

( $Q_{90}$ ) é igual a 1,62 m<sup>3</sup>/s e a vazão com probabilidade de excedência de 95% ( $Q_{95}$ ) é igual a 1,19 m<sup>3</sup>/s. O quadro 85 apresenta estes valores.

Quadro 85. Vazões de referência para a Bacia Hidrográfica do Rio Buranhém

UPGRH Rio Buranhém		Bacia Hidrográfica Rios do Leste						
Afluente / Curso d'água	Margem	Localização da seção		Área (Km <sup>2</sup> )	$Q_{mt}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{7,10}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{90}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{95}$ (m <sup>3</sup> /s)
		Latitude	Longitude					
Rio Buranhém	exutório	-16,5707	-40,1915	240,93	6,17	0,664	1,62	1,19

## RIO ITABAPOANA

A bacia hidrográfica do rio Itabapoana possui uma área de drenagem de 671 km<sup>2</sup> no Estado de Minas Gerais, composta pelo próprio rio Itabapoana (ou rio São João) e pelo rio Preto, seu afluente pela margem esquerda, que percorre o limite dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

O rio Itabapoana nasce no município de Alto Caparaó, deixando o Estado de Minas Gerais no município de Caiana. Deste ponto em diante, o rio Itabapoana segue na divisa entre os Estados do Espírito Santo e do Rio de Janeiro até a sua foz.

A vazão média de longo termo ( $Q_{mt}$ ) do rio São João, nas proximidades de sua seção exutória no Estado de Minas Gerais, é de 9,71 m<sup>3</sup>/s, enquanto a vazão mínima de sete dias de duração e 10 anos de período de retorno ( $Q_{7,10}$ ) é de 2,21 m<sup>3</sup>/s.

Com relação às vazões de permanência, aquela com probabilidade de excedência de 90% ( $Q_{90}$ ) é igual a 3,70 m<sup>3</sup>/s e a vazão com probabilidade de excedência de 95% ( $Q_{95}$ ) é igual a 3,18 m<sup>3</sup>/s. O quadro 86 apresenta as vazões de referência para a bacia hidrográfica do rio Itabapoana, próximo à seção exutória desta em território mineiro. Cabe ressaltar que os valores apresentados para o rio São João são referentes à seção anterior à afluição do rio Preto, ou seja, não consideram a contribuição deste.

Quadro 86. Vazões de referência para a Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana

UPGRH Rio Itabapoana		Bacia Hidrográfica Rios do Leste						
Afluente / Curso d'água	Margem	Localização da seção		Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>mit</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>7,10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>90</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>95</sub> (m <sup>3</sup> /s)
		Latitude	Longitude					
Rio São João ou Itabapoana	exutório	-20,7377	-41,8934	487,02	9,71	2,21	3,7	3,18
Rio Preto	E	-20,7124	-41,8597	255,82	1,28	1,28	2,11	1,83

## RIO ITANHÉM

A bacia hidrográfica do rio Itanhém possui uma área de drenagem de 1.519 km<sup>2</sup> no Estado de Minas Gerais, composta pelo próprio rio Itanhém e afluentes, nos limites do Estado de Minas Gerais. O rio Itanhém nasce no município de Fronteira dos Vales, próximo à divisa com o município de Joáima, seguindo em direção ao Estado da Bahia, deixando o Estado de Minas Gerais no município de Umburatiba.

A vazão média de longo termo (Q<sub>mit</sub>) do rio Itanhém, nas proximidades de sua seção exutória no Estado de Minas Gerais, é de 22,1 m<sup>3</sup>/s, enquanto a vazão mínima de sete dias de duração e 10 anos de período de retorno (Q<sub>7,10</sub>) é de 3,30 m<sup>3</sup>/s. Com relação às vazões de permanência, aquela com probabilidade de excedência de 90% (Q<sub>90</sub>) é igual a 6,66 m<sup>3</sup>/s e a vazão com probabilidade de excedência de 95% (Q<sub>95</sub>) é igual a 5,41 m<sup>3</sup>/s. O quadro 87 apresenta estes valores.

Quadro 87. Vazões de referência para a Bacia Hidrográfica do Rio Itanhém

UPGRH Rio Itanhém		Bacia Hidrográfica Rios do Leste						
Afluente / Curso d'água	Margem	Localização da seção		Área (km <sup>2</sup> )	Q <sub>mit</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>7,10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>90</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>95</sub> (m <sup>3</sup> /s)
		Latitude	Longitude					
Rio Itanhém	exutório	-17,2700	-40,5607	1.918,63	22,1	3,30	6,66	5,41

## RIO JUCURUÇU

A bacia hidrográfica do rio Jucuruçu possui uma área de drenagem de 712 km<sup>2</sup> no Estado de Minas Gerais. O rio Jucuruçu nasce no município de Felisburgo,

seguindo em direção ao Estado da Bahia, deixando o Estado de Minas Gerais no município de Palmópolis.

A vazão média de longo termo ( $Q_{mit}$ ) do rio Jucuruçu, próximo à sua seção exutória no Estado de Minas Gerais, é de 11,6 m<sup>3</sup>/s, enquanto a vazão mínima de sete dias de duração e 10 anos de período de retorno ( $Q_{7,10}$ ) é de 1,47 m<sup>3</sup>/s. Com relação às vazões de permanência, aquela com probabilidade de excedência de 90% ( $Q_{90}$ ) é igual a 3,26 m<sup>3</sup>/s e a vazão com probabilidade de excedência de 95% ( $Q_{95}$ ) é igual a 2,52 m<sup>3</sup>/s. Estes dados estão descritos no quadro 88.

Quadro 88. Vazões de referência para a Bacia Hidrográfica do Rio Jucuruçu

UPGRH		Bacia Hidrográfica						
Rio Jucuruçu		Rios do Leste						
Afluente / Curso d'água	Margem	Localização da seção		Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{mit}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{7,10}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{90}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{95}$ (m <sup>3</sup> /s)
		Latitude	Longitude					
Braço Norte do Rio Jucuruçu ou Jucuruçu	exutório	-16,8459	-40,2910	672,16	11,6	1,47	3,26	2,52

## RIO PERUÍPE

A bacia hidrográfica do rio Peruípe possui uma pequena área de drenagem no Estado de Minas Gerais, no município de Serra dos Aimorés. Esta área é drenada pelo rio Pau Alto, afluente pela margem direita do rio Peruípe, já no Estado da Bahia.

A vazão média de longo termo ( $Q_{mit}$ ) do rio Pau Alto, próximo à sua seção exutória no Estado de Minas Gerais, é de 0,524 m<sup>3</sup>/s, enquanto a vazão mínima de sete dias de duração e 10 anos de período de retorno ( $Q_{7,10}$ ) é de 0,0268 m<sup>3</sup>/s.

Com relação às vazões de permanência, aquela com probabilidade de excedência de 90% ( $Q_{90}$ ) é igual a 0,598 m<sup>3</sup>/s e a vazão com probabilidade de excedência de 95% ( $Q_{95}$ ) é igual a 0,156 m<sup>3</sup>/s. Estes dados estão descritos no quadro 89.

Quadro 89. Vazões de referência para a Bacia Hidrográfica do Rio Peruípe

UPGRH		Bacia Hidrográfica						
Rio Peruípe	Rio Peruípe	Rios do Leste						
Afluente / Curso d'água	Margem	Localização da seção		Área (km <sup>2</sup> )	Q <sub>mlt</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>7,10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>90</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>95</sub> (m <sup>3</sup> /s)
		Latitude	Longitude					
Rio Pau Alto	exutório	-17,8662	-40,1583	113,39	0,524	0,0268	0,598	0,156

### 1.1.4.2. Hidrogeologia

#### a ) BACIAS HIDROGRÁFICAS DO LESTE

##### a.1) Os Sistemas Aquíferos

São identificadas na área de estudo três categorias de sistemas aquíferos, considerando-se o caráter lito-estrutural e tipos de permeabilidade das unidades lito-estratigráficas que ocorrem na região:

- aquíferos granulares ou porosos;
- aquíferos fissurados de rochas xistosas e quartzíticas;
- aquíferos fissurados de rochas granito-gnáissicas e associadas.

