

A Formação Ibiá, por sua vez, constitui-se de calcoxistos verdes com lentes, cordões e olhos de quartzo leitoso; micaxistos e clorita-xistos com intercalações de quartzitos; meta-conglomerado basal com matriz clorítica.

As rochas-reservatório do Grupo Canastra mapeado pelo DNPM (1975) constituem-se de quartzitos puros ou sericíticos, predominantemente, com intercalações de sericita-xistos e filitos. Ocorre na região do alto curso do rio Araguari em estrutura de anticlinal, estendendo-se para norte até a região ao norte de Tapira e Campos Altos.

O Grupo Araxá compõe-se de rochas do Pré-Cambriano Superior Antigo, constituídas de micaxistos e quartzitos predominantes.

Aquíferos Fissurados de Rochas Granítico-Gnáissicas e Associadas - PERG

Sistema aquífero que engloba as rochas arqueanas do Pré-Cambriano Indiferenciado, de natureza granítico-gnáissica e rochas associadas. Litologicamente constituem-se de gnáisses e gnáisses graníticos predominantemente e secundariamente de migmatitos, xistos, quartzitos, anfibolitos, gnáisses porfiroblásticos, pegmatitos, leptinitos, escarnitos, granulitos, charno-quitos, cataclasitos, granulitos, gabros e máficas.

As áreas de ocorrência distribuem-se descontinuamente na região entre Araxá-Ibiá e na região de Monte Carmelo-Grupiara-Cascalho Rico-vale do Paranaíba em Minas Gerais e Goiás; na região do alto curso do rio Corumbá na área de Pires do Rio-Orizona-Silvânia-Goianápolis-Goiânia-Itauçu-Campestre; na região de Buriti Alegre e no vale do médio curso do rio Meia Ponte e na região norte da bacia, no vale do rio Turvo, segundo uma faixa contínua, na região de Edéia-Turvânia, Estado de Goiás.

As relações de contato são quase sempre definidas por discordâncias erosivas e também, por relações tectônicas de falhamentos, registrando-se também

estruturas regionais de dobramentos, como na região de Cascalho Rico em Minas e de Goianápolis e adjacências, em Goiás.

Características dos Pontos de Água Inventariados

O Banco de Dados Hidrogeológicos da Bacia do rio Paranaíba conta com informações referentes a 1341 poços, sendo 991 em Goiás, 337 em Minas Gerais e 13 em Mato Grosso do Sul.

Os dados foram coletados junto à Copasa Mg, Saneago S/A, Sanesul MS e no Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, tendo sido complementado a partir de dados pesquisados no Sistema Nacional de Informações Hidrogeológicas da CPRM, cobrindo Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul.

A distribuição dos poços inventariados por ano de perfuração mostra que alguns poucos poços foram perfurados antes de 1970, sendo que os registros mais antigos são de 1957. A maior parte dos poços inventariados é referente ao período de 1975-98.

202

A profundidade dos poços inventariados varia desde valores inferiores a 25 metros, em geral referentes a poços escavados (cacimbas ou cisternas) até 450 metros. Os poços mais profundos localizam-se na bacia sedimentar do Paraná, penetrando os sistemas aquíferos associados aos basaltos e arenitos da Formação Botucatu. Nas áreas de ocorrência de rochas cristalinas, os poços têm profundidades em geral compreendidas no intervalo de 50 a 125 metros. As maiores freqüências de profundidades situam-se entre 75 e 125 m (cerca de 760 poços, enquanto cerca de 280 poços têm profundidades entre 50 e 75 metros).

A distribuição dos poços por sistema aquífero indica que a maior parte capta água dos sistemas quartzíticos e xistosos (PEXQZ, PEX e PEQZ) dos grupos Canastra e Araxá; dos aquíferos associados a rochas graníticas e gnáissicas (PERG) e dos aquíferos areníticos do Grupo Bauru (KB) e basálticos (JKSG).

Cerca de 430 poços (32%) captam águas do primeiro grupo, considerados em conjunto. No sistema basáltico foram inventariados 181 poços, ou 13,5% do total; poços que captam em conjunto do arenito Bauru e dos basaltos perfazem 115 ou 8,5%, enquanto os que penetram somente o arenito Bauru são representados por 46 poços (3,4%). Os poços perfurados em rochas graníticas e gnáissicas são em número de 219, ou 16,3% do total.

No conjunto de poços inventariados, 403 (30%) localizam-se na bacia sedimentar do Paraná e captam águas dos aquíferos granulares ou basálticos. Cerca de 685 poços (51%) extraem águas dos sistemas aquíferos em meio fraturado do embasamento cristalino. Uma pequena quantidade de poços (50) captam aquíferos cársticos ou cárstico-fissurados associados ao Grupo Bambuí. Do total de poços inventariados, 149 (11%) não apresentam identificação do sistema aquífero captado.

De um modo geral, os poços inventariados apresentam níveis estáticos (NE) a pequena profundidade, inferiores a 20 metros. A profundidade máxima é de 150 metros e a média é de 12,45 metros. Metade dos poços têm níveis de inferiores a 10 metros.

203

Considerando os resultados dos testes de produção efetuados ao final da perfuração, para o total de poços inventariados que dispunham destas informações (1201), obtem-se uma vazão média de 3,41 l/s, com valor máximo de 63,72 l/s. O rebaixamento médio dos níveis de água nos testes de bombeamento efetuados alcançam 33,27 metros, com máximo de 138 metros. A mediana é de 30 metros.

Potencial e Disponibilidades Hídricas

O potencial e as disponibilidades hídricas subterrâneas serão aqui analisados tendo por base a capacidade de produção dos poços, expressa em vazão específica e a capacidade de armazenamento das sub-bacias representativas dos diversos sistemas aquíferos, determinada através do estudo do regime de recessão ou de esgotamento do escoamento superficial.

O primeiro parâmetro reflete o potencial de produção de água através de captações por poços e está intimamente ligado aos parâmetros hidráulicos dos sistemas aquíferos, ou seja, à permeabilidade, transmissividade e porosidade efetiva (ou coeficiente de armazenamento no caso de sistemas sob pressão) inerentes ao meio aquífero.

O segundo parâmetro, obtido a partir das curvas de recessão ou esgotamento do escoamento superficial, reflete o volume das descargas subterrâneas aos rios (escoamento de base) e, conseqüentemente, indica o montante das entradas de água ou os volumes ou reservas renováveis, das quais uma parcela representa o recurso explorável.

Capacidade de Produção dos Poços

Utilizando-se os 1173 registros de vazão específica disponíveis do total de poços inventariados na bacia, procedeu-se a uma análise estatística da distribuição de freqüência e da tendência de distribuição espacial deste parâmetro.

A distribuição de freqüência foi avaliada, inicialmente para o total de poços a fim de fornecer uma visão geral da capacidade de produção em toda a bacia e, em seguida, foi analisada sua distribuição por sistema aquífero.

A tendência de distribuição espacial foi realizada com a utilização do programa Origin, versão 4.1 da Microcal, tendo-se processado os valores de vazão específica, separadamente, para os poços localizados na bacia sedimentar do Paraná e, em seguida, para os localizados no domínio das rochas ígneas e metamórficas do embasamento. Para o total de poços inventariados, os valores de vazão específica variam de um mínimo de 0,001 a um máximo de 27,47 l/s.m, com média de 0,30 l/s.m e desvio padrão de 1,31. A mediana é igual a 0,06 l/s.m. Quando se considera a distribuição de freqüência da vazão específica por sistema aquífero, os resultados indicam os de maior capacidade de produção, considerando a média e a mediana apresentados no Quadro 100.

Quadro 100 – Capacidade de Produção dos Sistemas Aquíferos, expressa em valores de Vazão específica, em l/s.m.

AQUÍFERO	MÉDIA	MEDIANA
KB	0,706	0,21
KMC	0,608	0,30
KB/JKSG	0,525	0,09
JKSG	0,363	0,15
JKSG/JKBO	0,550	0,09
PEBPC	0,305	0,20
PEBCA	0,140	0,08
PEBAD	0,142	0,035
PEXQZ	0,296	0,05
PEQZ	0,188	0,06
PEX	0,072	0,025
PERG	0,095	0,04

Capacidade de Armazenamento Subterrâneo

A análise das relações entre as águas superficiais e subterrâneas foi efetuada a partir de hidrogramas de 41 estações fluviométricas, selecionadas em função da ocorrência e representatividade geográfica das unidades aquíferas, no âmbito da bacia. Em Minas Gerais, foram utilizados dados de 24 hidrogramas com séries históricas de 50 anos, oriundos da COPASA/Hidrosistemas(1993), enquanto que em Goiás foram analisados 17 hidrogramas cujos dados fornecidos pela ANEEL compreendem séries históricas variando de 16 anos a 50 anos.

205

A partir dos deflúvios totais, relativos às descargas naturais dos rios, foram derivados parâmetros que permitiram a determinação, em primeira aproximação, do potencial hidrogeológico da bacia do Paranaíba, levando-se em conta, a nível regional, as relações hidráulicas rio-aquífero, na determinação da componente subterrânea, do coeficiente de depleção “ α ” e da capacidade de armazenamento subterrâneo. Neste contexto, à exceção dos aquíferos aluviais quaternários, conectados hidraulicamente com os cursos d’água e que com estes mantêm ativa troca entre os períodos úmidos e de estiagem, nos demais aquíferos predomina a situação em que os pontos de descarga natural situam-se em cotas superiores aos rios, havendo em maior parte, uma contribuição efetiva dos aquíferos para os mesmos, durante todo o ano hidrológico.

Os hidrogramas do deflúvio total representam a soma dos escoamentos superficial direto, sub-superficial e subterrâneo. Em todos os hidrogramas foram traçados os limites entre o escoamento superficial e subterrâneo. A quantificação das componentes superficiais e subterrâneas das descargas naturais dos rios foi efetuada pelo método gráfico proposto por Barnes (CUSTÓDIO, 1976, P. 395), por ser o que melhor se aproxima às condições hidrogeológicas existentes na bacia.

A metodologia geral descrita acima foi empregada na maior parte dos Planos Diretores nas sub-bacias do Estado de Minas Gerais. Detalhes dos procedimentos podem ser obtidos e consultados em arquivos magnéticos disponíveis nos órgãos executores ou em site do IGAM.

No Quadro 101 são discriminados os valores calculados do coeficiente de esgotamento e da capacidade de armazenamento das respectivas sub-bacias consideradas nos 41 hidrogramas analisados.

Os escoamentos subterrâneos específicos referem-se ao volume anual de contribuição de água subterrânea ao fluxo de base dos rios, relacionado com a respectiva área de drenagem da sub-bacia considerada, expressos em mm/ano e em L/s km².

O percentual calculado refere-se à parcela de contribuição de água subterrânea em relação ao escoamento total, medido nas respectivas estações fluviométricas.

Quadro - 101 Coeficientes de Esgotamento e Capacidades de Armazenamento das Sub-bacias.

