante vulneráveis à contaminação de natureza orgânica e microbiológica, devido à sua pequena profundidade e por sua conexão, como nos aluviões, com as águas superficiais. As possibilidades de contaminação podem ser atenuadas ou evitadas com escolha adequada dos locais de captação e estabelecimento de áreas de proteção.

- Aquíferos cársticos CaP&B, cárstico-fissurado P&B e fissurados P&Bc - Em geral são muito vulneráveis a contaminação, devido à circulação mais rápida em fraturas e condutos cársticos. Selos sanitários no revestimento ou lages de proteção à superfície são necessários.

- Aquíferos de arenitos cretácicos - Têm em geral maior capacidade de depuração devido a espessa zona não saturada e seu meio granular, sendo menos vulneráveis à contaminação devido aos níveis d'água mais profundos sob as chapadas.

190

As reservas renováveis para toda a bacia do rio Paracatu, conforme apresentado no item 5.3, são da ordem de $5.764 \text{ E}+6$ a $8.022 \text{ E}+6 \text{ m}^3$, determinadas a partir da capacidade de armazenamento e do escoamento subterrâneo. Os recursos exploráveis correspondentes a 30 % das reservas renováveis estariam compreendidos entre $1.729 \text{ E}+6$ a $2.400 \text{ E}+6 \text{ m}^3$ ou $2.000 \pm 400 \text{ E}+6 \text{ m}^3$.

Um balanço entre os recursos exploráveis em toda a bacia e os volumes de água atualmente explorados através de poços, estimados em $4 \text{ E}+6 \text{ m}^3$ anuais, mostram que estes representam uma parcela insignificante das disponibilidades globais de água subterrânea. Mesmo considerando-se a capacidade de captação atualmente instalada (cerca de 230 poços), o volume máximo que poderia ser explorado a partir destes poços corresponderia a apenas 8 % dos recursos exploráveis. Estas observações indicam que os sistemas hídricos subterrâneos atualmente são sub-aproveitados.

d) Bacia do Paranaíba

Os estudos hidrogeológicos pertinentes ao Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do Paranaíba no Estado de Minas Gerais, englobando partes de Mato Grosso do Sul e Goiás, foram desenvolvidos tendo como base os Termos de Referência apresentados pela SEAPA/MG e SEMAD/MG – DRH e constituem parte integrante dos Estudos Hidrológicos Básicos do Inventário de Recursos Hídricos – Diagnóstico – Parte A

Características dos Aquíferos e dos Poços Inventariados

Caráter lito-estrutural das unidades aquíferas;
Definição do modelo hidrogeológico;
Características construtivas dos poços; e
Profundidade e níveis d'água dos poços.

d.1) Os Sistemas Aquíferos**191**

São identificadas na área da bacia do Paranaíba, seis categorias de sistemas aquíferos, considerando-se o caráter lito-estrutural e tipos de permeabilidade das unidades lito-estratigráficas que ocorrem na região:

- aquíferos granulares ou porosos;
- aquíferos fissurados de rochas extrusivas e intrusivas;
- aquíferos cársticos;
- aquíferos cársticos-fissurais
- aquíferos fissurados de rochas xistosas e quartzíticas;
- aquíferos fissurados de rochas granítico-gnáissicas e associadas.

Nesta classificação, cada categoria de sistema aquífero é subdividida em unidades aquíferas individualizadas, segundo um subnível de agrupamento, em função de suas características litológicas, estratigráficas e morfo-estruturais, e do seu comportamento hidrodinâmico. Constam na tabela 1 anexa, as relações

entre os sistemas aquíferos e as unidades geológicas a eles associadas, com respectiva litologia dominante.

d.2) Ocorrência, Distribuição e Características Lito-Estruturais

Aquíferos Granulares ou Porosos

Sistema aquífero constituído de rochas detríticas de porosidade intergranular e permeabilidade primária, compondo unidades aquíferas representadas pelos seguintes depósitos sedi-mentares:

- Aluviões do Quaternário Recente (QAL);
- Depósitos de coberturas detríticas do Terciário-Quaternário (TQC);
- Arenitos cretácicos do Grupo Mata da Corda (KMC);
- Arenitos cretácicos do Grupo Bauru (KB);
- Arenitos juró-cretácicos da Formação Botucatu (JKBO);
- Arenitos permianos das Formações Teresina e Irati (PTI)
- Arenitos permo-carboníferos da Formação Aquidauana (PC).