Essas unidades são compostas por sistemas aquíferos individualizados em função, principalmente, do caráter litológico das formações. A denominação, a litologia predominante e as unidades geológicas associadas aos diversos sistemas acham-se resumidas no Quadro 90.

##### a.2) Ocorrência, Distribuição e Características Lito-estruturais

###### Aquíferos Granulares

###### Aquíferos em depósitos fluviais – QAL

Associados aos sedimentos aluviais recentes de origem fluvial, estes aquíferos ocorrem ao longo da rede de drenagem regional. Apresentam maior expressão nos cursos d'água de maior porte, notadamente nos trechos do baixo curso,

como se observa, por exemplo, nas bacias do rio Jucuruçu, Itanhém, Buranhém, Peruípe, Mucuri, São Mateus e outros.

A litologia e as dimensões dessa unidade, em termos regionais, são extremamente variáveis, em função de uma série de fatores ligados à origem desses sedimentos. Mesmo localmente as variações litológicas e dimensionais das aluviões são notáveis. Normalmente os termos mais grosseiros distribuem-se na base, em depósitos de fundo de canal, enquanto os sedimentos mais finos são encontrados comumente nas planícies de inundação.

Na área do projeto o conhecimento a respeito da litologia e espessura das aluviões é muito restrito. Em geral, os registros disponíveis em perfis litológicos de poços que penetram esta unidade, além de raros, são pouco elucidativos sobre sua litologia e espessura.

### **Aquíferos em depósitos flúvio-marinhos - QFM**

Este sistema ocorre em zonas baixas da região litorânea em cotas que variam entre zero e 5 m. As maiores ocorrências mapeáveis se distribuem nas áreas entre Alcobaça e Mucuri e entre Itaúnas e Farol do Rio Doce.

Ao norte de Alcobaça identificam-se manchas menores associadas à desembocadura de rios como o Jucuruçu em Prado, Caraiva em Caraiva e Buranhém em Porto Seguro.

Na área Alcobaça – Mucuri sua área de ocorrência é particularmente extensa, atingindo cerca de 90 Km de comprimento ao longo da costa, e largura variando de 4 a 16 Km.

Na área Itaúnas – Farol do Rio Doce, parcialmente incluída na região estudada, sua extensão é considerável; distribui-se continuamente por aproximadamente 150 Km de costa, com largura crescente de norte para sul, atingindo cerca de 100 Km, na altura da foz do rio Doce, já fora da área.

Quadro 90 – Sistemas Aquíferos das Bacias dos Rios do Leste

<b>AQUIFEROS GRANULARES</b>		
<b>SISTEMAS AQUÍFEROS</b>	<b>UNIDADES GEOLÓGICAS ASSOCIADAS</b>	<b>LITOGIAS PREDOMINANTES</b>
Depósitos Fluviais	Sedimentos aluviais recentes - <b>QAL</b>	Cascalhos, areias, siltes e argilas.
Depósitos Flúvio - Marinheiros	Sedimentos litorâneos flúvio – marinheiros quaternários – <b>QFM</b>	Areias, siltes e argilas, por vezes orgânicas.
Depósitos de coberturas Terciárias – Quaternárias	Sedimentos terciário – quaternários do Grupo Barreiras – <b>TQBAR</b> . Sedimentos terciário-quaternários coluviais, de piemontes inumados - <b>TQC</b>	Arenitos, siltitos e argilitos de cores avermelhadas e amareladas. Areias finas a areno-silte-argilosas, lateritizadas ou não. Localmente, cascalheiras na base.
Depósitos Terciários de Bacias Costeiras	Sedimentos terciários das Formações Rio Doce e Caravelas - <b>TAR</b>	Arenitos grosseiros, localmente conglomeráticos, com intercalações de folhelhos e calcários. Cores acinzentadas.

  

<b>AQUIFEROS FISSURADOS</b>		
<b>SISTEMAS AQUÍFEROS</b>	<b>UNIDADES GEOLÓGICAS ASSOCIADAS</b>	<b>LITOGIAS PREDOMINANTES</b>
Rochas xistosas e quartzíticas	Rochas metamórficas do Precambriano Superior dos Grupos Almenara, Macaúbas e São Tomé – <b>PEXQZ</b>	Quartzo – biotita – xistos e quartzitos
Rochas granito – gnáissicas e associadas	Rochas metamórficas e plutônicas pertencentes as seguintes unidades: - Suite Intrusiva de Guaratinga – Cambriano - Complexos Paraíba do Sul, Montanha e Medina e Suites Intrusivas de Galiléia e Aimorés - Precambriano Superior <b>PERG</b>	Gnaisses, granitoides e granitos diversos

### **Aquíferos em depósitos de cobertura terciária-quaternária – TQBAR**

São representados por sedimentos detríticos de origem continental, inconsolidados a pouco consolidados com estratificação cruzada a plano-paralela. Compondo a unidade morfológica dos Tabuleiros Costeiros, esse extenso pacote de sedimentos corresponde à unidade estratigráfica pliocênica conhecida como Grupo Barreiras.

Inclui-se também nesta unidade, por sua restrita área de ocorrência, os sedimentos de coberturas detríticas terciárias quaternárias - TQC, que ocorrem a oeste, na região entre Águas Formosas-Umburuxatiba-Pavão, em Minas Gerais, conformando platôs com cotas em torno de 500 m. Sua composição litológica é caracterizada por conglomerados basais, em geral, polimíticos com seixos variegados de gnaisses e quartzo em matriz psamítica mal selecionada e com

estratificação cruzada. Para cima tem-se arenitos grosseiros, maduros, comumente com estratificação plano-paralela e secundariamente cruzada. Nos níveis superiores ocorrem arenitos argilosos e argilas variadas com fina estratificação plano-paralela. No conjunto, apresentam cores variadas, predominando, entretanto, a cor vermelho sobre a amarela, branca e violeta.

A espessura máxima conhecida é de 250m atravessada num poço estratigráfico da PETROBRÁS na área de Conceição da Barra, enquanto na área de Cumuruxatiba, situada a meia distância entre Prado e Caraiva, um poço, também da PETROBRÁS, registrou apenas 20m de espessura total para esses sedimentos.

### **Aquíferos em depósitos terciários de bacias costeiras – TAR**

Compõem esse sistema aquífero sedimentos cenozóicos relacionados às Formações Rio Doce e Caravelas, ambas integrantes das bacias sedimentares costeiras existentes na região litorânea e sublitorânea do Espírito Santo e extremo sul da Bahia. No Espírito Santo e sul da Bahia, existem três bacias contíguas separadas entre si por altos estruturais do embasamento cristalino, tais sejam: bacia do Espírito Santo, com cerca de 60.000km<sup>2</sup>, limitada ao sul pelo Arco de Vitória ( 17° 45'), de onde estende-se para norte até o Alto de Cumuruxatiba ( 17° 30'); bacias do Mucuri e Cumuruxatiba, com 19.000 Km<sup>2</sup> de superfície, limitam-se ao sul com a bacia de Espírito Santo e prolongam-se para norte até um pouco além da cidade de Canavieiras/BA, na região da foz do rio Pardo.

Essas bacias apresentam em comum algumas características que merecem ser destacadas, tais como:

- A quase totalidade dos depósitos encontra-se na plataforma continental, havendo registros de sua presença em cotas batimétricas superiores a 200m.
- Não se tem notícias de afloramentos destes depósitos na área continental onde se acham recobertos por sedimentos do Grupo Barreiras e/ou por depósitos litorâneos flúvio-marinheiros;

Conquanto sejam muito importantes, em sua totalidade, sob a ótica da exploração de petróleo, o interesse hidrogeológico nessas bacias é restrito aos seus estratos superiores visto que são acessíveis na área continental, têm litologia característica de um meio aquífero e se encontram em profundidades consideradas econômicas para a exploração de águas subterrâneas. Tais estratos foram individualizados estratigraficamente em duas.