No. Ref. Copasa (1993)	Estação Fluviométrica	Água de Drenagem	Deflúvios						Coeficiente de Esgotamento α (dia ⁻¹)	Capacidade de Armazenamento $V_o = Q_o/\alpha$ (10 ⁶ m ³)
			Total	Superficial	Subterrâneo	Subterrâneo Específico	% Subt. Rel. ao Total	Subterrâneo Específico q		
Código	Nome e Rio	km ²	10 ⁶ m ³ /ano	10 ⁶ m ³ /ano	10 ⁶ m ³ /ano	mm/ano	%	L/s/km ²		
182	Fazenda Bom Jardim Rio Paranaíba	135	86,0	50,3	35,7	264	41,5	8,5	0,0059	23,4
183	Santa de Patos Rio Paranaíba	2.714	1.556,50	797,1	759,4	280	48,8	9,0	0,0073	426
184	Ponte Vicente Goulart Rio Paranaíba	7.341	4.240,50	2.190,20	2.050,30	279	48,3	9,0	0,0076	1.136
185	Ponte São Marcos Rio São Marcos	4.287	2.360,00	1.121,80	1.238,20	289	52,4	9,3	0,0058	804,4
186	Abadia dos Dourados Rio Dourados	1.906	1.095,10	557,3	537,8	282	49,1	9,1	0,0057	367,7
187	Fazenda Cachoeira Rio Perdizes	125	70,4	28,7	41,7	333	59,2	10,7	0,0055	28,2
188	Douradoquara Rio Perdizes	1.042	526,2	260,8	265,4	255	50,4	8,2	0,0059	175,7
189	Iraí de Minas Rio Bagagem	82	53,2	17,8	35,4	432	66,5	13,9	0,0041	29,5
190	Estrela do Sul Rio Bagagem	787	460,8	149,0	311,8	396	67,6	12,7	0,0042	267,4
191	Ponte do Veloso Rio Paranaíba	36.850	17.172	8.385	8.787	238	51,2	7,6	0,0066	5.498
192	Pai Joaquim Rio Araguari	3.752	2.887,50	1.264,90	1.622,60	432	56,2	13,9	0,0051	1.185
193	Ponte Santa Juliana Rio Araguari	4.064	2.949,70	1.288,20	1.661,50	409	56,3	13,1	0,005	1.226
194	Fazenda São Mateus Rio Quebra Anzol	1.231	979,8	385	594,8	483	60,7	15,5	0,0039	531,6
195	Ibiá Rio Misericórdia	1.307	915	394	521	398	56,9	12,8	0,0043	442
	Porto da Mandioca	7.382	5.238,40	2.213,60	3.024,80	410	57,7	13,2	0,0051	2.202

Continua



ASPECTOS ESTRATÉGICOS PARA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS – PERH-MG

No. Ref. Copasa (1993)	Estação Fluviométrica	Água de Drenagem	Total	Deflúvios					Coeficiente de Esgotamento α (dia ⁻¹)	Capacidade de Armazenamento $V_0 = Q_0/\alpha$ (10 ⁶ m ³)
				Superficial	Subterrâneo	Subterrâneo Específico	% Subt. Rel. ao Total	Subterrâneo Específico q		
Código	Nome e Rio	km ²	10 ⁶ m ³ /ano	10 ⁶ m ³ /ano	10 ⁶ m ³ /ano	mm/ano	%	L/s/km ²		
196	Rio Quebra Anzol									
197	Porto Monjolinho Rio Araguari	16.952	12.221	5.624,40	6.596,60	389	54,0	12,5	0,006	4,104
198	Sucupira Rio Uberabinha	850	445,0	196,7	248,3	292	55,8	9,4	0,0052	182,7
199	Itumbiara Rio Paranaíba	94.300	46,889	21.436	25.453	270	54,3	8,7	0,0066	1.570
200	Fazenda Cachoeira Rio Pouso Alegre	199	80,5	32,6	47,9	241	59,5	7,7	0,0038	43,2
201	Ponte Rio Piedade Rio Piedade	1.727	632,4	248	384,4	222	60,8	7,1	0,0035	370,2
202	Ituiutaba Rio Tejuco	6.154	2.607,50	1.143	1.464,50	238	56,1	7,6	0,0055	1.005,30
203	Fazenda Buriti do Prata Rio da Prata	2.526	1.060	504	556	220	52,4	7,1	0,0064	351
204	Ponte do Prata Rio da Prata	5.174	1.938,80	918,8	1.020	197	52,6	6,3	0,0068	609,8
205	Ponte São Domingos Rio São Domingos	3.550	555,4	342,6	212,8	60	38,3	1,9	0,009	105,6
60965000	Aporé Rio Aporé	3.457	2413,9	477,7	1.936,20	560,0	80,2	18,0	0,0034	1.917
60970000	Itajá Rio Aporé	4.831	3.107,00	760,0	2.347,00	486,0	75,5	15,6	0,003	2.618,20
60910000	Ponte do Cedro Rio Verde	703	375,80	142,50	233,30	332,0	62,1	10,7	0,0053	163,3
60920000	Itarumã Rio Verde	10.332	5.977,40	1.713,60	4.263,80	413,0	71,3	13,3	0,0027	5.027
60885000	Ponte no Rio Claro Rio Claro	5.256	3.050,40	1.562,50	1.487,80	283,0	48,8	9,1	0,0067	864,5
60905000	Cachoeira Alta Rio Claro	13.226	7.262,80	2.734,60	4.528,20	342,4	62,3	11,0	0,006	2.662
	Fazenda Nova do Turvo	2.822	710,0	388,9	321,1	114,0	45,2	3,6	0,0088	166,5

Continua



ASPECTOS ESTRATÉGICOS PARA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS – PERH-MG

No. Ref. Copasa (1993)	Estação Fluviométrica	Água de Drenagem	Deflúvios						Coeficiente de Esgotamento α	Capacidade de Armazenamento $V_o = Q_o/\alpha$
			Total	Superficial	Subterrâneo	Subterrâneo Específico	% Subt. Rel. ao Total	Subterrâneo Específico q		
Código	Nome e Rio	km ²	10 ⁶ m ³ /ano	10 ⁶ m ³ /ano	10 ⁶ m ³ /ano	mm/ano	%	L/s/km ²	(dia ⁻¹)	(10 ⁶ m ³)
60750000	Rio Turvo									
	Barra do Monjolo	7.583	2.495,00	1.205,5	1.289,5	170,0	51,7	5,5	0,0094	596,5
60765000	Rio Turvo									
	Ponte Anápolis/Brasília	2.009	992,0	480,6	511,4	254,5	51,5	8,2	0,0084	279
60430000	Rio Corumbá									
	Fazenda Paraíso	1.469	797,1	419,2	377,9	257,2	46,4	8,3	0,0087	177,8
60835000	Rio Tejuco									
	Desemboque	1.205	885,9	443,7	442,2	367,0	50,0	11,8	0,0050	311,0
60220000	Rio Araguari									
	Jusante Goânia	2.970	1.414,6	590,7	823,9	277,4	58,2	8,9	0,0065	478,5
60650000	Rio Meia Ponte									
	Alcândia	9.537	4.401	1.978,80	2.422,2	254,0	55,0	8,2	0,0073	1.361,0
60675000	Rio Meia Ponte									
	Montividiu	881	737,1	316,7	420,4	477,2	57,0	15,3	0,0037	420,0
60774000	Rio Verde ou Verdão									
	Ponte Rodagem	5.986	3.491	1.259,6	2.231,4	373,0	63,9	12,0	0,0049	1.622,0
60781000	Rio Verde ou Verdão									
	Maurilândia	12.826	7.243,9	2.870,2	4.373,7	341,0	60,4	11,0	0,0043	3.476
60798000	Rio Verde ou Verdão									
	Fazenda Formoso	984	841,1	177,8	663,3	674,0	78,8	21,7	0,0020	1.019,5
60930000	Rio Formoso									

Os coeficientes de esgotamento " α " discriminados no Quadro 101 variam entre 0,0020 e 0,0094 dia⁻¹; os valores mais baixos estão em geral associados aos sistemas aquíferos granulares, com maiores deflúvios subterrâneos específicos. Com poucas exceções, os deflúvios subterrâneos específicos " q ", expressos em L/s.km², se coadunam com as características hidrogeológicas e estruturais existentes nas suas respectivas áreas de drenagem.

Conforme se discrimina no Quadro 102, os valores mais baixos de α (0,0020 a 0,0034 dia⁻¹) se compatibilizam com os valores mais elevados de q (13,3 a 21,7 L/s.km²) e correspondem às sub-bacias dos rios Aporé, Corrente e Verde, que drenam áreas significativas de aquíferos granulares da Bacia Sedimentar do Paraná (arenitos da Formação Botucatu e do Grupo Bauru), particularmente na região ocidental da bacia do Paranaíba, em território goiano.

No restante da bacia do Paranaíba, em território goiano a leste e imediações do meridiano de 51^o e no Triângulo Mineiro, para sub-bacias com áreas significativas drenadas por arenitos do Grupo Bauru, os valores de α variam de 0,0035 e 0,0068 dia⁻¹ e os deflúvios subterrâneos específicos, de 6,3 a 12,0 L/s.km². Como exceção, a sub-bacia do rio São Domingos apresenta valores baixos de α (0,0090 dia⁻¹) e q (1,9 L/s.km²), resultados possivelmente influenciados por variações faciológicas com extratos menos permeáveis e/ou pela pequena expressão da espessura saturada do pacote sedimentar do Grupo Bauru nesta área.

Os valores de α e q para os sistemas aquíferos fissurais, constantes da Tabela 11, apresentam uma gama de variações quantitativas, refletindo o grau de tectonismo associado às litologias de meio rúptil, como as condições de gradiente topográfico, da espessura do manto de intemperismo e de magnitude e regime das precipitações. Nota-se que nas sub-bacias que drenam áreas de meios xistosos e quartzíticos, os valores de α e q mais significativos variam de 0,0039 a 0,0066 dia⁻¹, e 7,6 a 15,5 L/s.km², respectivamente. Em sub-bacias mais individualizadas, com áreas de predominância de rochas quartzíticas, mais rúpteis, os dados hidrogeológicos derivados indicam, entre os sistemas aquíferos

fissurais, maior potencial hidrogeológico, com valores de α variando de 0,0039 a 0,0050 dia⁻¹ e q entre 11,8 e 15,5 L/s.km².

Por outro lado, os coeficientes de esgotamento e deflúvios subterrâneos específicos calculados para sub-bacias individualizadas drenadas por aquíferos de rochas granito-gnáissicas e associadas, apresentam uma variação de 0,0088 a 0,0094 dia⁻¹ e 3,6 a 5,5 L/s.km².

O sistema aquífero cárstico-fissural representado pelas rochas pelítico-carbonáticas do Grupo Bambuí apresenta valores de q similares entre si, da ordem de 9 L/s.km², com valores de α variando de 0,0057 a 0,0076 dia⁻¹. O coeficiente de esgotamento relativamente baixo (0,0057 dia⁻¹) calculado para a estação da Ponte de São Marcos em sub-bacia homônima, possivelmente está influenciado pelas restituições de água subterrânea do Arenito Mata da Corda, na borda ocidental da bacia do Paranaíba.

A capacidade de armazenamento " V_0 ", calculada a partir das curvas de esgotamento, representa o volume total de água escoada no período de recessão (Castany, 1975). Essa conceituação considera que, no caso em que as principais áreas de descarga se situem em cotas próximas ao nível de base, como nos sistemas aluviais, no período de águas altas, cessa o escoamento subterrâneo.

Por outro lado, caso as principais áreas de descarga se situem em cotas superiores aos rios, como ocorre na bacia do Paranaíba, em especial nos sistemas aquíferos granulares, o escoamento não é influenciado pela altura dos níveis d'água dos rios e ocorre durante todo o ano hidrológico. Nesse caso, o quantitativo do escoamento subterrâneo total, aqui denominado de deflúvio subterrâneo, aproxima-se mais das reservas reguladoras.

Os valores de V_0 expressos no Quadro 101 permitem estimar, para o total da bacia do Paranaíba, com uma área de drenagem de 222.000 km², uma capacidade de armazenamento da ordem de 20.000 x 10⁶ m³, volume representado em sua maior parte (17.000 x 10⁶ m³), pela capacidade de armazenamento de água subterrânea dos sistemas aquíferos granulares, associados aos arenitos juro-cretácicos da Formação Botucatu, pelos arenitos

cretácicos do Grupo Bauru e Formação Mata da Corda, e pelos sedimentos de Cobertura Detrítica Terciária-Quaternária. Como se verifica na Tabela 10 aqui referida, na estação fluviométrica de Itumbiara, cuja sub-bacia tem áreas mais significativas drenadas por sistemas aquíferos fissurais, o deflúvio subterrâneo é da ordem de $25.450 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, para um armazenamento V_0 de apenas $1.570 \times 10^6 \text{ m}^3$, revelando uma dependência direta de curto prazo com a magnitude e o regime das precipitações.