Aquíferos De Depósitos Quaternários - QAL

Constituídos por depósitos fluviais inconsolidados predominantemente arenosos, com lentes de silte, argila e cascalhos na base. Em geral, constituem-se de aquíferos rasos e com permeabilidade muito variável.

Aquíferos De Depósitos Terciários E Coberturas Terciário- Quaternárias - TQC

Unidade aquífera representada pelos sedimentos terciários da Formação Cachoeirinha e por depósitos detríticos de cobertura terciária-quaternária, individualizada segundo mapeamento geológico ao milionésimo, em áreas de ocorrência onde estes depósitos detríticos mascaram totalmente as rochas sotopostas.

A Formação Cachoeirinha ocorre na bacia a oeste do meridiano de 50° 30', em contato basal com os depósitos do Grupo Bauru na região das cabeceiras do rio Aporé, divisa entre Goiás e Mato Grosso do Sul, e na região goiana da serra da Urtiga em Mineiros, serra das Divisões entre Jataí, Montividiu e cabeceiras do rio Ponte das Pedras, e nas serras São João e do Rio Preto. Registra-se também o seu contato inferior com os basaltos da Formação Serra Geral, nas faixas entre os rios Aporé e Corrente, e na serra do Rio Verde na região de Serranópolis-GO.

Os aquíferos da Formação Cachoeirinha são constituídos por sedimentos inconsolidados areno-argilosos, de cores avermelhada, cinza a creme, parcialmente laterizados. Localmente arenitos, com níveis conglomeráticos e argilitos, e conglomerado basal lenticular.

Os aquíferos de cobertura terciária-quaternária ocorrem a leste do meridiano 50° 30' nas regiões de Palmeiras de Goiás-Edealina-Morrinhos-Serra de Caldas, Campo Alegre de Goiás-Cristalina-Brasília, no Estado de Goiás e Distrito Federal. São constituídos de depósitos coluviais areno-argilosos, argilo-arenosos e argilo-siltosos, laterizados ou não; localmente leitos de cascalheiras nos estratos basais.

Estes depósitos de cobertura geralmente apresentam morfologia de áreas peneplanizadas, constituindo extensas chapadas recobertas por delgada capa de sedimentos detríticos de natureza areno-argilosa, parcialmente laterizada.

Aquíferos de Arenitos Cretácicos Mata da Corda - KMC

Unidade aquífera correspondente aos sedimentos cretácicos do Grupo Mata da Corda que afloram na borda oriental da bacia, com distribuição territorial segundo uma faixa NNW na região de Campos Altos-Carmo do Paranaíba-Patos de Minas-Coromandel, no âmbito do território mineiro, em região divisória de águas entre as bacias do Paranaíba e São Francisco.

Estes sedimentos recobrem diretamente as rochas do Supergrupo Bambuí-Grupo Paraopeba, sob discordância, em área de hiato estratigráfico. Via de regra, os

sedimentos Mata da Corda têm o seu contato basal com os estratos do Grupo Areado, do Cretáceo Inferior-Médio, sob contato plano-paralelo, conforme se verifica em afloramentos da faixa leste de sua área de ocorrência, já no âmbito da bacia hidrográfica do São Francisco (DNPM, 1978).

Os sedimentos do Grupo Mata da Corda são subdivididos, da base para o topo, nas Formações Patos e Capacete, podendo atingir espessura máxima de cerca de 190m (SAD, 1971). Pelo caráter litológico e geomorfológico, estas unidades lito-estratigráficas apresentam comportamento hidrogeológico similar, funcionando como um único sistema aquífero.

A Formação Patos, basal, constituída por derrames e vulcanoclastos (brechas piroclásticas, lapilitos, tufitos e cineritos) de composição máfica a ultramáfica, de natureza alcalina, tem origem nas chaminés da região de Patos de Minas. A base desta formação contém predominantemente brechas piroclásticas e conglomerados, enquanto no seu topo acumulam-se derrames alcalinos (SEER et alii, 1989), compondo horizontes com espessuras de até 100m (CETEC, 1981).

194

A Formação Capacete é constituída por arenitos cineríticos, localmente conglomeráticos, com cimento carbonático; em geral a sua ocorrência está associada às fácies vulcânicas com as quais se interdigita lateralmente, apresentando estratificações cruzadas acanaladas e em cunhas.