Os atributos litológicos e dimensionais dessas Formações são descritos a seguir:

**Formação Rio Doce** – subjacente aos sedimentos do Grupo Barreiras e, na ausência destes, aos depósitos detríticos flúvio-marinhos, essa unidade é constituída predominantemente por arenitos, localmente conglomeráticos depositados em ambiente fluvial, deltaico e pro-deltaico.

**Formação Caravelas** – é composta por calcários biomicríticos de plataforma rasa e escassas interposições de folhelhos e arenitos. No topo prevalecem os calcarenitos, enquanto na base predominam os termos calcilitíticos e, em menor proporção, margas, folhelhos e arenitos.

A sequência da Formação Rio Doce nas áreas de Mucuri, Nova Viçosa, Alcobaça, Prado e Santa Cruz de Cabrália, onde também é conhecida através dos perfis de poços da CERB e EMBASA, tem espessura superior a 140m, como atesta o poço da EMBASA em Alcobaça.

### **Aquíferos Fissurados**

#### **Aquíferos em rochas xistosas e quartzíticas – PEXQZ**

Relacionam-se às rochas do Precambriano Superior referidas aos Grupos Almenara, Macaúbas e São Tomé. O litótipo do Grupo Almenara é composto basicamente por quartzitos grosseiros, maciços e plaqueados, intercalados por biotita-xistos. Ocorrem apenas em território mineiro, na região de Fronteira do Vale. Rochas associadas ao Grupo Macaúbas, na área de estudo, são encontradas unicamente numa pequena faixa a oeste de Nova Módica, nas cabeceiras do rio São Mateus, e na área do divisor de águas das bacias São Mateus-Doce. Em sua litologia predominam quartzo-biotita-xistos com intercalações de quartzitos.

Ocorrem também calcários e quartzitos, correlacionados à Formação Carbonita, e quartzito-biotita-xistos, quartzitos e lentes calcossilicáticas correlacionadas à Formação Salinas. A sequência Macaúbas tem contato inferior discordante com os Gnaisses Piedade; mostra estruturas de dobramento e, localmente, é cortada por plutonitos das Suíte Intrusiva de Galileia.

O Grupo São Tomé, a exemplo dos Grupos Macaúbas e Almenara, tem representação pouco significativa na região mapeada ficando restrito a duas pequenas áreas. Entre essas, a mais expressiva está localizada a leste de Teófilo Otoni e, a de menor porte, ao norte de Nova Módica. As principais rochas que compõem essa unidade são quartzito-biotita-xistos com intercalações restritas de biotita-quartzito-xistos e lentes calcossilicáticas, raramente gnaissóides.

Registram-se, além do mais, paragnaisses e intercalações subordinadas de quartzitos, anfibólio-xistos e mármore. Sob o ponto de vista estratigráfico o Grupo São Tomé é correlacionado ao Grupo Macaúbas; seu contato basal, discordante, se dá com rochas do Complexo Paraíba do Sul.

### **Aquíferos em rochas granito-gnáissicas e associadas – PERG**

Esse sistema aquífero é o que apresenta a maior extensão territorial na área do projeto. Está associado às seguintes unidades lito-estratigráficas:

- Suíte Intrusiva de Guaratinga – Cambriano;
- Complexos Paraíba do Sul, Montanha e Medina e Suites Intrusivas de Galiléia e Aimorés Precambriano Superior;

A Suíte Intrusiva de Guaratinga é composta de plutonitos representados por biotita monzogranitos a tonalitos e biotita granitos isotrópicos com granulação fina a média e texturas equigranulares. Tem expressão reduzida à superfície, ocorrendo na localidade homônima, na Bahia, e nas regiões de Topazio, ao sul de Maxacalis, ao norte de Epaminondas Otoni e a noroeste de Ecoporanga. Apresenta contato intrusivo com rochas do Complexo Medina.

Litossomas do Complexo Paraíba do Sul são encontrados desde o vale do rio Doce até a região de Nova Venécia-Pinheiros, em terras do Espírito Santo. Em território mineiro distribuem-se nas regiões de Nanuque, Carlos Chagas, Umburuxatiba, Águas Formosas, Bertópolis e Palmápolis, assim como nas regiões de Nova Módica, Mantena, Central de Minas e Itabirinha de Mantena.

O Complexo Montanha, inclui plutonitos compostos por granitoides, gnaisses a biotita, granada e sillimanita. Tem larga distribuição na região de Carlos Chagas de onde se estende para até a região de Pancas, no vale do rio Doce. Apresenta contato com rochas dos Complexos Paraíba do Sul e Medina e da Suite Intrusiva de Aimorés.

Em suma, o sistema o sistema aquífero, engloba todo o conjunto de rochas cristalinas, metamórficas e ígneas de composição litológica e tipos texturais dos mais variados, presentes na área do projeto. Esse diversificado conjunto apresenta um padrão estrutural complexo face a sucessão de fases diastróficas que o afetaram. Os resultados dessa superposição de eventos tectônicos ficaram bem marcados e se traduzem sobretudo como estruturas dobrada e lineamentos estruturais em várias direções. As estruturas de deformação, marcadas por dobramentos suaves, domos e bacias de padrão idiomórfico, se sobressaem melhor nas áreas de domínio das unidades supracrustais, principalmente aquelas correlacionadas ao Grupo Almenara.

### **Características dos Poços Inventariados**

Os dados referentes aos poços tubulares inventariados procedem, em sua maioria, dos bancos de dados hidrogeológicos da Companhia de Engenharia Rural da Bahia - CERB e da Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais - COPASA-MG. Informações adicionais foram obtidas dos arquivos da EMBASA - Companhia Baiana de Águas e Saneamento e da CESAN - Companhia Espírito Santense de Saneamento, na forma de listagens e fichas individuais de poços ou relatórios finais de perfuração. Entre os 297 poços catalogados, 156 encontram-se em território baiano, 99 localizam-se em Minas Gerais e 42 no Espírito Santo. Alguns desses poços situam-se fora das bacias

estudadas mas foram incluídos no catálogo e no mapa de poços, desde que localizados em suas proximidades e dispondo de dados hidrogeológicos ou hidroquímicos relevantes de interesse ao estudo.

A distribuição de poços na área é bastante irregular. Em algumas áreas, como na região delimitada pelas localidades de Conceição da Barra, Lajedão e Prado, tem-se uma maior concentração de pontos; a distribuição não é a desejável mas, pode-se considerar razoável para a escala do trabalho.

A profundidade dos poços inventariados varia numa ampla faixa entre 20 e 200m. No diagrama de distribuição de profundidade dos poços inventariados verifica-se que a maioria dos poços (59,1%) tem profundidade entre 80 e 100m. Poços com profundidades superiores a 100m e que atingem até 120m representam 16,7% do total.

Os poços são perfurados com diâmetro inicial de 12 ¼, 10 ou 8 polegadas dependendo do aquífero captado e da profundidade final. Esses diâmetros são as vezes reduzidos, respectivamente, para 10, 8 ou mesmo 6 polegadas, em função da litologia e da espessura do aquífero captado e da profundidade do poço.

A distribuição de poços inventariados por sistema aquífero indica que a maioria (40%) capta o aquífero de rochas granito-gnáissicas - PERG - enquanto cerca de 30% dos poços foram perfurados no aquífero Barreiras (TQBAR) e no sistema terciário arenítico (TAR). Um número mais reduzido de poços, cerca de 15%, capta águas de mais de um sistema aquífero (TQBAR/TAR e TQBAR/PERG). Do total de poços inventariados, 10% não dispõem de registros do aquífero captado.

O gráfico de distribuição de frequência do nível d'água estático dos poços indica que a grande maioria (66,8%) tem níveis próximos à superfície, menores que 5 metros de profundidade, enquanto 12% apresentam níveis estáticos entre 5 e 10 m. Cerca de 12% apresentam níveis de água maiores do que 20 metros, com valor máximo de 61 metros. Deve-se ressaltar que poços jorrantes, ou seja, aqueles cujo nível estático encontra-se acima da superfície do terreno, não

fazem parte da amostra por ausência de medições. Há 13 registros de poços jorrantes na área, dos quais apenas dois nos aquíferos fissurados em granito-gnaisses e os restantes em unidades aquíferas granulares (TQBAR e TAR).