Reservas Reguladoras e Recursos Explotáveis

As Reservas Reguladoras, Renováveis ou Vivas, correspondem às variações de reservas associadas ao fluxo natural, em geral localizadas acima dos níveis de descarga. Essas reservas renováveis ou reguladoras são as que intervêm no balanço das águas subterrâneas e que são avaliadas a partir das variações piezométricas ou das curvas de esgotamento do escoamento superficial na análise de hidrogramas fluviométricos. Em geral, parte dessas reservas renováveis é que constitui os recursos explotáveis.

212

As reservas reguladoras, estimadas em termos médios de longo período através da separação da componente subterrânea em hidrogramas de estações fluviométricas, são da ordem de $50.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$; montante correspondente ao somatório dos deflúvios subterrâneos calculados para cada uma das sub-bacias. Esse valor corresponde a cerca de 58 % do escoamento total, da ordem de $86.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Considerando-se a área total da bacia de 222.000 km^2 , o deflúvio subterrâneo específico médio é da ordem de 7 L/s.km^2 .

Considerando-se como recursos explotáveis na bacia um volume total correspondente a 30% das reservas reguladoras ($50.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$), tendo em vista a manutenção de um fluxo de base de 70 %, tem-se que:

- a) Cálculo conservador, com base na capacidade de armazenamento V_0 : $20.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \times 0,30 = 6.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ sendo,

Quadro 102 - Correlação Entre o Coeficiente de Esgotamento e o Deflúvio Subterrâneo Específico

Estação Fluviométrica	Número de Referência	Sub-bacia (Rio)	α (dia ⁻¹)	q (L/s.km ²)	Sistemas Aquíferos de Maior Ocorrência na Sub-bacia
AQUÍFEROS GRANULARES					
Fazenda Formoso	60930000	Formoso/Corrente	0,002	21,7	Arenitos da Formação Botucatu (JKBO) e do Grupo Bauru (KB) predominantemente; e depósitos Detríticos Terciários-Quartenários da faixa ocidental da bacia do Paranaíba.
Aporé	60965000	Aporé	0,0034	18	
Itajá	60970000	Aporé	0,003	15,6	
Itarumã	60920000	Verde	0,0027	13,3	
Ponte de Rodagem	60781000	Verde ou Verdão	0,0049	12	
Ituiutaba	202	Tejuco	0,0006	7,6	
Fazenda Buriti do Prata	203	Rio da Prata	0,0064	7,1	
Ponte do Prata	204	Rio da Prata	0,0068	6,3	
Ponte São Domingos	205	São Domingos	0,009	1,9	Arenitos da Formação da Mata da Corda (KMC)
Fazenda Bom Jardim	182	Rio Paranaíba	0,0059	8,5	
Pai Joaquim	192	Araguari	0,0051	13,9	
AQUÍFEROS FISSURAIS					
Ponte Santa Juliana	193	Araguari	0,005	13,1	Aquíferos de Rochas Xistosas e Quartzíticas (PeXQZ) predominantemente; Basaltos (JKSG) e Arenitos do Grupo Bauru (KB).
Ibiá	195	Misericórdia	0,0043	12,8	
Fazenda São Mateus	194	Quebra Anzol	0,0039	15,5	Aquíferos de Rochas Quartzíticas, predominantemente (PeQZ)).
Porto da mandioca	196	Quebra Anzol	0,0051	13,2	
Desemboque	60220000	Araguari	0,005	11,8	

(Continua)



ASPECTOS ESTRATÉGICOS PARA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS – PERH-MG

(Continuação)

Estação Fluviométrica	Número de Referência	Sub-bacia (Rio)	$\alpha(\text{dia}^{-1})$	q (L/s.km ²)	Sistemas Aquíferos de Maior Ocorrência na Sub-bacia
Abadia dos Dourados	186	Dourados	0,0057	9,1	Aquíferos de Rochas Xistosas e Quartzíticas (PeXQZ) e de Rochas Granítico Gnássicas (PRG), predominantemente.
Jusante Goiânia	60650000	Meia Ponte	0,0065	8,9	
Alcândia	60675000	Meia Ponte	0,0073	8,2	
Barra do Monjolo	60765000	Turvo	0,0094	5,5	
Fazenda Nova do Turvo	60750000	Turvo	0,0088	3,6	Aquíferos de Rochas Granítico-Gnássicas (PRG) predominantemente e Basaltos (JKSG).
AQUÍFEROS FISSURAIS					
Ponte do Veloso	191	Paranaíba	0,0066	7,6	Aquíferos de Rochas Xistosas e Quartzíticas (PeXQZ) predominantemente; secundariamente Cárstico-Fissurais (PBPCA) e Cober-turas Detríticas da borda oriental (TQC); Granito-Gnáisses e Associadas (PRG), Basaltos (JKSG) e Arenitos Mata da Corda (KMC).
Itumbiara	199	Paranaíba	0,0066	8,7	
Santana dos Patos	183	Paranaíba	0,0073	9	
AQUÍFEROS CÁRSTICO-FISSURAIS					
Ponte Vicente Goulart	184	Paranaíba	0,0076	9	Aqíferos de Rochas Pelítico-Carbonáticas PeBPCA) do Grupo Bambuí, predominantemente; Arenitos Mata da Corda (KMC), Rochas Xistosas/Quartzíticas e Coberturas Detríticas Terciárias-Quartenárias da borda oriental da bacia do Paranaíba.
Ponte São Marcos	85	São Marcos	0,0057	9,3	

- › sistemas granulares: $17.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \times 0,30 = 5.100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- › sistemas fissurais: $3.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \times 0,30 = 900 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

b) Cálculo estimativo, com base nas reservas reguladoras :

$50.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \times 0,30 = 15.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ sendo,

- › sistemas granulares: $20.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \times 0,30 = 6.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- › sistemas fissurais: $30.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \times 0,30 = 9.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Modelo Hidrogeológico

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

- › As áreas principais de recarga correspondem aos plateaux ou chapadas, elaboradas sobre as formações areníticas juro-cretácicas e cretácicas, ou coberturas detríticas do Terciário, em cotas altas que se distribuem pelos interflúvios e divisores de água. Nessas áreas, com formações superficiais muito permeáveis, o escoamento superficial é reduzido e a capacidade de infiltração é muito elevada.
- › A alimentação dos arenitos juro-cretácicos da Formação Botucatu (Aqüífero Guarani) se processa pela infiltração direta das águas de precipitação nas áreas aflorantes sob o domínio de aqüíferos livres, como também, no domínio de aqüífero confinado nas áreas encobertas, pela percolação vertical das águas infiltradas nas coberturas detríticas terciárias-quaternárias, aluviões, arenitos cretácicos do Grupo Bauru e basaltos da Formação Serra Geral. Nas áreas de intertrapes com os derrames basálticos, a percolação vertical descendente se dá por via intra-fraturas no basalto, particularmente nos pontos de coincidência fratura-drenagem superimposta, promovendo a recarga do Arenito Botucatu, com águas de circulação profunda e tempos de trânsito da ordem de milhares de anos.

- › Analogamente, a recarga dos aquíferos areníticos permianos das Formações Terezina e Irati pode se processar seja por infiltração das águas meteóricas, como por filtração vertical ao longo de zonas de fraturamento e de contato lito-estratigráfico com os aquíferos a ele sobrejacentes, tais sejam, os aquíferos de cobertura detrítica terciária-quaternária e o Aquífero Botucatu. Do mesmo modo, a alimentação dos arenitos permo-carboníferos da Formação Aquidauana se dá por infiltração das águas meteóricas, como por filtração vertical ao longo de zonas de fraturamento e de contato lito-estratigráfico com os aquíferos a ele sobrejacentes.
- › O fluxo subterrâneo para bacias vizinhas é contínuo nos estratos do Aquífero Botucatu, de larga ocorrência na Bacia Sedimentar do Paraná, alcançando espessuras de algumas centenas de metros, segundo um arcabouço estrutural de espessamento para a sua Depressão Central, a sudoeste da bacia do Paranaíba, na região sudeste de Mato Grosso do Sul e parte ocidental do Estado do Paraná.
- › sistema aquífero basáltico Serra Geral, quando sotoposto aos aquíferos de natureza granular, via de regra é alimentado por filtração vertical, conforme anteriormente mencionado. Neste contexto, o Aquífero Bauru exerce sobre ele uma recarga mais expressiva, pelas suas relações diretas de interface lito-estratigráfica.
- › Nos sistemas cárstico e cárstico-fissural a alimentação se dá frequentemente por infiltração de águas meteóricas em zonas de morfologia cárstica onde são frequentes as dolinas, os sumidouros e simas; por infiltração das águas superficiais nos leitos das drenagens onde o fraturamento as superimpõem, e onde a carstificação e/ou o fraturamento por vezes é mais intenso; não sendo negligenciáveis os aportes dos aquíferos de cobertura detrítica terciária-quaternária e dos aquíferos cretácicos Mata da Corda/Areado, que podem funcionar como meio transmissor das águas infiltradas, por filtração vertical.

- › No sistema aquífero de rochas xistosas e quartzíticas, com diferentes graus de tectonismo e de predominância litológica, a recarga em geral se processa por infiltração das águas meteóricas através do manto de intemperismo do quartzito, essencialmente arenoso, que favorece a percolação das águas; e também por aportes provenientes de aquíferos granulares sobrejacentes, por filtração e fluxo vertical descendente. As restituições de água subterrânea, através de fontes pontuais e difusas ou exudações, têm importante papel regularizador na manutenção das descargas de base dos rios que drenam as maiores áreas de ocorrência de quartzitos.
- › Os aquíferos de Granito-gnáisses e rochas associadas, a recarga é realizada predominantemente a partir das drenagens controladas por fraturamento, como também por filtração a partir do manto de intemperismo e por fluxo descendente das águas subterrâneas oriundas dos aquíferos granulares, quando se encontram sobrejacentes. As áreas de descargas naturais são representadas por fontes pontuais e difusas, e exudações diversas. Nas regiões meridionais onde são elevadas as taxas de precipitação pluviométrica, essas restituições são geralmente perenes, garantindo a vazão de base dos rios e atuando como reguladores naturais do escoamento superficial.
- › 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 dessas 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 hidrológico.
- › As áreas de descarga ocorrem através de inúmeras fontes de encosta, na quebra do relevo, bem como no contato dos arenitos com os substratos de basaltos, rochas pelítico-carbonatadas do Grupo Bambuí e rochas pré-

cambrianas do embasamento cristalino; ou, eventualmente, no contato com níveis argilosos intercalados nos areitos, a partir de aquíferos suspensos; e também, através dos principais cursos d'água em cotas baixas, por filtração vertical descendente dos sistemas fissurais e cárstico-fissurais.

Uso Atual das Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas na bacia do rio Paranaíba são utilizadas para diversas finalidades, abrangendo abastecimento público e doméstico, nas zonas rurais e urbanas, uso industrial, comercial e agrícola, além do uso para recreação e lazer.

Uma análise dos diversos tipos de uso praticados pelos proprietários dos poços inventariados, uma amostra de 1236 poços, indicou a seguinte distribuição percentual do uso da água na bacia:

› Abastecimento público	50,0
› Abastecimento doméstico	17,3
› Abastecimento doméstico e pecuário(zona rural)	12,1
› Uso industrial / comercial	18,5
› Uso agrícola	-
› Recreação e lazer	1,8

O abastecimento público envolve distritos e cidades de pequeno a médio porte e estão a cargo das empresas estaduais de saneamento – SANEAGO – GO, COPASA – MG e SANESUL – MS, além de Serviços Autônomos e Prefeituras Municipais. Muitas localidades são abastecidas totalmente com água subterrânea, sendo comum também o sistema parcial ou complementar às fontes de abastecimento com águas superficiais.