Os sedimentos do Grupo Areado não afloram na área da bacia; contudo, como anteriormente mencionado encontram-se estratigraficamente subjacentes ao Grupo Mata da Corda, podendo ou não, ocorrer em profundidade, no âmbito da bacia do Paranaíba.

Aquíferos de Arenitos Cretácicos Bauru - KB

O Grupo Bauru ocorre amplamente na bacia sedimentar do Paraná, sendo frequentemente correlacionada aos sedimentos cretácicos da bacia sedimentar do São Francisco, sendo aqui individualizada como uma unidade aquífera.

O Grupo Bauru assenta-se de modo generalizado e discordantemente, sobre os basaltos da Formação Serra Geral e os arenitos da Formação Botucatu. Ao norte, região da serra Santa Marta nas cabeceiras do rio Verde em Goiás, é também discordante e sobrejacente à Formação Aquidauana. No Triângulo Mineiro, às vezes recobre diretamente o substrato Pré-Cambriano do Grupo Araxá, na região próxima a Perdizes. O seu contato inferior é marcado por conglomerado basal depositado sobre uma superfície de erosão, enquanto que o seu contato superior, quando existente, se dá com os depósitos de cobertura detrítica da Formação Cachoeirinha, marcado por uma superfície erosiva, registrando-se em alguns locais discordância angular erosiva.

De um modo geral, o Grupo Bauru inicia-se por um conglomerado basal, seguido de um pacote de arenitos e subordinadamente, podem aparecer rochas pelíticas e calcários. O pacote basal conglomerático pode chegar dos 15-20 m de espessura a até 100 m, seguido de um pacote de arenitos creme a violeta e mais comumente vermelho tijolo, de matriz argilosa abundante, grãos bem arredondados e de elevada esfericidade, mal classificados, em camadas maciças, espessas e em alguns locais frequentemente silicificados.

Na região do Triângulo Mineiro, o Grupo Bauru pode chegar a espessuras da ordem de até 200m ou mais, sendo basicamente descrita como arenitos conglomeráticos, conglomerados arenosos e arenitos, essencialmente quartzosos e com grau de seleção médio a baixo. Subordinadamente, aparecem calcários impuros, argilosos, folhelho e rochas silicosas. Os termos detríticos podem apresentar ou não, cimentação carbonática.

Aquíferos de Arenitos Juro-Cretácicos – JKBO

Correspondem aos sedimentos juro-cretácicos da Formação Botucatu, pertencente ao Grupo São Bento. Esta unidade também é conhecida como “Aquífero Guarani”, de ampla extensão territorial no âmbito da Bacia Sedimentar do Paraná. Sua área de afloramento ocorre na borda norte-ocidental da bacia do Paranaíba segundo uma faixa contínua, na sub-bacia do rio Claro na região de

Jataí; do rio Verde em Serranópolis-Serra do Cafezal; na sub-bacia do rio Corrente nos contrafortes da Serra da Mumbuca e no alto curso do rio Aporé.

A Formação Botucatu tem disposição estratigráfica superior aos estratos permianos do Grupo Passa Dois, e inferior aos basaltos da Formação Serra Geral. Na sua faixa norte de ocorrência próxima aos divisores de águas com a bacia do rio Araguaia, o seu contato basal é discordante com os sedimentos do Grupo Passa Dois, registrando-se também, contatos laterais com os basaltos da Formação Serra Geral, mediante controle estrutural por falhamentos. O contato superior da Formação Botucatu com os basaltos da Formação Serra Geral é geralmente de discordância erosiva. A Formação Botucatu também se encontra recoberta pelos sedimentos terciários-quaternários da Formação Cachoeirinha, nas regiões das serras da Urtiga, do Rio Verde, dos Caiapós e no plateau do alto curso do rio Aporé.

Os depósitos da Formação Botucatu são constituídos quase que unicamente por arenitos eólicos típicos, podendo também estar presentes arenitos com características de deposição sub-aquosa. No seu conjunto, pode formar camadas ou lentes de arenitos intercaladas entre os derrames de lava (arenitos intertrapeados).