### **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**

As amostras de dados utilizados foram compostas a partir do catálogo do Anexo 1, ou seja, dos 297 poços inventariados. Desse total, 253 ( 85,1% ) dispõem de dados de vazão de teste, embora nem todos tenham registros do rebaixamento dos níveis d'água, relativos às respectivas vazões, que permitissem a determinação da vazão específica. Informações completas (vazão e rebaixamento), são registradas em 238 poços, o que representa 80% do total. Poços secos ou com vazão insuficiente ( $< 0,1$  l/s), totalizam 44 ou 14,8% desse total.

A vazão de teste dos 253 poços produtivos varia entre os valores de 0,09 e 55,0 l/s. A produção média é de 4,6 l/s e a mediana 3,0 l/s, significando que em 50% dos poços a vazão é inferior a 3,0 l/s. No gráfico de distribuição de frequência das vazões de produção dos poços), observa-se também que na metade dos poços ocorrem, em maior proporção (46,0%), valores de 1,0 a 3,0 l/s. Na faixa de valores superior à mediana, as vazões mais frequentes, representando 41% dos poços, têm valores entre 3,0 e 10,0 l/s, verificando-se uma maior incidência no intervalo entre 4,0 e 8 l/s. Apenas 9 % dos poços têm vazão superior a 10 l/s.

A amostragem para o cômputo dos rebaixamentos relativos às vazões de teste de produção acima referidas, contou com 237 poços. Os valores máximo e mínimo dessa amostra são, respectivamente, 79,7 e 0,31m; a média é igual a 28,7m e a mediana 27,6m.

Com relação à distribuição de frequência desses rebaixamentos, deve-se ressaltar que em 50% dos poços o rebaixamento não ultrapassa 27,6m e que rebaixamentos inferiores a vazão específica, computada nos 238 poços que constituem a amostra, varia entre 0,001 e 12,22 l/s/m; a média é 0,406 l/s/m e a mediana 0,16 l/s/m. Para a totalidade dos poços foi possível as seguintes observações:

- > 50% dos poços têm produtividade variando de 0,001 a 0,16 l/s/m;
- > vazão específica com valores até 1,0 l/s/m ocorrem em 90% dos poços;
- > produtividades superiores a 1,0 l/s/m são mais frequentes na faixa de até 1,7 l/s/m, representando 6 % da amostra, e menos frequentes na faixa entre 2,2 e 2,4 l/s/m. Valores excepcionais de 5,630 e 12,226 l/s/m são restritos a uma ocorrência cada.

A análise da capacidade de produção dos poços, por unidade aquífera, considerou os aquíferos fissurados – PERG, os granulares – TQBAR e TAR e aos granulares/fissurados, no caso, TQBAR/PERG, quando captados em conjunto.

Para os aquíferos fissurados em rochas granito-gnáissicas-PERG, a distribuição de frequência da vazão específica mostra, numa amostragem de 107 poços, um predomínio absoluto de valores baixos. Com efeito, em quase 75% dos poços esses valores são inferiores a 0,3 l/s/m e em 50% deles a produtividade é menor que 0,2 l/s/m. A produtividade média é de 0,285 e os valores extremos são 0,001 e 2,269 l/s/m. Valores superiores a 1,0 l/s/m representam apenas 5,6% do total de poços considerados.

Quanto aos aquíferos em depósitos de bacias costeiras, unidade TAR, numa amostra de 25 poços tem-se valores extremos de 0,058 e 5,633 l/s/m e médio de 0,825 l/s/m. O gráfico de distribuição de frequência da vazão específica revela uma capacidade de produção desse sistema aquífero sensivelmente maior que a das demais unidades da área. A maioria dos poços (52%) tem produtividade entre 0,058 e 0,5 l/s/m. Muito frequentes também são os valores entre 0,5 e 1,0 l/s/m, enquanto produtividades maiores que 1,0 l/s/m ocorrem em 24% da amostra.

### **Capacidade de Armazenamento Subterrâneo**

Em cursos d'água cujo regime de escoamento é permanente, o deflúvio nos períodos secos é mantido as custas de águas subterrâneas restituídas pelos diversos sistemas aquíferos presentes em sua bacia hidrográfica. Essa contribuição subterrânea, também denominada escoamento de base pode mostrar variações durante o período chuvoso e se soma ao deflúvio superficial direto, para constituir o deflúvio total do curso d'água. Levando em conta que os aquíferos mantêm-se em equilíbrio dinâmico, isto é, que os volumes de entrada de água nos sistemas se igualam aos de saída, a determinação do escoamento de base permite quantificar o deflúvio subterrâneo em relação ao total, medido nas estações fluviométricas, e determinar o deflúvio subterrâneo por unidade de área. A capacidade de armazenamento subterrâneo de uma bacia é equivalente às suas reservas reguladoras e, segundo Castany, 1975, corresponde ao volume de água livre armazenado em uma seção dos sistemas aquíferos limitada por dois níveis piezométricos extremos, mínimo e máximo, ao longo de um período considerado.

A estimativa da componente subterrânea do deflúvio total dos rios, foi feita a partir de hidrogramas com dados médios mensais de longo período, utilizando o método de Barnes (Custódio, 1976). Nesses hidrogramas o deflúvio referente ao período de recessão hidrológica, também conhecido como esgotamento ou depleção, representa o esvaziamento gradual dos sistemas aquíferos que se completaria, após um certo tempo, resultando em deflúvio zero, caso houvesse um retardamento demasiado do período chuvoso. A curva do hidrograma que representa esse esvaziamento é resolvida, segundo Maillet (Castany, 1975-p.531), pela equação:

$$Q_T = Q_0 \cdot e^{-\alpha(\tau - \tau_0)}$$

Onde:

$Q_T$  - vazão no instante T em  $m^3/s$ ;

$Q_0$  - vazão no instante  $t_0$  em  $m^3/s$ ;

$\alpha$  - coeficiente de esgotamento;

t - período desde o início do esgotamento em dias;

e - base dos logaritmos neperianos ( 2,71828 )

Tomando-se os logaritmos dos dois membros da equação resulta:

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0,434 t}$$

Os parâmetros  $Q_0$ ,  $Q_t$  e t são obtidos nos hidrogramas e  $\alpha$  é característico do trecho da bacia hidrográfica, situado a montante da estação considerada.

Conhecidos  $\alpha$  e  $Q_0$ , o volume de água subterrânea em  $m^3$ , armazenado no instante  $t_0$  acima do nível de base será:

$$V = \int_0^\infty Q dT = \int_0^\infty Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \cdot dt = \frac{Q_0}{\alpha}$$

Como o calculo de  $\alpha$  na curva é feito em dias, resulta que:

$$V = \frac{86.400 Q_0}{\alpha}$$

É condição necessária para aplicação dessa expressão que a bacia hidrográfica seja bem individualizada, isto é, que seja alimentada unicamente pelas precipitações e não tenha aportes externos e perdas de água para bacias contíguas.

O coeficiente de esgotamento é inversamente proporcional às dimensões e as características hidráulicas ( porosidade eficaz e permeabilidade de Darcy ), do conjunto de aquíferos que compõem a bacia. Seus valores podem variar em função das condições iniciais da superfície piezométrica, e dos quantitativos e distribuição das precipitações pluviométricas no período.

Na área do projeto, o estudo do esgotamento foi realizado nas bacias dos rios Mucuri, São Mateus, Itanhém, Buranhém, e Peruípe, Os resultados obtidos constam da tabela 1 que discrimina a identificação, localização e área de drenagem das estações, os deflúvios medidos e calculados, o coeficiente de esgotamento e a capacidade de armazenamento subterrâneo.

Os trechos de bacias drenados pelas estações utilizadas no estudo apresentam as seguintes características: A exceção das estações de Fazenda Martinica e Nanuque, no rio Mucuri; Helvécia, no rio Peruípe; Vila Progresso, no rio Itanhém e Fazenda Limoeiro, no rio Buranhém, que drenam o médio-baixo trecho de suas bacias, as demais recebem contribuições dos trechos alto a médio-alto. A quase totalidade das áreas de drenagem das estações, se situam no domínio dos aquíferos fissurados em rochas granito-gnáissicas, excetuando a de Helvécia, no rio Peruípe cuja área contribuinte, em sua maior parte, se situa sobre depósitos do Grupo Barreiras.