No trecho mineiro da bacia, a COPASA MG atende a 32 municípios, incluindo-se aqueles que estão contidos parcialmente na bacia e cuja sede municipal, em alguns casos, localiza-se fora dos domínios da bacia hidrográfica.

Muitas cidades são abastecidas por sistemas autônomos de água, destacando-se os municípios de Uberlândia cuja sede é exclusivamente abastecida por água superficial (rio Uberabinha) e a cidade de Araguari, com população de 45.000 habitantes, exclusivamente abastecida por água subterrânea, captada do sistema aquífero Bauru, contando com 116 poços, com uma capacidade de produção de 2.024 m³/h. Atualmente são 70 poços em operação sob regime diário de 18 horas, com a produção total de 21.600 m³/dia, totalizando a produção anual de 7.884 x 10⁶ m³/ano.

No trecho goiano, as localidades abastecidas por poços tubulares pela SANEAGO abrangem 32 municípios. Em Mato Grosso do Sul, com pequena área incluída na bacia, a SANESUL atende aos municípios de Cassilândia, Chapadão do Sul e Paranaíba.

Em termos de abastecimento doméstico, verifica-se que, além de aproveitamentos particulares individuais, há um número significativo de utilização institucional, envolvendo condomínios, escolas, hospitais, quartéis, etc.

Qualidade das Águas

O número de análises físico-químicas disponíveis para o estudo da qualidade das águas subterrâneas da bacia do rio Paranaíba é reduzido, considerando sua grande extensão territorial (222.000 Km²). No total dispõe-se de 120 análises, das quais 15 parciais e 105 completas, ou seja, com determinação dos principais constituintes iônicos e características físicas.

Os dados foram obtidos junto à Saneago, Copasa MG e CEMIG/IESA(1997), complementados por informações obtidas do SIGHIDRO – Recursos Hidrogeológicos do Brasil – DNPM, referentes a águas minerais, a maior parte procedente do trecho goiano da bacia.

Das 120 análises, 21 não apresentavam a descrição do sistema aquífero captado nem foi possível sua identificação, reduzindo a amostra para 99 análises. A maior parte concentra-se no trecho mineiro da bacia, mas sua distribuição permite uma

caracterização bem representativa de todos os sistemas aquíferos que ocorrem na área total da bacia.

Características Físico-Químicas

Águas dos Aquíferos Areníticos Mata da Corda – KMC

Apresentam, em geral, baixo conteúdo de sólidos dissolvidos, com condutividade elétrica variando de 20,9 a 88 microS/cm, média de 49,8 e desvio padrão de 22,6. Os sólidos totais dissolvidos variam de 32,7 a 70,4, média de 54,6 mg/l.

Predominam águas de caráter ácido, com pH mínimo de 5,85 e máximo de 7,15 nas amostras analisadas. A média é 6,36, com desvio padrão de 0,54.

A dureza total é muito baixa, assim como as concentrações de sulfatos e cloretos. São águas do tipo bicarbonatadas cálcicas.

Águas dos Aquíferos Areníticos do Grupo Bauru – KB

Em geral, as águas dos arenitos do Grupo Bauru são ácidas a neutras (pH de 4,7 a 7), fracamente mineralizadas, baixa dureza e muito baixas concentrações de cloretos e sulfatos, sendo comum o total de sólidos dissolvidos não ultrapassar a 20 mg/l. Contêm, em geral CO² dissolvido (10 a 40 mg/l), o que lhes confere caráter agressivo e corrosivo.

As concentrações de cálcio, magnésio e sódio são variáveis, ora predominando um cátion sobre outro, mas em pequenas proporções.

Localmente, nas fácies de arenitos com cimento calcífero, as águas podem apresentar-se mais mineralizadas com maior quantidade dos ions HCO³, Ca e Mg.

Águas dos Aquíferos Basálticos da Formação Serra Geral

Os níveis superiores do aquífero basáltico e que recebem contribuição do freático superficial mostram, em geral, mais baixa mineralização com total de sólidos dissolvidos (TDS) inferior a 60 mg/l.

À medida em que aumenta a profundidade, mostram uma tendência a progressivo aumento de TDS, chegando a valores superiores a 200 mg/l. Verifica-se um aumento de alcalinidade (20 a 143 mg/l de CaCO_3) e de dureza (máximo de 100 mg/l de CaCO_3 , com média de 37), enquanto as concentrações de cloretos e sulfatos permanecem muito baixas. Predominam as águas bicarbonatadas cálcicas com as seguintes relações iônicas: $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ e $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}$. As águas adquirem um caráter básico com pH normalmente acima de 7, atingindo até 8,2. Em algumas áreas restritas ocorrem águas bicarbonatadas sódicas, com elevado pH da ordem de 9 a 10.

As concentrações de Ferro Total são normalmente baixas, predominando valores inferiores a 3 mg/l. Valores altos podem ocorrer localmente. As concentrações de Fe solúvel e Mn total são muito baixas, em geral inferiores aos limites de detecção ($<0,05$ mg/l) em amostras procedentes da bacia do Araguari (CEMIG, 1997).

As concentrações de fluoreto são muito baixas, com valor máximo de 0,63 mg/l.

Águas do Aquífero Arenítico Botucatu – JKBO

Não há análises disponíveis de águas desse sistema aquífero para o trecho da bacia do rio Paranaíba. A descrição a seguir baseia-se no conhecimento das suas características físico-químicas nas suas áreas de ocorrência no Estado de São Paulo. Tratando-se de uma formação geológica de grande uniformidade litológica (arenitos bem selecionados de granulação fina) pode-se admitir características idênticas para as águas desse sistema ocorrentes na bacia.

A salinidade das águas é, em geral, baixa com resíduo seco variando entre 27 e 291 mg/l, com valor máximo de 1212 mg/l. As concentrações de sulfatos e cloretos são muito baixas. O pH varia de 5,45 a 9,8, com predomínio de águas alcalinas.

As águas mostram uma diferenciação bem marcada, no que se refere à composição química. Nas áreas de afloramento da formação, os teores de sais são menos elevados, com resíduo seco variando entre 27 e 291 mg/l, ocorrendo águas de composição bicarbonatada cálcica, predominando as relações iônicas $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$; $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$. As águas das zonas confinadas mais profundas são de composição bicarbonatada sódica, apresentando maior concentração de sais com valores em geral acima de 200 mg/l. As relações iônicas mais comuns são $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$; $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$.

Em áreas restritas ocorrem ainda águas cloretadas sódicas e sulfatadas sódicas.

A temperatura da água nas áreas de recarga variam de 22 a 25 °C, aumentando gradualmente com a profundidade até atingir o máximo conhecido de 63 °C em Presidente Prudente, SP (Rosa et All) O aumento da temperatura é decorrente do grau geotérmico que cresce cerca de 1 °C a cada 35m de profundidade. (1°C/35 m). Os teores de sílica aumentam também com o aumento da temperatura das águas.

Em alguns locais têm sido determinadas concentrações muito elevadas de fluoreto, da ordem de 13 mg/l.

Águas dos Aqüíferos Xistosos e Quartzíticos dos Grupos Araxá e Canastra – PEXQZ, PEX e PEQZ

Essas águas mostram características físico-químicas variáveis em função da predominância entre os fácies xistosos e quartzíticos. Quando predominam quartzitos puros, as águas tendem a apresentar mais baixa mineralização, ao contrário de quando predominam os xistos. Na ocorrência de intercalações, em

variadas proporções dessas litologias, as águas mostram composição e características intermediárias.

De um modo geral, as águas têm condutividade elétrica variando entre 19 e 216 micro S/cm, com sólidos totais dissolvidos entre 18 e 142 mg/l. O pH varia de 5 a 8,3, com valor médio de 7,27. A dureza total varia de 8 a 137 mg/l de CaCO₃. As concentrações de sulfato e cloreto não ultrapassam 6 e 10 mg/l, respectivamente. São águas do tipo bicarbonatadas cálcicas predominantes.

Águas dos Aqüíferos Cársticos e Cárstico-fissurados do Grupo Bambuí - PEBPCA e PEBCA

Com área de ocorrência relativamente restrita na bacia do rio Paranaíba, as águas dos sistemas aqüíferos cársticos e cárstico-fissurados do Grupo Bambuí mostram predominância de caráter alcalino, com pH acima de 7, atingindo valores superiores a 8.

A condutividade elétrica varia nas amostras analisadas de 60,7 a 407 microS/cm, com consequente aumento da dureza nas águas com maior concentração de sólidos dissolvidos. Os cátions predominantes são Ca e Mg; as concentrações de cloretos e sulfatos são baixas, inferiores a 35 e 13 mg/l, respectivamente, nas amostras analisadas.

Nos fácies psamíticos e pelíticos do Grupo Bambuí (siltitos, arcósios e quartzitos) as águas tendem a ser menos mineralizadas e com baixa dureza.

Classificação Quanto ao Uso

De um modo geral, considerando todas as amostras analisadas, as águas subterrâneas da bacia do rio Paranaíba são de excelente qualidade físico-química e não apresentam restrições relevantes, tanto para o consumo humano, uso agrícola ou industrial. Uma avaliação detalhada da adequabilidade da qualidade das águas para os diversos tipos de utilização, por sistema aqüífero, mostra a seguinte situação:

Águas para o Consumo Humano

As águas associadas aos arenitos do Grupo Bauru (KB) e e da Formação Mata da Corda (KMC) não apresentam restrições quanto à potabilidade, à exceção de alguns valores de pH abaixo de 6, em áreas restritas, ou de concentrações de ferro total superiores a 3 mg/l, localmente.

As águas do sistema aquífero basáltico (JKSG) podem apresentar, em áreas localizadas, pH elevado, entre 9 e 10, relacionadas à ocorrências do tipo bicarbonatadas sódicas ou, ainda, a teores de ferro total acima dos padrões recomendados. Em relação aos demais parâmetros, não há restrições.

As águas dos arenitos da Formação Botucatu (JKBO) não apresentam restrições para o consumo humano, salvo concentrações elevadas de fluoretos, em áreas localizadas.

Nos aquíferos associados aos quartzitos e xistos dos Grupos Araxá e Canastra, as águas não apresentam restrições de potabilidade.

Nas águas dos sistemas carbonáticos e pelítico-carbonáticos do Grupo Bambuí, as restrições estão relacionadas à dureza elevada, quando as concentrações de sólidos totais dissolvidos ultrapassam a 250-300 mg/l.

O Quadro 103 sintetiza as restrições e adequações das águas quanto aos critérios de potabilidade, tomando-se as Normas e Recomendações da Organização Mundial da Saúde – OMS.

Águas para Uso Agrícola

Em termos de classificação das águas para irrigação, a maioria das águas dos sistemas KB, KMC, JKSG e PEXQZ enquadra-se na classe C1S1, na classificação de Wilcox, baseada na salinidade e na razão de adsorção de sódio (SAR), sendo excelentes para esta finalidade. No caso dos aquíferos xistosos e quartzíticos (PEXQZ) as restrições estão mais relacionadas à quantidade do que à qualidade

das águas, tendo em vista a baixa capacidade de produção destes sistemas, quando comparados aos aquíferos granulares.

Nos aquíferos basálticos podem ocorrer, em áreas restritas, concentrações de sódio mais elevadas com ocorrência de águas da classe C1S2.

No aquífero Botucatu, as concentrações totais de sólidos dissolvidos podem ultrapassar 250 mg/l ou mais, com ocorrências de águas C2S1 ou mesmo C3S1, em áreas localizadas. Nas áreas de afloramento e confinadas pouco profundas, predominam águas da classe C1S1, sem riscos de sódio ou salinidade.

Nos aquíferos cársticos e cárstico-fissurados, não se verificam riscos de sódio com ocorrência de águas das classes C1S1 e C2S1.