196

As principais litologias descritas para estes sedimentos, são:

- arenitos cor de tijolo, fino a médio, mal classificado no seu conjunto, pouco argiloso, estratificação cruzada eólica, friável quando não silicificado;
- arenito róseo, pintalgado de branco, fino a médio, regularmente classificado, pouco argiloso, calcífero, finamente estratificado plano-paralelamente;
- arenito arroxado, grosseiro, conglomerático, pouco argiloso, muito mal classificado, estratificado, friável.

Os grãos são arredondados a sub-arredondados, com superfícies foscas e estriadas.

Aquíferos de Arenitos Permianos – PTI

Unidade aquífera individualizada correspondente aos sedimentos permianos do Grupo Passa Dois, composto pelas Formações Terezina e Irati, indiferenciadamente. Ocorre na borda setentrional da bacia do Paranaíba, regiões das serras da Urtiga, do Rio Verde e das Divisões, próximo ao divisor de águas com a bacia do rio Araguaia. As Formações Teresina e Irati são apresentadas em conjunto, dado que no mapeamento do DNPM, não foi possível diferenciá-las por dificuldades na escala ao milionésimo.

A Formação Irati, basal, tem no máximo 30m, sendo constituída de folhelho cinza a preto, pouco síltico, calcífero, carbonoso, físsil e fossilífero; por calcário creme, microcristalino, com nódulos e veios de sílex; e por sílex oolítico cinza escuro, não sendo representativa para esta unidade aquífera aqui considerada.

A Formação Terezina é a unidade lito-estratigráfica representativa desta unidade aquífera, apresentando contato inferior em concordância com a Formação Irati e contato superior com a Formação Botucatu por discordância angular.

197

Aquíferos De Arenitos Permo-Carboníferos - PC

Unidade correspondente aos sedimentos essencialmente arenosos, permo-carboníferos, da Formação Aquidauana. Ocorre nas cabeceiras do rio Claro, região da Serra do Caiapó, a noroeste da localidade de Jataí-GO e na região da Serra de Santa Marta, a sudoeste de Turvânia.

A Formação Aquidauana tem contato inferior sob discordância erosiva com os sedimentos da Formação Ponta Grossa e contato superior discordante e marcado pela presença local de conglomerado basal, com a Formação Palermo, do sub-Grupo Guatá, pertencente ao Grupo Tubarão. Localmente, como na região do rio Verde, o contato superior pode-se dar com os arenitos da Formação Bauru.

A Formação Aquidauana apresenta grande variação faciológica, tanto vertical como horizontal e a variação de sua espessura está relacionada com a erosão

pré-Palermo. Sua espessura máxima é registrada em 1.165m, em um poço estratigráfico perfurado na área de Jataí; em outros locais mapeados apresenta espessuras inferiores a 200m.

Na área da bacia pode não se verificar tal variação faciológica, predominando na base um conglomerado de caráter lenticular, ou um arenito grosseiro.

Aquíferos Fissurados, Cársticos e Cárstico-Fissurados

Aquíferos Fissurados de Rochas Extrusivas E Intrusivas - JKSG, KALC

Unidade aquífera representada pelas rochas basálticas extrusivas da Formação Serra Geral do Grupo São Bento (JKSG) e por rochas intrusivas, hipoabissais e vulcânicas do complexo vulcânico de filiação alcalina do Grupo Iporá (KALC).

Os basaltos da Formação Serra Geral têm uma ampla distribuição na área da bacia. Ocorre na porção meridional leste desde as nascentes e baixo curso do rio Araguari em território mineiro, estendendo-se para a faixa central, ocidental e meridional da área da bacia, nas zonas baixas e ao longo dos vales dos principais rios e seus afluentes. A sua faixa de ocorrência de maior expressão territorial encontra-se no vale do rio Verde, em território goiano.

A formação Serra Geral assenta-se normalmente sobre a Formação Botucatu, e transgride para norte e nordeste, sobre as unidades lito-estratigráficas mais antigas.

As rochas do complexo vulcânico de filiação alcalina do Grupo Iporá são consideradas como do Cretáceo Superior; têm ocorrência restrita, nas áreas de Santo Antônio da Barra e Catalão em Goiás e de Guimarães-Cruzeiro da Fortaleza, Araxá e Tapira em Minas Gerais. Constituem-se de rochas máficas, ultramáficas e alcalinas em geral; carbonatitos, rochas silicocarbonatíticas, jacupiranguito, dunito, ejolitos, olivina basaltos, mica-piroxênulitos, mica-peridotitos, shonkinito e olivinito, kimberlitos, diques de sienito, traquito, foyaito, brechas autóctones, tufos, lavas básicas alcalinas e aglomeráticas.