A propósito dessas bacias e seus principais drenos cumpre registrar ainda que todos os rios têm regime permanente desde o alto curso, como comprovam os hidrogramas de estações tais como: Barra do Ariranha, no São Mateus-Braço Sul; Fidelândia, no São Mateus; Fazenda Ataléia, no rio Santa Cruz e Duas Barras, no Buranhém. Ademais, a respeito das estações se situarem próximas das cabeceiras desses rios, os deflúvios mínimos são consideráveis. O período de recessão hidrológica, ou seja, o esgotamento nas bacias, se inicia em maio, ou

mais tardar em junho, e se prolonga até fins de setembro ou meados de outubro.

Os comentários mais importantes acerca dos resultados do estudo do esgotamento são relacionados a seguir:

Os coeficientes de esgotamento determinados em todas as bacias e em todos os trechos têm valores baixos, entre 0,0018 e 0,0054, comparáveis aos encontrados em bacias hidrográficas com grande capacidade de infiltração e armazenamento, onde predominam terrenos sedimentares de bom condicionamento hidrogeológico, como na bacia do rio Peruípe. Esses baixos valores são indicativos de que as áreas contribuintes consideradas no estudo têm capacidade de armazenamento apreciável, não obstante, a ausência de coberturas sedimentares importantes. Esse fato está relacionado principalmente a influência dos elevados índices pluviométricos da área, cuja média anual supera os 1000 mm na faixa ocidental e chega aos 1600 mm nas proximidades da costa, e à presença de um manto de decomposição de rochas bem desenvolvido e distribuído de forma quase generalizada por toda a região. Vale acrescentar que, neste manto de alteração, é comum desenvolver-se, localmente, um nível freático superficial, em geral descontínuo, no contato com o substrato rochoso.

A análise dos deflúvios dos cursos d'água, particularmente quanto à relação entre o subterrâneo e o total, possibilita as seguintes conclusões:

- Observa-se que o percentual do deflúvio subterrâneo em relação ao deflúvio total, numa mesma bacia, é inversamente proporcional à superfície da área contribuinte, significando que os percentuais obtidos nas estações de montante são maiores que os das estações de jusante. Verifica-se o mesmo comportamento com relação ao deflúvio subterrâneo específico; isto é evidente posto que este representa o deflúvio subterrâneo por unidade de área. Esse comportamento foi constatado de modo idêntico em outras bacias hidrográficas similares como na do rio Jequitinhonha (GEOTÉCNICA, 1992). Esse fato está bem ilustrado na bacia do rio Mucuri quando se comparam os

- resultados obtidos nas estações de Fazenda Martinica (mais a jusante e com maior área contribuinte), Nanuque, situada a montante desta, Carlos Chagas (a montante de Nanuque) e de Diaçuí (mais a montante de todas);
- De um modo geral o percentual do deflúvio subterrâneo em relação ao total é muito elevado, superando 50% na maioria das estações;
  - O deflúvio subterrâneo específico, que representa um índice médio de produtividade em água subterrânea dos trechos contribuintes a montante das estações, apresenta valores bastante expressivos em todas as bacias, notadamente em seus trechos altos. Veja-se por exemplo os trechos a montante das estações de Carlos Chagas e Fazenda Diaçuí, no rio Mucuri, cujos rendimentos são maiores que 5 l/s/km<sup>2</sup>. Igualmente elevadas são as produtividades na bacia do Buranhém, a montante de Duas Barras e de Fazenda Limoeiro, respectivamente, 6,5 e 7,3 l/s/km<sup>2</sup> e nas áreas contribuintes às estações de Fazenda Ataleia e Fidelândia, no rio São Mateus;
  - As variações da produtividade em cada bacia, vale ressaltar, ocorrem de modo análogo àquelas do percentual de deflúvio subterrâneo em relação ao total. Tem-se assim que os maiores rendimentos são encontrados nos trechos de montante. Foge a essa regra a bacia do Buranhém onde o rendimento em Fazenda Limoeiro (7,3 l/s/km<sup>2</sup>) é superior ao encontrado em Duas Barras (6,5 l/s/km<sup>2</sup>). O rendimento da bacia do Peruípe (5,8 l/s/km<sup>2</sup>) está entre os mais altos da área, visto que, as condições geológicas e morfológicas, que a diferenciam das demais, se traduz numa maior capacidade de infiltração e armazenamento das águas subterrâneas;

Em resumo, o estudo do esgotamento das bacias dos rios do leste, veio demonstrar uma condição excelente para essas bacias, no que concerne à produtividade e capacidade de armazenamento do conjunto dos sistemas aquíferos que ocupam suas áreas de drenagem, não obstante a predominância absoluta, nesse conjunto, de aquíferos fissurados. Essas condições se revelam, sobretudo, nos baixos valores dos coeficientes de esgotamento e nos altos percentuais de águas subterrâneas na composição dos deflúvio total dos rios

estudados. Tudo isso decorre dos altos índices pluviométricos da região, superiores a 1000 mm/ano, em média, e da existência de um manto de intemperismo bem desenvolvido e de ocorrência quase generalizada em toda a área.

Cumprido observar que esse estudo é referenciado quase exclusivamente aos trechos de bacias localizados no médio e alto curso dos rios, a exceção das bacias do Peruipe e Mucuri. Infere-se pois que condições ainda melhores devem ocorrer nas bacias como um todo, porquanto, nas áreas contribuintes do baixo curso, prevalecem aquíferos em sedimentos de cobertura do Grupo Barreiras, cuja capacidade de infiltração e armazenamento são superiores às do meio fissurado. Nessas áreas, ademais, os índices pluviométricos são significativamente mais elevados, atingindo cifras da ordem de 1400 a 1600 mm/ano, em média.

## **b) BACIA DO SÃO FRANCISCO**

Os estudos hidrogeológicos pertinentes ao Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes do Rio São Francisco no Estado de Minas Gerais foram desenvolvidos tendo como base os Termos de Referência apresentados pela SEAPA/MG - RURALMINAS E SEMAD/MG-DRH (dezembro, 1997) e constituem parte integrante dos Estudos Hidrológicos Básicos do Inventário de Recursos

### **Potencial e Disponibilidades Hídricas**

#### **Uso Atual das Águas Subterrâneas**

Identificação e descrição dos sistemas/unidades aquíferas, suas características lito-estruturais e hidráulicas, distribuição e ocorrência, definição do modelo hidrogeológico da bacia - condições de infiltração e recarga, escoamento e descarga das águas subterrâneas.

A partir dos dados disponíveis, levantados junto à Copasa e Prefeituras Municipais, foi feita uma análise sobre o uso atual das águas subterrâneas na bacia e efetuadas estimativas sobre os volumes totais explorados.

## **Qualidade das Águas**

A interpretação dos dados sobre a qualidade das águas subterrâneas teve por objetivos caracterizar os diversos tipos químicos ou facies hidroquímicas por unidade aquífera; identificar os principais processos de mineralização e evolução química das águas; definir sua adequação aos diversos tipos de utilização, principalmente quanto à potabilidade e uso agrícola; assim como aos riscos e vulnerabilidade à contaminação e poluição dos diversos sistemas aquíferos.

Mapas de contorno da condutividade elétrica, dureza, cloreto e sulfato, na escala 1:1.000.000, foram elaborados com a utilização do programa Surfer, a fim de determinar a tendência regional de distribuição destes parâmetros.

-Síntese hidrogeológica e definição das áreas mais favoráveis à captação; demandas e disponibilidades

**120**

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

### **b.1) Os Sistemas Aquíferos**

Considerando o caráter lito-estrutural e os tipos de permeabilidade (primária e secundária) das unidades lito-estratigráficas que ocorrem na área da bacia, são identificadas quatro categorias de sistemas aquíferos: 1) aquíferos granulares ou porosos; 2) aquíferos cársticos; 3) aquíferos cárstico-fissurados e 4) aquíferos fissurados.