Quadro 103 - Potabilidade das águas subterrâneas por sistema aquífero, na bacia do rio Paranaíba

PARÂMETROS	LIMITES RECOMENDADOS	KB	KMC	JKSG	JKBO	PEXQZ	PEB
Cor	5 – 15	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições
Turbidez	1 – 5	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições
Ph	6,5 - 8,5	Restrições locais (<6,0)	Restrições locais (<6,0)	Valores > 9,0 em algumas área	S/restrições	S/restrições	S/restrições
STD	500	S/restrições	S/restrições	S/restrições	Restrições locais	S/restrições	Restrições locais
Dureza Total	200	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	Restrições locais
Cloretos	250	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições
Sulfatos	400	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições
Nitratos	10	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições
Fluoretos	0,6 – 1,6	S/restrições	S/restrições	Restrições locais	Restrições locais	S/restrições	S/restrições
Ferro Total	0,3	Restrições locais (>0,3)	Restrições locais (>0,3)	Restrições locais (>0,3)	S/restrições	S/restrições	S/restrições
Manganês	0,1	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições	S/restrições

KB Aquífero arenítico do Grupo Bauru
 KMC Aquífero arenítico da Formação Mata da Corda
 JKSG Aquífero basáltico da Formação Serra Geral
 JKBO Aquífero arenítico da Formação Botucatu
 PEXQZ Aquíferos xiastosos e quartzíticos dos Grupos Araxá e Canastra
 PEB Aquífero carbonático e pelítico-carbonático do Grupo Bambui

Grau de Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação e Poluição

O grau de vulnerabilidade de um aquífero à contaminação, segundo Foster (1983), representa as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero de ser adversamente afetado por uma carga contaminante. O risco de contaminação, segundo o mesmo autor, é estabelecido a partir da interação entre dois fatores: (1) a carga contaminante que foi, é ou será aplicada no solo como resultado de uma ação antrópica; e (2) a vulnerabilidade natural do aquífero.

Com a adoção deste esquema, pode-se definir uma área de alta vulnerabilidade mas sem risco de poluição, tendo em vista a ausência de qualquer poluente ou, por outro lado, pode se ter uma área de baixa vulnerabilidade mas com alto risco de contaminação, diante da presença de uma carga poluente significativa. É importante considerar que a carga poluente pode ser controlada ou modificada, mas não a vulnerabilidade do aquífero que faz parte de um cenário natural hidrogeológico de uma determinada região.

227

Para uma avaliação regional destes dois fatores, a nível indicativo e preliminar, com base nos dados disponíveis na bacia, foi utilizada a metodologia proposta por Foster (1993), envolvendo, principalmente os sistemas aquíferos da bacia sedimentar do Paraná, em modelos hidrogeológicos típicos que ocorrem com maior frequência, tanto no trecho mineiro como goiano da bacia. Essa avaliação geral foi, em seguida, complementada com os resultados de simulações de fluxo e determinação dos tempos de trânsito em uma área-tipo representativa de extensas áreas de ocorrência dos arenitos do Grupo Bauru sobrepostos a basaltos da formação Serra Geral.

Principais Fontes de Contaminação na Bacia

As principais fontes de contaminação na bacia estão resumidas na Tabela 13. Dentre as atividades que podem gerar contaminação e poluição das águas subterrâneas, destacam-se, principalmente, as relacionadas com a utilização de agrotóxicos e fertilizantes em grandes extensões onde a agricultura irrigada tem

se intensificado nos últimos anos, especialmente sobre as áreas de ocorrência dos arenitos do Grupo Bauru. Tanto no Triângulo Mineiro, quanto na bacia do rio Verde e outras no trecho goiano, pratica-se intensivamente culturas de grãos, frutas e café.

Quadro 104- Principais fontes de Contaminação na Bacia

ATIVIDADE	TIPOS DE POLUENTES	CARACTERÍSTICAS DE DISTRIBUIÇÃO
1. Saneamento sem sistema de esgoto	Patógenos fecais, carga orgânica, nutrientes	Urbano, rural, pontual ou difusa
2. Lançamentos de águas residuárias em cursos d'água	Patógenos fecais, carga orgânica, nutrientes	Urbano, rural, pontual ou difusa
3. Lixiviação de aterros sanitários e lixões	Carga orgânica, salinidade e metais pesados	Urbano e rural, pontual
4. Agricultura com uso de fertilizantes e pesticidas, irrigação	Nutrientes, compostos orgânicos sintéticos, salinidade	Rural e difuso
5. Mineração	Salinidade, metais pesados	Urbano ou Rural , pontual e difusa
6. Industrial – Lançamento de efluentes, disposição de resíduos, acidentes em tanques ou tubulações.	Salinidade, metais pesados, compostos organo-sintéticos	Rural ou urbano, pontual e difuso

Schneider, 1996, in Bogniotti (1999), em pesquisa efetuada na bacia do rio Uberabinha, fez um levantamento junto aos agricultores dos produtos utilizados na safra 1987/88, cuja relação consta da Tabela 3.7.2. Segundo a mesma autora, na implantação de florestas homogêneas na região foram utilizados em larga escala produtos como Audrin e BHC para prevenção de formigas e cupins.

Segundo Foster (op. cit), a proporção lixiviada de uma aplicação de pesticida, em Kg/ha/ano, pode mostrar uma variação no intervalo de 0,5 a 5%, de acordo com o tipo de composto, regime climático e ao sistema solo-colheita. Em consequência, destaca, “a principal ameaça para a qualidade das águas subterrâneas está associada com compostos relativamente móveis, aplicados ampla e regularmente em áreas de recarga dos aquíferos”.

Outra atividade com grande potencial de contaminação refere-se ao saneamento sem rede de esgoto. Sob certas condições hidrogeológicas adversas, representam um risco de migração direta de bactérias e virus patogênicos para aquíferos subjacentes e fontes vizinhas de águas subterrâneas. São

relativamente comuns, em zonas urbanas densamente povoadas, estes tipos de lançamento "in situ" ao lado e a distâncias indesejáveis de captações de poços escavados ou tubulares, acarretando sérios riscos de poluição das águas subterrâneas.

Em muitas cidades constata-se que as áreas marginais ou mesmo áreas centrais não possuem um sistema de coleta de esgoto. Frequentemente, encontram-se nestas áreas urbanas diversas indústrias e atividades (por exemplo, têxteis, oficinas metalmecânicas, gráficas, curtumes, postos de gasolina, etc.) que geram efluentes líquidos, tais como óleos e solventes. Sem controle adequado, esses efluentes costumam ser lançados diretamente no solo ou em córregos vizinhos. A longo prazo, o despejo de uma crescente variedade de produtos químicos, especialmente os hidrocarbonatos halogenados, representam séria ameaça à qualidade das águas subterrâneas locais.

A disposição de resíduos sólidos urbanos e industriais representa também fonte de poluição das águas subterrâneas. Neste particular, os lixões não controlados e com despejos industriais perigosos lançados, inadequadamente, são os maiores causadores de poluição.

Deve-se ter em conta ainda a possibilidade de "acidentes ambientais" que podem resultar numa carga poluente pontual no subsolo. Tais acidentes ocorrem, frequentemente, nas vias públicas durante o transporte e envolvem, muitas vezes, derivados de petróleo ou substâncias químicas perigosas. Por outro lado, conhecem-se inúmeros casos de fugas e rupturas de tanques de armazenamento e canalizações, em grande parte associados a combustíveis, que representam igualmente uma séria ameaça para os mananciais subterrâneos subjacentes.

Perspectivas de Utilização dos Recursos Hídricos Subterrâneos

Identificação dos Problemas e Potencialidades

A bacia do rio Paranaíba dispõe de importantes recursos de água subterrânea que vem sendo explorados para diversos tipos de utilização, incluindo-se águas

minerais e termais em determinadas áreas, utilizadas para engarrafamento ou por balneários e estâncias hidrominerais.

As perspectivas de utilização das águas subterrâneas na bacia do rio Paranaíba, 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)
- › Super-exploração e conflitos de uso

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 associados às formações da bacia sedimentar do Paraná – arenitos e basaltos; e os relacionados às rochas carbonáticas e pelítico-carbonáticas do Grupo Bambuí (PEBCA e MPCA). Incluem-se também nesta condição os aquíferos associados à Formação Mata da Corda, embora com pequena área de ocorrência na bacia.

Os primeiros distribuem-se por toda a metade sudoeste da bacia, com extensas áreas de exposição dos arenitos da Formação Bauru, sobrepostos aos basaltos da Formação Serra Geral e formação Botucatu, conforme mostrado no Mapa de Distribuição dos Sistemas Aquíferos. Em geral, as zonas de valores mais elevados de vazão específica (mapa) estão relacionadas a poços que captam estes sistemas, com valores médios de 0,706 l/s.m (aquífero Bauru); 0,363 l/s.m (aquífero Basáltico); 0,550 l/s.m (aquíferos Basáltico e Botucatu) e 0,525 l/s.m (aquíferos Bauru e Basáltico).

Poços com valores de vazão específica de 0,363 a 0,706 l/s.m podem produzir vazões de 7,3 l/s (26 m³/h) a 14,12 l/s (51 m³/h) para rebaixamentos dos níveis de água de 20 metros.

Os sistemas Bauru e Basáltico vêm sendo aproveitados, principalmente no Triângulo Mineiro e em território goiano para abastecimento público e doméstico, para uso industrial e para irrigação, principalmente de café. Muitas cidades e distritos da região, se abastecem total ou parcialmente a partir destes mananciais subterrâneos.

O aquífero Botucatu vem sendo menos explorado, especialmente nas áreas onde o aquífero é confinado devido à maior profundidade de captação (> 400-500 m), desconhecida em muitas áreas da bacia.

Os sistemas cársticos e cárstico-fissurados do Grupo Bambuí, embora com área de ocorrência restrita na bacia, apresentam também, em alguns locais, boa produtividade, com vazão específica média de 0,305 l/s.m, podendo alcançar valores máximos da ordem de 1,8 l/s.m, em zonas de maior grau de carstificação. Para rebaixamento dos níveis de água de 20 metros, poços perfurados neste sistema podem produzir vazões em torno de 40 l/s (144 m³/h), embora a média seja de apenas 6,1 l/s (22 m³/h). A grande dispersão dos dados mostra a heterogeneidade do meio aquífero, de um lado, e a necessidade de se levantar previamente no campo as estruturas favoráveis ao armazenamento de água para se alcançar bons resultados na perfuração de poços.

Os sistemas relacionados aos arenitos cretácicos da Formação Mata da Corda, 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.

A vazão específica máxima nos poços inventariados é de 2,28 l/s.m com média de 0,608 l/s.m. Poços com vazão específica média desta ordem podem produzir 12 a 18 l/s (43 e 65 m³/h) para rebaixamentos de 20 e 30 metros,

respectivamente. Em condições favoráveis, esse sistema granular pode ser utilizado para abastecimento público e pequenos projetos de irrigação. Com extensa área de ocorrência a NW, N e NE da bacia, os sistemas fissurados relacionados aos sistemas xistosos e quartzíticos dos Grupos Araxá e Canastra e granítico-gnaissico do embasamento caracterizam-se como de baixa produtividade e grande heterogeneidade e anisotropia, em função do próprio caráter fissural e permeabilidade secundária restrita às fraturas das rochas.

Dentre esses sistemas, destacam-se como os mais produtivos os aquíferos quartzíticos com intercalações de xistos e os pelíticos associados às ardósias e siltitos do Grupo Bambui. As vazões específicas médias são, respectivamente, de 0,296 l/s.m, com mediana de 0,05l/s.m e 0,142 l/s.m e mediana de 0,035, podendo produzir, através de poços, vazões de 6 l/s (21 m³/h) a 2,8 l/s (10 m³/h), para rebaixamentos de 20 metros.

Nos demais sistemas fissurados, xistosos e granito-gnássicos a capacidade de produção é em geral muito baixa, com vazão específica média variando de 0,072 l/s.m nos sistemas xistosos; a 0,095 nos granítico-gnaissicos.