Aquíferos Cársticos - PEBCA

Compreendem aquíferos cuja porosidade e permeabilidade dependem, sobretudo, do grau de fraturamento e do desenvolvimento das cavidades e aberturas causadas pela dissolução química dos carbonatos. Por apresentarem vazios de dissolução muito irregulares e aleatórios, frequentemente suas permeabilidades secundárias são muito variáveis de local a local, podendo constituírem-se em importantes aquíferos.

Esta unidade aquífera é constituída essencialmente por calcários e dolomitos proterozóicos, compactos e maciços, lito-estratigraficamente associados às facies carbonáticas do Grupo Bambuí, representadas da base para o topo, pelas Formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré, pertencentes ao Sub-Grupo Paraopeba. Estes carbonatos, melhor representados pela Formação Sete Lagoas, basal, caracterizam-se em geral, por uma morfologia típica de "karst", com abundância de dolinas, uvalas, poljés, lapíás, sumidouros e uma rede de drenagem predominantemente endógena. Os calcários são de textura fina a média, cristalinos, de cor cinza-média a cinza-escura, às vezes oolíticos ou pisolíticos. Os dolomitos tendem a apresentar coloração rósea a cinza-média, com textura fina a média, e às vezes sacaroidal.

199

A sua área de afloramento restringe-se à borda oriental da bacia, no vale do rio Paranaíba a leste de Coromandel (MG), associada a falhas de cavalgamento, encontrando-se estruturas de dobramento na forma de sinclinais e anticlinais. O contato lateral dos estratos do Sub-Grupo Paraopeba se dá com xistos e quartzitos da Formação Canastra, mais antigas.

Aquíferos Cárstico-Fissurados de Rochas Pelítico-Carbonáticas - PEBPCA

São aquíferos que apresentam características de funcionamento "cárstico-fissural", denominação adotada face à ocorrência generalizada de interdigitações dos termos carbonáticos às vezes puros, às vezes impuros mas sujeitos aos processos de carstificação, com as rochas não carbonáticas. Por se tratar de um meio de grande complexidade litológica e geométrica, pode apresentar

características ora de caráter cárstico, ora de caráter fissural e ora de caráter misto de um meio fissurado e cárstico. O potencial hidrogeológico deste sistema depende pois, do grau de fraturamento e de desenvolvimento das cavidades e aberturas de dissolução dos carbonatos, e de sua interconexão hidráulica.

Esta unidade é constituída por intercalações de rochas pelíticas e carbonáticas (margas, siltitos carbonáticos, ardósias e calcários lenticulares, lito-estratigraficamente associadas às facies pelítico-carbonatadas do Grupo Bambuí.. Os estratos mais representativos deste sistema aquífero correspondem aos da formação Lagoa do Jacaré onde predominam as litologias pelíticas com intercalações de lentes de calcário e margas.

Na área da bacia do Paranaíba sua distribuição abrange de sul para norte, a região das cidades de Rio Paranaíba-Patrocínio-Patos de Minas-Coromandel-MG, a região da Serra da Tiririca-Cristalina-Brasília, e na Chapada de Covas, em Goiás e Distrito Federal.

Aquíferos Fissurados de Rocha Xistosas/Quartzíticas - PEXQZ

200

Aquíferos associados às rochas com permeabilidade secundária desenvolvida através de fraturas, falhas, fendas e diáclases, predominantemente ocasionadas por processos tectônicos de fase rúptil, resultando uma unidade aquífera bastante heterogênea e de forte anisotropia.

Na área da bacia este sistema aquífero engloba unidades lito-estratigráficas do Proterozóico Médio a Superior, representadas pela Formação Três Marias, Grupo Paranoá, Formação Ibiá, e Grupos Canastra e Araxá. Os meta-arcósios da Formação Três Marias quando consolidados têm comportamento hidrogeológico similar aos quartzitos; constituem-se o estrato superior do Grupo Bambuí e ocorrem na faixa ocidental da bacia, na área de Cristalina e Distrito Federal. As demais unidades Paranoá, Ibiá, Canastra e Araxá, representam uma sequência estratigráfica com frequentes intercalações de rochas quartzíticas e xistosas, fraturadas e dobradas, com uma espessura superior estimada em mais de 1.500m.