Segundo um subnível de agrupamento, cada categoria de sistema aquífero é subdividida em unidades aquíferas individualizadas, em função do seu caráter litológico predominante, comportamento hidrodinâmico e características morfo-estruturais. As relações entre os sistemas aquíferos e as unidades geológicas a eles associadas, assim como os tipos de rochas dominantes, constam na Quadro 91.

## **b.2) Ocorrência, distribuição e características lito-estruturais**

### **Aquíferos granulares ou porosos**

Constituídos de rochas ou depósitos sedimentares representados por aluviões do Quaternário Recente (ALQ), por depósitos de coberturas detríticas do Terciário-Quaternário (CDTQ), e pelos depósitos areníticos e conglomeráticos do Cretáceo (K).

### **Aquíferos Aluviais - ALQ**

Unidade aquífera, associada aos depósitos aluviais recentes, que se distribuem ao longo dos canais fluviais terraços e planícies de inundação. A sua ocorrência é generalizada ao longo dos principais cursos de água; por limitações de escala, apenas as manchas mais expressivas acham-se representadas no mapa de sistemas aquíferos.

Os sistemas aluviais constituem zonas de ativo intercâmbio com as águas superficiais, recebendo recarga dos rios nos períodos de chuva e contribuindo para o escoamento de base nos períodos de águas baixas. Dada a sua heterogeneidade, estes aquíferos podem apresentar valores muito variados de porosidade eficaz e permeabilidade.

Com base nas características granulométricas dos depósitos aluviais, pode-se estimar os seguintes valores médios:

MATERIAL	POROSIDADE EFICAZ (%)	PERMEABILIDADE (m/dia)
Cascalho limpo	30 a 35	>1000
Areias grossas limpas	20 a 30	10 a 1000
Areias finas a médias	10 a 20	1 a 5
Siltes	5 a 10	0,5 a 0,001
Siltes argilosos	5	0,1 a 0,001
Argilas não compactas	2	<0,001

Na bacia do rio Salinas, afluente do rio Jequitinhonha, fora da área estudada, mas abrangendo variadas características granulométricas comuns em aluviões, foram efetuados mais de 50 ensaios de permeabilidade (Cemig, 1992), obtendo-se os seguintes valores:

#### GRANULOMETRIA

Areia muito grossa	K = 15 a 23 m/dia
Areia média	K = 1,5
Areia fina siltosa	K = 0,28
Silte areno argiloso	K = 0,11
Silte argiloso	K = 0,02

### **Aquíferos de Coberturas Terciário-Quaternárias - CDTQ**

Unidade aquífera representada por depósitos sedimentares de coberturas detríticas e cangas, de idade Terciária-Quaternária, distribuídas nas regiões da Depressão Sanfranciscana sob cotas de 400 e 600m, ao norte; nos chapadões de 800 a 1.000 m de altitude no denominado Planalto Dissecado Centro-Sul e Leste de Minas; no Quadrilátero Ferrífero; ao longo do vale do rio São Francisco desde as suas cabeceiras até a barragem de Três Marias; e nos vales dos rios Paraopeba, Bicudo e Velhas.

Esta unidade, em geral, está associada aos processos de pedimentação correlacionados à superfície de aplainamento do Terciário Superior, ocorrendo nas formas de “plateau” ou de pediplanos, em planícies dos vales dos principais cursos d’água.

Normalmente os depósitos são pouco espessos, estimando-se a média de 5m para as áreas da Depressão Sanfranciscana e de 10 a 30m para as áreas de “plateaus” e pediplanos.

Quadro 9 1 - Sistemas Aquíferos das Bacias Afluentes do Rio São Francisco em Minas Gerais.

<b>SISTEMAS AQUÍFEROS DAS BACIAS AFLUENTES DO RIO SÃO FRANCISCO EM MINAS GERAIS</b>		
<b>SISTEMAS AQUÍFEROS</b>	<b>UNIDADES GEOLÓGICAS ASSOCIADAS</b>	<b>LITOGIAS PREDOMINANTES</b>
<b>MEIO GRANULAR</b>		
<b>Aquíferos Aluviais</b>	Depósitos aluviais-areias	Siltes, argilas e cascalhos.
<b>Aquíferos de Coberturas</b>	Coberturas detríticas aluviais e coluviais	Areias finas a médias, com argilas Terciário-Quaternárias, laterizadas ou não; cascalhos e cangas.
<b>Aquíferos de Arenitos</b>	Arenitos predominantemente finos e conglomerados	Arenitos conglomeráticos, vulcanoclásticos e brechas piroclásticas; associados à Formação Uruçuia e aos Grupos Mata da Corda e Areado.
<b>MEIO CÁRSTICO</b>		
<b>Aquíferos de Rochas Carbonáticas</b>	Calcários e dolomitos proterozóicos, compactos e maciços, associados às facies carbonáticas do Subgrupo.	Paraopeba- Grupo Bambuí (Formações Lagoa do Jacaré, Santa Helena e Sete Lagoas), do Grupo Vazante, Grupo Itabira- Formação Gandarela e do Grupo Piracicaba - Formação Fecho do Funil.
<b>MEIO CÁRSTICO-FISSURADO</b>		
<b>Aquífero de Rochas Pelítico-Carbonáticas</b>	Margas, siltitos, ardósias com intercalações de calcários, do Proterozóico, associadas às facies pelítico-carbonatadas do Subgrupo Paraopeba-Grupo Bambuí	Formações Serra da Saudade, Lagoa do Jacaré, Santa Helena e Sete Lagoas.
<b>MEIO FISSURADO</b>		
<b>Aquífero de Rochas Pelíticas</b>	Metassedimentos (arcósios siltitos, ardósias e ritmitos) associados às facies pelítica e molássica do Grupo Bambuí	Formação Três Marias, Subgrupo Paraopeba (Formações Serra da Saudade e Santa Helena) e Formação Jequitai; filitos e xistos proterozóicos e arqueanos dos Grupos Macaúbas, São João Del Rey, Vazante e Piracicaba (Formações Sabará, Barreiro e Cercadinho) e do Grupo Caraça -Formação Batatal e Supergrupo Rio das Velhas/Grupo Nova Lima.
<b>Aquíferos de Rochas Quartzíticas</b>	Quartzitos proterozóicos e arqueanos, associados ao Supergrupo Espinhaço (Grupos Conselheiro da Mata e Diamantina), aos Grupos Paranoá, Canastra, Tamanduá (Formação Cambotas) e Itacolomi; ao Supergrupo Minas	Grupos Piracicaba (Formação Taboões, Formação Fecho do Funil e Formação Cercadinho) e Caraça (Formação Moeda) e Supergrupo Rio das Velhas: Grupo Maquiné.
<b>Aquífero de Rochas Itabiríticas</b>	Itabiritos do Supergrupo Minas/Grupo Itabira	Formação Cauê.
<b>Aquífero de Rochas Graníticas-Gnaissicas:</b>	Granitos, tonalitos, granitóides, gnáisses, gnáisses charnockíticos, anfibolitos, granulitos, migmatitos, metavulcânicas, máficas e ultramáficas, metamáficas e meta-ultramáficas, metaclásticas e meta-químicas	Associadas aos Complexos de Pium-I, Gouveia, de Bação e Belo Horizonte; Complexos de Porteirinha, Guanhões e Barbacena; Complexo Granulítico de Passa-Tempo e Complexo Basal Indiviso.

As maiores espessuras encontradas para as coberturas Terciário-Quaternárias foram medidas através de poços manuais escavados (POC-009, PPQ-007, PTC-014) entre os 22 e 31m, e com níveis d'água entre 20 e 26 m, na região de

Pompéu, Papagaios e Pitangui, no vale do rio Pardo, afluente do rio Paraopeba e do rio dos Peixes, afluente do rio Pará (CETEC, 1984)

A recarga dos aquíferos de Cobertura Terciário-Quaternários se processa principalmente por infiltração direta das águas pluviais, nas suas áreas de afloramento. Localmente, como nas serras da Canastra e do Cabral, a realimentação pode também se dar através de surgências em fraturas localizadas nos quartzitos.