Esses 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.

No que se refere à profundidade de captação, não há limitações para a maior parte dos sistemas aquíferos, à exceção do aquífero Botucatu nas áreas onde ocorre confinado pelos basaltos. Devido a estas limitações, poucos poços foram até agora perfurados para captar esse sistema, não se conhecendo sua profundidade em muitas áreas. Poços profundos com profundidades superiores a 1000 metros tem sido perfurados no Estado de São Paulo, obtendo-se bons resultados. As profundidades dos níveis de água, que implicam em maiores custos de bombeamento, não apresentam limitações na maior parte da bacia.

Excetuando-se as zonas de alinhamentos de serras em cotas elevadas para os aquíferos fraturados, cársticos e cárstico-fissurados, níveis de água mais profundos ocorrem somente nas zonas de chapadas com cotas superiores a 900-1.000 metros, relacionadas aos sistemas areníticos cretácicos. Profundidades dos níveis de água nestes sistemas superiores a 50 metros perfazem apenas cerca de 7% dos poços inventariados, com valor máximo em torno de 100 metros. Considerando – se o total de poços cadastrados na bacia, a média é de 12,45 m, com máximo de 150 metros.

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 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, algumas amostras analisadas ultrapassam o valor de 250 micromhos/cm, enquadrando-se nas classes C2, 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 de contaminação dos diversos sistemas aquíferos, as principais fontes de poluição são de contaminantes biológicos por problemas de saneamento e inexistência de redes de esgoto, além dos relacionados ao uso de agrotóxicos nas atividades agrícolas.

Além dos problemas de riscos de contaminação reais ou potenciais, outro aspecto que merece especial atenção dos órgãos gestores dos recursos hídricos é a falta de um controle efetivo sobre concessões de outorga de direito de uso das águas subterrâneas a fim de evitar os riscos de superexploração dos aquíferos.

Em algumas áreas da bacia, como em Araguari, no Triângulo Mineiro, com grande adensamento de poços, perfurados sem nenhum controle e conhecimento das reais disponibilidades de água subterrânea, vem ocorrendo rebaixamentos acentuados e problemas de conflitos de uso. Em Caldas Novas, Goiás, a perfuração indiscriminada de poços para aproveitamento hidrotermal provocou rebaixamentos acentuados e interferências entre poços, constituindo outro exemplo dos problemas que uma exploração concentrada, sem levar em conta a real capacidade dos mananciais, pode acarretar.

e) BACIAS DOS RIOS JEQUITINHONHA E PARDO

Para a elaboração do Plano Diretor de Recursos Hídricos das bacias dos rios Jequitinhonha e Pardo, foi prevista, na fase de estudos hidrológicos básicos - Parte B, a execução de estudos hidrogeológicos que, em conjunto com o das águas superficiais, darão suporte ao diagnóstico da situação atual das bacias. 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.

234

e.1) Sistemas Aquíferos

O ambiente geológico da área do projeto permite, num primeiro nível, agrupar as unidades aquíferas em três grandes categorias, de acordo com o tipo de permeabilidade das formações. Identificam-se, assim, um meio granular, um meio cárstico-fissurado e um meio puramente fissurado. Para cada categoria, num segundo nível de agrupamento, os sistemas aquíferos foram individualizados em função do caráter litológico predominante. As relações entre os sistemas e as unidades geológicas associadas, assim como os tipos de rochas dominantes, constam descritos a seguir:

Meio Granular

- sedimentos aluviais;
- coberturas detríticas e manto de alteração.

Meio Cárstico-Fissurado

- rochas pelíticas e carbonáticas.

Meio Fissurado

- rochas alcalinas;
- rochas quartzíticas;
- rochas xistosas;
- rochas gnáissicas e graníticas.

Apresenta-se, a seguir, a distribuição, ocorrência e principais características litológicas e estruturais de cada sistema aquífero.

e.2) Ocorrência, distribuição e características lito-estruturais**Aquíferos Granulares****Aquíferos em sedimentos aluviais**

O sistema aluvial engloba, apenas, uma unidade aquífera, formada pelos depósitos detríticos recentes, de origem fluvial, encontrados ao longo da rede de drenagem, nos canais fluviais, planícies de inundação e terraços.

235

Na bacia do rio Jequitinhonha, afora uma extensa ocorrência identificada nas proximidades da foz desse rio, na zona litorânea entre Itapebi e Belmonte, o desenvolvimento dos aquíferos aluviais é bastante modesto; isto se deve à morfologia dominante na quase totalidade da bacia, caracterizada pelo relevo movimentado, com vertentes íngremes e vales estreitos, desfavoráveis, portanto, à formação de grandes planícies fluviais.

Na bacia do rio Pardo, a ocorrência mais expressiva, por sua extensão e importância hidrogeológica, é encontrada na região a leste de Mascote, que se estende até a foz do rio Pardo, em Canavieiras. Nesta região litorânea, os aluviões do Pardo e Jequitinhonha se fundem, constituindo uma ampla planície costeira, com extensão de 35 km ao longo da linha da praia, e largura de, aproximadamente, 28 km. Além dessa ocorrência, os aluviões são encontrados na região do alto curso do rio Pardo, no trecho a montante da confluência deste, com o rio São João do Paraíso, no vale do próprio rio Pardo e de seus principais tributários.

Na região de Canavieiras, a diferenciação litológica principal em relação àquela encontrada em Belmonte, é a maior frequência e maiores espessuras dos horizontes argilosos, que se intercalam nas areias; essas argilas, não raro, são ricas em matéria orgânica, daí suas cores acinzentadas escuras, e contêm restos de vegetais de conchas. As areias, cascalhos e argilas dessa região, por vezes, apresentam, também, cimento calcífero. As espessuras dos depósitos litorâneos e a presença de restos de conchas e de cimentação calcífera, parece não deixar dúvidas quanto a origem fluvio-marinha desses sedimentos.

Aquíferos em coberturas detríticas e mantos de alteração

Esse sistema engloba as unidades aquíferas superficiais, associadas ao manto de alteração das rochas - saprolitos, elúvios e colúvios, aos depósitos detríticos de cobertura do terciário-quadernário e aos sedimentos detríticos terciários da Formação Barreiras.

O primeiro, apesar de não representado no mapa de sistemas aquíferos, ocorre de maneira generalizada. A litologia e espessura desses materiais são bastante variáveis e guardam estreita relação com a natureza da rocha de origem e as condições climáticas pretéritas. Os depósitos detríticos de cobertura, quase sempre correlacionados aos processos de aplainamento do terciário superior, são encontrados com maior frequência nas porções mais elevadas do relevo regional, em cotas que oscilam de 900 até 1.200m. Constituem, normalmente, superfícies planas a levemente onduladas, com rede de drenagem escassa a inexistente, conformando platôs, chapadas ou pediplanos, limitados muitas vezes por escarpas resultantes de processos erosivos atuais. Esses depósitos sem estratificação definida, são constituídos por sedimentos predominantemente finos, areias, siltes e argilas, por vezes conglomeráticos. A parte basal é, frequentemente, marcada por níveis de cascalheiras com seixos de quartzo de vários tamanhos e formas, e concreções ferruginosas. Localmente, encontram-se lateritizados, dando origem à formação de crostas superficiais de limonita ou níveis de canga. Os depósitos de cobertura, na sua quase totalidade, se distribuem nas regiões do Alto Jequitinhonha e do Alto e Médio Pardo.

Na bacia do Jequitinhonha, suas áreas de ocorrência mais expressivas se situam nos divisores de água dos principais cursos d'água, podendo citar-se, entre outras, as ocorrências da extensa chapada divisora das bacias do Jequitinhonha e Araçuaí; a chapada da serra da Bocaina, que constitui o divisor das bacias do Itacambirucu e Vacaria; e, as chapadas da região de Itamarandiba. Além dessas, registra-se várias pequenas ocorrências distribuídas sobre a Serra do Espinhaço, desde a região de Diamantina até o divisor das bacias do Jequitinhonha e Pardo.

Na bacia do rio Pardo, na região do alto curso, próxima à serra do Espinhaço, e na parte central da bacia (regiões de Encruzilhada e Itambé), as coberturas se distribuem de modo análogo as da bacia do Jequitinhonha, ou seja, ocorrem, quase sempre, recobrendo rochas xistosas do Grupo Macaúbas, em áreas topograficamente elevadas dos divisores de água. Já no trecho do médio curso do Pardo, uma extensão considerável da bacia é ocupada pelas coberturas. Essa ampla área de ocorrência se distribui continuamente entre os divisores sul e norte da bacia, ou seja, desde a região de Taiobeiras - Águas Vermelhas até a região de Belo Campo, prolongando-se para nordeste e atingindo a região de Vitória da Conquista, Planalto e Barra do Rocha. Nas zonas mais próximas das bordas da bacia, repousam sobre gnáisses e migmatitos pré-cambrianos, enquanto nas áreas mais interioranas jazem sobre rochas xistosas do Grupo Macaúbas. Sua composição e espessuras são similares às das ocorrências do vale do Jequitinhonha.

A outra unidade aquífera que integra o sistema das coberturas detríticas, designada Formação Barreiras, é encontrada, apenas, em áreas da extremidade oriental das bacias do Pardo e Jequitinhonha. Limitados ao leste pela linha da costa, onde, em parte, acham-se recobertos pelos depósitos fluviais, os sedimentos dessa Formação se estendem para o interior até uma distância média de 50 km, depositados, em sua maior parte, sobre metassedimentos do Grupo Rio Pardo.

As exposições, em geral, situam-se em cotas inferiores a 100m, podendo atingir 200m ou um pouco mais, nas áreas mais afastadas da costa. Em sua composição

destacam-se conglomerados basais com estratificação cruzada que passam verticalmente para arenitos grosseiros, também com estratificação cruzada e, finalmente, arenitos argilosos e argilas com estratificação plano-paralela. Esses sedimentos, no conjunto, apresentam cores variadas, predominando a vermelha sobre a amarela, branca e violeta. Sua espessura em um poço tubular da CERB, perfurado no município de Itapebi, chega a 61m, destacando-se, no perfil, uma composição argilosa de cores amareladas e avermelhadas, na metade superior, e de areias finas amareladas, na metade inferior.

Aqüíferos Cárstico-Fissurados

Aqüífero em rochas pelíticas e carbonáticas

Este sistema é constituído por facies ou unidades de rochas pelíticas e/ou psamíticas metassedimentares e por rochas carbonáticas (calcários ou dolomitos), não diferenciadas no mapa de sistemas aquíferos. Representam, portanto, aquíferos em meio puramente fissurado ou cárstico.

238

Na área em estudo, o sistema cárstico-fissurado se identifica principalmente com uma sequência de metassedimentos de idade pré-cambriana (proterozóica-superior), com denominação estratigráfica de Grupo Rio Pardo, ocorrendo, também, em área muito restrita rochas do Grupo Bambuí. Exposições do Grupo Rio Pardo são encontradas na região oriental das bacias do Jequitinhonha e Pardo, entre as cidades de Pau Brasil e Itapebi e em áreas isoladas, ao leste de Camacan e ao sul de Potiraguá.

De acordo com INDA et. al., 1978, esse conjunto metassedimentar, dobrado e afetado por falhamentos diversos, pode ter sido originado em uma bacia intracratônica desenvolvida em regime de plataforma. Seu contato com rochas pré-cambrianas mais antigas se dá, quase sempre, por falha, enquanto que na região leste, acha-se recoberto pelos depósitos da Formação Barreiras.

Sob o ponto de vista litológico, segundo INDA et. al., 1978, op. cit., a sequência Rio Pardo se inicia por conglomerados petromíticos de matriz arroxeadas que

afloram ao nordeste de Camacan, identificados como Formação Panelinha. Segue-se na sequência, a Formação Camacan, que aflora ao leste e sudeste da cidade homônima e é constituída principalmente de ardósias arroxeadas bem laminadas, com intercalações de margas e dolomitos azulados; mais para o topo dessa unidade, as ardósias são substituídas por níveis argilosos e sílticos ou arenosos. A unidade seguinte na coluna do Grupo Rio Pardo, que se denomina Formação Salobro, tem uma composição exclusivamente clástica. O Grupo Bambuí é representado pelos litossomas pertencentes à Formação Paraopeba - facies pelítica e carbonática - do Grupo Bambuí, referida ao pré-cambriano-proterozóico superior.

Os metapelitos da Formação Paraopeba são encontrados em área restrita na extremidade ocidental da bacia do rio Jequitinhonha, a oeste da cidade de Itacambira. Em sua litologia dominam os siltitos, por vezes calcíferos, com raras intercalações lenticulares de calcários escuros. Repousam sobre o embasamento cristalino em contato discordante e, ao leste, acham-se limitados por falha inversa de direção geral N-S, que determina seu contato com rochas do Grupo Macaúbas. Seu topo é marcado pela ocorrência de coberturas detríticas terciária-quaternárias e aluviões quaternárias. Registra-se nessa área, "efeitos significativos do tectonismo, que resultou na formação de grandes sinclinais e anticlinais, as vezes, recumbentes, com eixos na direção geral norte-sul "-CE-TEC, 1980, op.cit."

Aqüíferos Fraturados

Aqüífero em rochas alcalinas

A presença de rochas alcalinas nas bacias do Jequitinhonha e Pardo é restrita a quatro pequenas ocorrências localizadas na região do baixo curso desses rios, nas proximidades das cidades de Potiraguá e Itarantim. Entre elas destaca-se um corpo intrusivo maior, sobre o qual se desenvolveu a cidade de Itarantim, e outro, de menor dimensão, localizado a sudeste do primeiro, ambos constituídos de sienitos e englobando os gnáisses fenitizados da encaixante. Esse conjunto é conhecido como Complexo Alcalino de Itarantim e é referido ao Proterozóico Superior. Foram identificados, em sua composição, nefelina sienitos constituídos,

principalmente, de micropertita, microclina, albita e nefelina como principal feldspatoide e, biotita como máfico principal. Ocorrem, também, aegirina-sienitos com cor castanha, granulação grossa e textura isótropa, compostos por feldspato alcalino (70%), plagioclásio (10%) e aegirina-augita (7%).

Outra geração de corpos intrusivos alcalinos relacionados ao Proterozóico Inferior e constituídos, também, por sienitos, ocorre ao norte de Potiraguá, na margem esquerda do vale do rio Pardo, e numa área isolada ao sudeste da região, onde aflora o Complexo Alcalino de Itarantim. Não há referências sobre a composição mineralógica desses dois corpos intrusivos.

Aqüíferos em rochas quartzíticas

As ocorrências dos aqüíferos em rochas quartzíticas, no âmbito das bacias dos rios Jequitinhonha e Pardo, estão relacionadas, principalmente, às unidades geológicas do Super-grupo Espinhaço, sendo, também, encontradas como intercalações na Associação de Xistos, Gnáisses e Migmatitos.

240

Cumprir observar, todavia, que estão presentes em outras unidades mapeadas, notadamente entre aquelas do Grupo Macaúbas, várias ocorrências impossíveis de serem representadas na escala do presente estudo.

Dentro da Associação de Xistos Gnáisses e Migmatitos que reúne litologias diversas, datadas do Arqueano, foram individualizadas duas áreas de ocorrência, ambas situadas no trecho do médio curso do rio Jequitinhonha. Uma delas se distribui numa faixa norte-sul que inclui as cidades de Felisburgo e Almenara e outra, localizada mais a oeste, é alongada na direção aproximada leste-oeste e tem em sua extremidade sul a cidade de Jequitinhonha.

As áreas de exposição mais expressivas desses aqüíferos são encontradas na extremidade sudoeste da bacia do Jequitinhonha - região de Diamantina, Couto de Magalhães e Felício dos Santos - e ao longo, de praticamente, toda a extremidade ocidental das bacias do Jequitinhonha e Pardo. Morfologicamente, fazem parte de uma unidade notável do relevo regional, conhecida como serra

do Espinhaço. Em função da própria natureza das rochas que a compõe, essa unidade se sobressai neste relevo conformando serras com altitudes que variam entre 1200 e 1400m.

Segundo o CETEC, 1980, op.cit., a área de ocorrência sul-ocidental, região de Diamantina, contém, principalmente, quartzitos, quartzitos ferruginosas e filitos, além de concentrar a maioria das ocorrências de rochas metavulcânicas; secundariamente, ocorrem itabiritos e chert. Nas áreas de exposição, ao longo do divisor de águas do Jequitinhonha e Pardo com a bacia do São Francisco, predominam quartzitos de coloração amarelada com intercalações de filito e algumas ocorrências de rochas básicas.

Aqüíferos em rochas xistosas

Esse sistema aquífero, entre os demais, é o que apresenta a mais extensa área de ocorrência, tanto na bacia do rio Jequitinhonha como na do rio Pardo. Está sempre associado às unidades geológicas do Grupo Macaúbas, onde ocorrem litossomas, predominantemente, xistosos.

241

A área ocupada pelas rochas xistosas do Grupo Macaúbas se distribui numa ampla e extensa faixa, limitada a oeste nos flancos da serra do Espinhaço. De sul para norte, ela se estende, continuamente, desde a região de Couto de Magalhães, Itamarandiba e Capelinha, no alto curso dos rios Jequitinhonha e Araçuaí, até o limite norte da bacia do rio Pardo, na divisa com o estado da Bahia..

A litologia do Grupo Macaúbas no conjunto das áreas de ocorrência mostra uma grande predominância de xistos de diversas naturezas, sobre os diamictitos e filitos, rochas que lhes seguem na ordem de importância; subordinadamente, ocorrem quartzitos, conglomerados, metarcósios, filitos e, mais raramente, ardósias e calcários dolomíticos. Esse conjunto de metamorfitos, datado do Proterozóico Superior, na quase totalidade da área de ocorrência, tem sua base assentada, discordantemente, sobre diversas unidades arqueanas do

embasamento e, em alguns locais, sobre rochas do Super-grupo Espinhaço; sua parte superior é, parcialmente, recoberta por coberturas detríticas cenozóicas.

A distribuição dos diversos tipos litológicos e as principais características estruturais dessa unidade, no estado de Minas Gerais, foram descritas pelo CETEC, 1980, op.cit. e por LITWINSKI et al., 1982. Segundo esses autores, as características litológicas e estruturais do Grupo Macaúbas se diferenciam em três faixas de direção geral NNE, que se dispõem paralelamente à serra do Espinhaço.

Com relação aos aspectos estruturais, cumpre salientar que a sequência Macaúbas, no seu todo, é intensamente dobrada com eixos axiais, preferencialmente, orientados nas direções NE a ENE e mergulhos mais frequentes para SE. Nessa mesma direção geral, acham-se orientados os grandes falhamentos e fraturamentos, merecendo destaque, entre outros, o sistema de falhas inversas com direção geral NE e mergulho para SE da região de Turmalina e a falha inversa de Taiobeiras, com mais de 100 km de extensão, compreendida entre a região ao oeste de Carbonita e a região ao norte de Taiobeiras, com direção, aproximadamente, 10 ° E e mergulho para SE.

Aqüíferos em rochas gnáissicas e graníticas

Sob essa denominação foram agrupadas quatro unidades geológicas, correspondentes às principais sequências de rochas arqueanas encontradas nas bacias do Pardo e Jequitinhonha, quais sejam: Associação Charnoquítica; Associação de Gnáisses e Granitos Diversos; Associação de Xistos, Gnáisses e Migmatitos; e Pré-cambriano indiviso.

A Associação Charnoquítica, composta, essencialmente, por charnoquitos propriamente ditos, quartzo-dioritos, dioritos, noritos e gnáisses, tem representação insignificante na região mapeada, ficando restrita a uma pequena área ao nordeste de Padre Paraíso. Os aqüíferos relacionados à Associação de Gnáisses e Granitos Diversos ocorrem com maior expressão em três áreas distintas. Uma, ao norte de Itacambira, disposta numa faixa alongada na direção

N-S; outra, que se distribui ao longo do divisor meridional da bacia do Jequitinhonha, se estendendo desde a região de Felício dos Santos e Senador Modestino, até a cidade de Caraí. A terceira e mais expressiva delas, fica compreendida entre os divisores de água norte e sul do Jequitinhonha, englobando a região onde se situam as cidades de Itaobim, Comercinho, Medina, Pedra Azul e André Fernandes.

A área ao norte de Itacambira se caracteriza morfológicamente por um relevo arrasado, onde se sobressaem cristas orientadas segundo as estruturas regionais. Destacam-se em sua litologia os granito-gnáisses, com graus variados de metamorfismo, e corpos granitóides. Sua estrutura apresenta grande complexidade, sugerindo fases superpostas de deformação. "Identificaram-se extensos falhamentos com direção geral NNE e caimento para W, e dobramentos amplos, cujos planos axiais mostram direção geral N-S com mergulho para W normalmente, com eixos caindo para S" (LITWINSKI, et. al., 1982, op. cit.).

A Associação de Xistos Gnáisses e Migmatitos tem suas ocorrências distribuídas na porção oriental das bacias do Jequitinhonha e Pardo, nas regiões a leste de André Fernandes e Joáima, englobando municípios como Almenara, Jacinto, Bandeira, Jordânia e Salto da Divisa, em Minas Gerais, e Itapebi, na Bahia.

Também na Bahia, faz parte dessa unidade, a região entre Itarantim/Potiraguá e Vitória da Conquista/Planalto. Nessas áreas, observam-se dobramentos amplos com direções axiais aproximadamente N-S, variando para NNW na área entre Itapetinga e Planalto.

A unidade denominada Pré-cambriano Indiferenciado, reúne litossomas de idade arqueana não identificados com as unidades litológicas existentes nas diversas áreas. Geralmente, é composta por migmatitos variados e intrusivas, tendo ocorrência dispersa em pequenas áreas, como ao norte de Itacambira, ao leste e noroeste de Caraí, e na região de André Fernandes, entre outras.

Modelo Hidrogeológico

O modelo hidrogeológico predominante nas bacias dos rios Jequitinhonha e Pardo é caracterizado por quatro unidades geomorfológicas bem diferenciadas:

- uma zona de chapadas, com altitudes em torno de 900 a 1300m, que se estende ao longo das cabeceiras e divisores de água;
- uma zona de escarpas ou rebordo de chapadas, com depósitos de talus e pedimentos;
- uma ampla zona de colinas e cristas, em geral, com forte relevo, vertentes ravinadas e vales encaixados;
- uma zona baixa de vales e depressões onde, localmente, se desenvolveram planícies aluviais.

A evolução e desenvolvimento dos processos de dissecação fluvial que marcaram a conformação do relevo regional estão relacionada, em parte, com a distribuição e ocorrência das águas superficiais e subterrâneas.

244

Os depósitos de sedimentos de cobertura correlativos às superfícies de aplainamento do Terciário-Quaternário (TQC), representados por colúvios e eluvios areno-argilosos têm, em geral, permeabilidade elevada e grande capacidade de infiltração, conforme atesta o relevo plano a suave ondulado, com declividades não superiores a 8%, o tipo de solo (latossolos profundos e permeáveis) e a baixa densidade da drenagem superficial. As águas infiltradas nestes sedimentos percolam até o topo do substrato impermeável (rochas do embasamento cristalino), formando um lençol freático, em geral, pouco espesso, com nível d'água profundo. O escoamento destas águas é comandado pela inclinação ou ondulações do substrato e pelos sistemas de fraturas subjacentes, que representam zonas mais permeáveis e, conseqüentemente, direções preferenciais de fluxo. Muitas destas direções de fraturamento transversais comandam o próprio processo de dissecação destes sedimentos.