As condições de recarga, escoamento e descarga natural deste sistema são variáveis, em função da litologia, espessura saturada, disposição geométrica e conformação do seu substrato.:

- A capacidade de infiltração das camadas mais superficiais, aliada à natureza do substrato e à espessura do aquífero, são os fatores que controlam a quantidade de água armazenada, já que a recarga é quase que unicamente oriunda das águas pluviais.

- A existência de facies argilosas nas coberturas pode propiciar o aparecimento de níveis de água suspensos, às vezes com o surgimento de lagoas ou zonas inundáveis temporárias, de acumulação de águas superficiais.

- Nestas condições, as coberturas, quando no topo dos chapadões, como nas serras do Cabral e Canastra, apresentam uma rede de drenagem pouco desenvolvida e difusa, o que particularmente propicia a infiltração das chuvas. Na Serra do Cabral, os principais exutórios são as veredas, enquanto que na Serra da Canastra, estas coberturas alimentam os quartzitos fraturados subjacentes, originando fontes em fraturas nas rupturas de relevo.

Quanto às suas características dimensionais, em geral são aquíferos de pequena espessura saturada, raramente superior aos 5m, com possibilidades de produção através de poços limitada, salvo localmente onde apresentam maiores espessuras saturadas.

Com relação às suas características hidrodinâmicas, infere-se, pela heterogeneidade dos sedimentos, que a porosidade eficaz, a permeabilidade e a transmissividade hidráulica sejam muito variáveis. Nas chapadas, em função da permeabilidade dos solos e formações superficiais e da baixa densidade de drenagem, a infiltração deve ser alta a moderada. Nas coberturas localizadas nas depressões dos rios Verde Grande e São Francisco a jusante de Pirapora, o valor da porosidade eficaz deve igualar, pela similaridade destas regiões, ao valor estimado de 0,10, para a área do Projeto Planoroeste II (CETEC, 1981). Estima-se para este sistema uma transmissividade média da ordem de  $3,8 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s (33 m<sup>2</sup>/dia).

### **Aquíferos de Arenitos Cretácicos - K**

Unidade aquífera correspondente aos sedimentos cretácicos da Formação Urucuia e dos Grupos Mata da Corda e Areado, estendendo-se, no âmbito do território mineiro, na faixa ocidental da bacia, desde a cidade de Campos Altos ao sul, até a divisa com o Estado da Bahia no vale do rio Carinhanha, afluente do rio São Francisco pela margem esquerda.

Pelo caráter litológico e geomorfológico, estas unidades lito-estratigráficas apresentam comportamento hidrogeológico semelhante, funcionando como um único sistema aquífero.

Estes sedimentos apresentam no conjunto, espessura variável, com média de 160m e máxima em torno de 300 metros (CETEC, 1981); ocorrem sob a forma de extensos chapadões, geomorfologicamente designados de "superfícies tabulares", conhecidas regionalmente por "gerais".

A Formação Urucuia constitui o estrato superior da sequência mesozóica, sobrejacente ao Grupo Areado, sob contato normal; Nesta Formação, predominam os sedimentos areníticos de granulometria fina, de cor clara, localmente com matriz montmorilonítica; em geral, como produto da sua decomposição, produzem solos areno-argilosos e argilo-arenosos, de coloração avermelhada. Têm uma disposição horizontal a sub-horizontal, podendo

apresentar estratificações cruzadas acanaladas de grande porte. Sua espessura é variável, podendo atingir muitas dezenas de metros, até 300m, como observado na Serra das Araras.

Os estratos do Grupo Mata da Corda são subdivididos, da base para o topo, nas Formações Patos e Capacete, podendo atingir espessura máxima de cerca de 190 m (SAD, J.H.G., 1971). O seu contato basal se dá com os sedimentos do Grupo Areado sob contato normal

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

A Formação Capacete é constituída por arenitos cineríticos, localmente conglomeráticos, com cimento carbonático; ocorre associada às facies vulcânicas com as quais se interdigita lateralmente, apresentando estratificações cruzadas acanaladas e em cunhas.

A Formação Abaeté é basicamente constituída por conglomerados arenosos na sua base e arenitos conglomeráticos, com espessura de até 8m, observada nas cabeceiras do rio Santo Antônio e rio das Almas, na faixa oriental da sub-bacia do Paracatu.

A Formação Quiricó é representada por siltitos e argilitos esverdeados, com níveis betuminosos arenosos e carbonáticos.

Os depósitos da Formação Três Barras, com ampla distribuição areal, são por sua vez constituídos por arenitos médios, calcíferos e conglomeráticos, de matriz siltica, espessos (até 140m), róseos avermelhados a amarelo esbranquiçados, com presença de siltitos, argilitos e folhelhos. Esta unidade sobrepõe-se às Formações Abaeté e Quiricó.

A recarga deste sistema aquífero processa-se por infiltração das águas meteóricas nas chapadas, que caracterizam suas áreas de ocorrência. A elevada permeabilidade é revelada pela baixa densidade de drenagem, indicando alta capacidade de infiltração. As superfícies tabulares retrabalhadas por erosão apresentam drenos mais desenvolvidos e menor espessura dos pacotes sedimentares, sendo comum aflorar, no fundo dos vales, o substrato de rochas proterozóicas pouco permeáveis. O escoamento das águas subterrâneas processa-se através de fluxos regionais e locais, situando-se os exutórios no sopé das escarpas dos chapadões, normalmente junto ao contato com o substrato.

A porosidade eficaz é da ordem de 0,10, valor normalmente encontrado em areias finas, arenitos e depósitos similares; a vazão específica dos poços neste sistema é da ordem de 0,6 l/s/m (CETEC, 1984). Os valores de transmissividade hidráulica determinados através de testes de bombeamento em nove poços localizados nos municípios de Carmo do Paranaíba, São Gotardo e Presidente Olegário, situam-se entre  $0,8 \cdot 10^{-4}$  e  $27 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s (7,0 e 233 m<sup>2</sup>/dia); estimativas efetuadas com base na equação de Darcy (CETEC, 1981) indicaram um valor médio da ordem de  $6 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s (52,0 m<sup>2</sup>/dia). Valores de transmissividade determinados a partir da recuperação dos níveis de água em 4 poços apresentaram média de  $2 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (178,5 m<sup>2</sup>/dia)

### **Aquíferos Cársticos**

São rochas-reservatório cuja porosidade e permeabilidade dependem, sobretudo, do grau de fraturamento e do desenvolvimento das cavidades e aberturas causadas pela dissolução dos carbonatos. Por apresentarem vazios de dissolução muito irregulares e aleatórios, frequentemente suas permeabilidades secundárias apresentam-se muito variáveis, de local a local, podendo constituir-se importantes aquíferos, de elevado potencial hidrogeológico.

## **Aquíferos de Rochas Carbonáticas**

Este sistema cárstico é constituído essencialmente por calcários e dolomitos proterozóicos, compactos e maciços, lito-estratigraficamente associados às facies carbonáticas do Grupo Bambuí, representadas pelas Formações Lagoa do Jacaré, Santa Helena e Sete Lagoas, pertencentes ao Sub-Grupo Paraopeba, e, em menor expressão territorial, pelos carbonatos associados às facies dolomíticas do Grupo Vazante, do Grupo Itabira - Formação Gandarela e Grupo Piracicaba - Formação Fecho do Funil.

Regionalmente, os calcários e dolomitos do Sub-Grupo Paraopeba e do Grupo Vazante, com maior amplitude territorial de afloramentos, ocorrem na forma de lentes e mega-lentes, ou bancos isolados e descontínuos; distribuem-se ao longo das bordas oriental (Grupo Vazante) e sul e ocidental (Sub-Grupo Paraopeba) da bacia intracratônica do Bambuí.

Os dolomitos das Formações Gandarela e Fecho do Funil, do Proterozóico Inferior, ocorrem na região do Quadrilátero Ferrífero, apresentam uma geometria complexa de interestratificação e dobramentos, formando uma sequência de aquíferos multicamadas, às vezes intertrapeados, falhados e hidraulicamente intercomunicados.