As zonas de descarga desses aquíferos ocorrem nas escarpas e bordas de chapadas, constituindo fontes ou nascentes de encostas, no contato com o

substrato. Nas áreas de chapadas mais contínuas e extensas, a descarga de água subterrânea destes aquíferos granulares é responsável pela manutenção do fluxo de base do escoamento superficial, tendo importante função reguladora.

Nas áreas onde o desgaste erosivo foi intenso, reduzindo estas chapadas a relictos de pequena extensão, pode ocorrer o desaguamento total ou parcial do aquífero, tornando as nascentes de encostas efêmeras ou intermitentes. Esta situação ocorre em alguns dos testemunhos remanescentes da chapada, onde se observa ausência de nível saturado na base dos depósitos granulares.

Na zona de colinas e cristas, serras e pontões, predominam os aquíferos em meio fraturado e, em áreas mais restritas, os aquíferos em meio cárstico-fissurado. Embora individualizados com base na litologia predominante, em aquíferos quartzíticos, xistosos, granito-gnáissicos e pelítico-carbonáticos, estes sistemas têm como característica comum uma permeabilidade primária muito baixa ou nula, de modo que a ocorrência e armazenamento de água é restrito aos sistemas de fraturas ou cavidades, provocadas por dissolução da rocha, no caso dos aquíferos carbonáticos.

A recarga destes aquíferos processa-se, principalmente, através dos sistemas de fraturas que controlam a drenagem superficial ou através de filtração vertical, a partir dos lençóis freáticos superficiais do manto de alteração, quando existentes, ou coberturas detriticas. De um modo geral, o controle estrutural da drenagem é mais acentuado no domínio dos xistos do Grupo Macaúbas e nos quartzitos do Grupo Espinhaço e, menos notável, nas zonas de granitos, principalmente nos intrusivos.

Embora algumas fontes ou pequenas filtrações de água possam ocorrer nas encostas e cabeceiras de drenagem, onde as condições topográficas são favoráveis, a descarga destes aquíferos processa-se, principalmente, no fundo dos vales, muitas vezes mascarada pelos depósitos aluviais, em áreas onde seu potencial hidráulico é mais elevado do que o dos níveis freáticos dos aluviões. Estas áreas de depressão e fundo de vales caracterizam-se, sobretudo, como zonas de interação entre as águas do meio fraturado, do freático e superficiais,

onde, em geral, ocorrem alternâncias de fluxos descendentes e ascendentes devido às oscilações sazonais de níveis d'água.

As zonas de acumulação de depósitos aluviais assumem alguma importância somente em trechos dos principais cursos d'água e seus afluentes, bem como no Baixo Vale, próximo à faixa litorânea. Nestas áreas, ocorre um aquífero freático aluvial, onde dominam, de um modo geral, sedimentos mais grosseiros no leito menor e fundo de vales e sedimentos silticos ou argilosos no leito maior (planícies de inundação). A permeabilidade destes sedimentos é bastante variável.

Na bacia do rio Salinas, diversos ensaios executados (CEMIG, 1992, 1993) mostraram valores de permeabilidade de 10^{-2} cm/s nos sedimentos mais grosseiros (areias médias e grosseiras) a valores de 10^{-4} e 10^{-5} cm/s nos sedimentos finos, siltico-argilosos das planícies de inundação e rampas de colúvios laterais.

Os aquíferos em sedimentos aluviais apresentam, em geral, algumas características comuns, inerentes à própria geometria, constituição e distribuição dos depósitos de origem fluvial:

- recebem recarga direta das águas de escoamento superficial;
- têm, normalmente, níveis d'água rasos próximos à superfície do solo;
- mantêm conexão hidráulica com as águas superficiais, sendo uma zona de ativas trocas de água rio-aquífero. Na época das cheias, há infiltrações e armazenamento nos bancos laterais (bank storage); na época seca, há retorno de água do aquífero para os rios.

Na faixa costeira, onde estes aquíferos assumem maior expressão, eles se intercalam com depósitos litorâneos das planícies fluvio-marinhas, ocorrendo uma interface água doce - água salgada, onde fenômenos de intrusão marinha podem se desenvolver.

Características dos Poços Inventariados

Os dados dos poços tubulares, utilizados no presente estudo, são procedentes, em sua maioria, dos arquivos da Companhia de Engenharia Rural da Bahia - CERB e da Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais- COPASA-MG, tendo-se, também, anexado dados oriundos de outras fontes pesquisadas, em especial do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, Setor de Recursos da Água, e da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, estes últimos contidos em Estudos de Impacto Ambiental, relativos aos reservatórios construídos nos rios Jequitinhonha e Pardo.

Tanto a CERB quanto a COPASA-MG dispõem de bancos de dados hidrogeológicos com informações sobre poços perfurados, nos respectivos estados, incluindo os de sua propriedade ou executados diretamente, como também poços de terceiros, perfurados por outras entidades. Por motivos operacionais, não foi possível a utilização dos dados e dos relatórios fornecidos por estes bancos de dados, tendo-se utilizado, no presente estudo, as próprias fichas de poços ou listagens de dados organizadas em estudos específicos anteriores.

247

Os dados não foram submetidos a nenhum teste de consistência sistemático, a não ser revisão e eliminação de erros grosseiros, quando identificados, ou cálculos e preenchimentos de valores, quando possível, em especial, nas análises de águas constantes dos boletins. Não foi realizado, por outro lado, nenhum inventário ou levantamento de campo para atualização de informações, o que seria impraticável nos prazos estipulados para o presente estudo. Desta maneira, as informações disponíveis referem-se à situação obtida na época e ao final da construção dos poços.

No total, foram cadastrados 758 poços tubulares, dos quais 530 localizados na área mineira das bacias e 228 no estado da Bahia.

A rede de poços mostra uma densidade relativamente baixa nas duas bacias, com distribuição irregular, ou seja, alta concentração em algumas áreas, em geral, no entorno de núcleos urbanos mais importantes, e baixa concentração ou

ausência de poços em outras, como ocorre nos baixos cursos e nas cabeceiras. Para cobrir, em parte, esta baixa densidade, alguns poços localizados próximos ao limite, mas fora das bacias, foram incluídos no inventário, desde que pertencentes às unidades geológicas de interesse ao presente estudo.

A maior parte dos poços inventariados foi perfurada nos últimos 10 - 15 anos, sendo que o registro mais antigo data de 1955. A distribuição dos poços, por ano de perfuração, mostra um incremento significativo do número de poços perfurados a partir de 1981, atingindo um pico máximo em 1987, com mais de 170 poços perfurados no ano. Embora o número de poços inventariados não guarde relação com o total de poços perfurados na região, ou com os poços atualmente em operação, o ano de 1987 marca um período onde a região foi beneficiada com vultoso programa governamental de perfuração de poços, para minorar os efeitos da seca. Em geral, o número de poços perfurados, maioria resultante de programas governamentais, mostra estreita relação com os ciclos de estiagem na região. Com relação às características dos poços inventariados, verificam-se as situações descritas abaixo.

- › O método de perfuração mais utilizado é o roto-pneumático, perfazendo 68% dos poços, justificando o maior desempenho e eficiência deste método em rocha dura e aquíferos fraturados, seguido do método a percussão (19%) e rotativo (12%)³.
- › A profundidade dos poços varia de 18 a 154 metros, com média de 74,5m e mediana de 70 metros .
- › A maioria dos poços têm profundidade variando de 50 a 100 metros, como é comum na perfuração de aquíferos em meio fraturado.
- › Os poços são construídos, em geral, com diâmetro de perfuração inicial de 10 ou 12" no material inconsolidado ou rocha inconsistente-manto de alteração ou cobertura detrítica - e em 6" ou 8" na rocha dura. Quando há grande espessura de sedimentos de cobertura e aproveitamento de níveis aquíferos nesta zona, os diâmetros de perfuração continuam em 10 ou 12" com revestimento total; quando há pequena espessura, como acontece na maioria dos casos, o poço inicia-se com 8" e é reduzido para 6" na rocha dura, sendo revestida, apenas, a parte superior inconsolidada.

- › A maior parte dos poços é revestida com tubos DIN-2440 de ferro galvanizado, de 6" ou 8", somente na parte superior, permanecendo aberto na rocha dura; quando há aproveitamento de níveis aquíferos nos sedimentos de cobertura ou no contato manto de alteração - rocha, são utilizados filtros tipo NOLD, Permetal ou Hidrossolo, ou mesmo filtros, espiralados tipo Johnson, galvanizado ou de aço inoxidável.
- › Os níveis d'água estáticos situam-se a profundidades menores que 10 metros, na grande maioria dos poços, o que reflete a situação dos poços locados em aquíferos fraturados, que procura localizar fraturas em conexão com a drenagem superficial, em depressões do relevo. Níveis mais profundos, acima de 20 metros, ocorrem somente em 16% dos poços, ocorrendo um único caso com máximo de 90 metros.
- › A maioria dos poços capta água somente do aquífero fraturado (368 poços ou 48,5%), sendo que 68 poços (8,9%) recebem contribuição de aquíferos granulares superiores e do fraturado, enquanto apenas 21 poços (2,7%) penetram apenas no aquífero granular superior. No Quadro 4.1 apresenta-se a distribuição dos poços por unidade aquífera.
- › Nos poços que dispõem de registros de entradas d'água ou profundidade de fendas penetradas, nos aquíferos em meio fraturado (total de 330 poços) verifica-se que a maioria (63,8%) atinge 1 ou 2 entradas d'água; cerca de 20% têm registros de 3 e 10% registram 4 entradas d'água. O número máximo de fendas é de 6, ocorrendo somente em 2,4% dos poços perfurados.
- › A distribuição de frequência da profundidade das entradas d'água nos poços mostra que a maioria situa-se entre as profundidades de 20 a 30m, sendo a mediana de 28m. Apenas 15% das entradas d'água dos poços estão a mais de 60m de profundidade. Estes resultados mostram que os aquíferos em meio fraturado, na área de estudo, são pouco profundos, com a maior densidade de fraturas abertas, portadoras de água, ocorrendo a profundidades menores que 50 - 60 metros.

Potencial e Disponibilidades Hídricas

A forte anisotropia e heterogeneidade inerente aos reservatórios subterrâneos em meio fissurado e cárstico, tornam os métodos da hidrogeologia clássica inapropriados à avaliação do potencial e da disponibilidade desses meios aquíferos. Nesses casos, o potencial, usualmente traduzido em termos de produtividade dos poços tubulares, é estimado através de estudos estatísticos de vazão, vazão específica e vazão específica por profundidade útil ou metro de penetração no aquífero, desses poços. A disponibilidade é dada pela vazão possível de ser obtida para o rebaixamento máximo disponível.

Utilizou-se, no presente estudo, apenas a análise de distribuição de frequência, tendo-se por amostra uma seleção de poços, entre os 758 inventariados, que dispunham de dados de boa qualidade e adequados à referida análise. A amostra resultante ficou composta por 609 poços com dados de vazão, 604 com dados de vazão específica e 332 com dados de profundidade útil e vazão específica.

A homogeneidade da amostra com relação aos aspectos que influenciam a vazão específica, tais como, duração dos testes de vazão, diâmetro de perfuração, época de medição dos níveis piezométricos, profundidade de penetração no aquífero, etc., não foi considerada com o rigorismo desejável, tendo em vista a preservação, nessa amostra, de um número razoável de elementos que assegurasse o valor estatístico das análises.

Cumpram-se observar, todavia, que todos os poços selecionados têm diâmetro de 6 ou 8 polegadas e que essa pequena variação, praticamente, não influi na vazão específica; além disso, os poços com teste de bombeamento de curta duração - inferior a 10 hs - foram excluídos da amostra.

Buscando-se uma melhor regionalização dos resultados, precedeu-se, inicialmente, à análise dos dados, considerando a totalidade dos poços, sem distinção das unidades captadas. Posteriormente, as diversas unidades aquíferas, isoladamente ou em grupo, tiveram seus dados analisados, permitindo