Os carbonatos do sub-Grupo Paraopeba (melhor representado pelos calcários da Formação Sete Lagoas, basal) e do Grupo Vazante (facies dolomítica, basal), caracterizam-se por uma morfologia típica de "karst", com abundância de dolinas, uvalas, poljés, lapiás, sumidouros e uma rede de drenagem predominantemente endógena

A recarga se dá, sobretudo, pela infiltração direta das águas pluviais nas áreas de afloramento, e através de cursos de água controlados por fraturamentos ou influenciados pela presença de dolinas ou outras estruturas de dissolução. Varzelândia e Jaiba, já na faixa oriental da bacia. É também de se ressaltar, a recarga significativa que se processa através de fluxos verticais descendentes oriundos dos aquíferos granulares sobrejacentes ao sistema aquífero cárstico.

Dados disponíveis de 31 poços testados, com determinações de transmissividade hidráulica, apresentam valores entre  $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $233 \text{ m}^2/\text{dia}$ ) e  $9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $7700 \text{ m}^2/\text{dia}$ ) (CETEC, 1984), refletindo também, a variabilidade deste parâmetro hidrodinâmico em função do grau de carstificação e das demais condições morfo-estruturais e geométricas em que ocorrem.

### **Aquíferos Cárstico-Fissurados**

Aquíferos que apresentam características de funcionamento “cárstico-fissural”, termo adotado face à ocorrência generalizada de interdigitações dos termos carbonáticos (às vezes puros, às vezes impuros mas sujeitos aos processos de carstificação) com rochas não carbonáticas. O potencial hidrogeológico deste sistema depende pois, do grau de fraturamento e de desenvolvimento das cavidades e aberturas de dissolução dos carbonatos. Por se tratar de um meio de grande complexidade litológica e geométrica, pode apresentar características e potencialidades ora de caráter cárstico, ora de caráter fissural e ora de caráter misto de um meio fissurado e cárstico.

### **Aquíferos De Rochas Pelítico-Carbonatadas**

Sistema aquífero formado por intercalações de rochas pelíticas e carbonáticas representadas por margas, siltitos, siltitos carbonáticos, ardósias e calcários lenticulares; de idade proterozóica, são, lito-estratigraficamente, associadas às facies pelítico-carbonatadas do Grupo Bambuí, representadas pelas Formações Serra da Saudade, Lagoa do Jacaré, Santa Helena e Sete Lagoas, do Sub-Grupo Paraopeba. Os estratos mais representativos deste sistema correspondem aos metapelitos da Formação Lagoa do Jacaré, onde predominam as litologias pelíticas com intercalações de lentes de calcário e margas.

Ocorre em uma ampla faixa geográfica correlacionada à bacia sedimentar do Bambuí, que se estende de sul para norte desde a faixa de Doresópolis - Martinho Campos - Pompéu, região de Caetanópolis - Pedro Leopoldo - Vespasiano - Jaboticatubas - Baldim, até a faixa de Santana do Pirapama - Presidente Juscelino - Engenheiro Navarro - Juramento - Montes Claros - Capitão

Enéas - Francisco Sá - Janauba - Jaiba - Manga, já na divisa com o Estado da Bahia. Na borda ocidental, ocorre nas cabeceiras do rio Paracatu, na faixa Lagamar - Guarda Mor - Vazante, na área de Paracatu - Unai - Vale do rio Preto e na região de Bonfi-nópolis de Minas - Serra do Meio.

De modo geral, os estratos encontram-se dispostos de modo horizontal a suavemente ondulado, apresentando no entanto, a exemplo do sistema aquífero cárstico, acamamentos verticalizados e dobramentos nas áreas de forte tectonismo associado aos falhamentos, da “zona marginal de deformação”, na borda ocidental da bacia sedimentar do Bambuí, e nas proximidades dos falhamentos e contatos com as seqüências que constituem a Serra do Espinhaço.

A fonte principal de recarga provém da infiltração direta das águas de chuva, nas suas áreas de afloramento, e da infiltração através da drenagem controlada por fraturamentos e estruturas de dissolução; não se negligenciam ainda, os aportes de águas superficiais, principalmente durante as cheias, nas zonas baixas dos vales dos rios perenes, em toda a sua faixa de ocorrência na área da bacia.

Analogamente ao sistema cárstico, a recarga também é significativa através de fluxo vertical descendente proveniente dos aquíferos granulares sobrejacentes, nas áreas onde se encontram recobertos por sedimentos de cobertura terciário-quaternários e arenitos cretácicos.

Os valores de transmissividade hidráulica obtidos de testes de bombeamento de dez poços situam-se entre  $2,7 \cdot 10^{-5}$  a  $5,85 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (2,3 a 506 m<sup>2</sup>/dia) (CETEC, 1984), com média de 109 m<sup>2</sup>/dia.

### **Aquíferos Fissurados**

Os aquíferos fissurados são representados por rochas com permeabilidade secundária desenvolvida através de fraturas, falhas, fendas e diáclases, ocasionadas por processos tectônicos de natureza rúptil, resultando um meio aquífero bastante heterogêneo e com forte anisotropia.

Na área da bacia, os aquíferos fissurados estão associados às rochas metamórficas proterozóicas do Pré-Cambriano Superior, Médio e Inferior, e às rochas arqueanas, metamórficas e magmáticas, mais antigas, que compõem o Embasamento Cristalino. Estes aquíferos encontram-se distribuídos de modo distinto, tendo sido subdivididos, por sua natureza, constituição e comportamento lito-estrutural, em aquíferos de Rochas Pelíticas, Quartzíticas, Itabiríticas e Granítico-Gnáissicas.

### **Aquíferos De Rochas Pelíticas**

Esta unidade é constituída de metassedimentos (arcósios, siltitos, ardósias e ritmitos) associados às facies pelítica e molássica do Grupo Bambuí representados pela Formação Três Marias, pelo Sub-grupo Paraopeba (Formações Serra da Saudade e Santa Helena) e Formação Jequitáí; aos filitos e xistos proterozóicos e arqueanos dos Grupos Macaúbas, São João Del Rey e Vazante; do Supergrupo Minas (Grupo Piracicaba: Formações Sabará, Barreiro e Cercadinho, e Grupo Caraça: Formação Batatal) e do Supergrupo Rio das Velhas/Grupo Nova Lima.

Os metassedimentos não carbonáticos do Grupo Bambuí e os filitos e xistos proterozóicos e arqueanos constituem rochas com permeabilidade secundária pouco desenvolvida, dada a sua composição mineralógica, propícia à transformação em argilas, e à sua plasticidade que origina o desenvolvimento de fraturas mais fechadas, quando sujeitas a processos de tectonismo.

Os demais termos pelítico-metamórficos constituídos de ardósias e meta-siltitos do Grupo Vazante, ocorrem na borda ocidental da bacia sedimentar do Bambuí, associada à zona marginal de deformação. Os xistos do Grupo Macaúbas ocorrem nos contrafortes da Serra do Espinhaço e em contato com as rochas do Grupo Bambuí, ao longo de uma faixa que se estende desde o paralelo 19<sup>o</sup> ao sul, até a Bahia, predominando em uma faixa contínua na borda oriental da sub-bacia do rio Verde Grande. Os metapelitos do Grupo São João Del Rey têm pequena expressão territorial, aflorando no extremo sul, na Serra Campo das Vertentes, divisor hidrográfico da bacia do São Francisco, ao sul da cidade de Lagoa

Dourada. As rochas xistosas e os filitos das Formações Sabará, Barreiro, Cercadinho e Batatal e do Grupo Nova Lima, incluem-se na região do Quadrilátero Ferrífero.

A recarga efetua-se predominantemente através da drenagem superficial quando controlada por direções de fraturamento e também, de modo indireto, através de fluxo vertical descendente proveniente dos níveis fráticos superficiais associados ao manto de alteração. As infiltrações diretas são mais reduzidas face a que as fraturas e descontinuidades no meio pelítico são relativamente localizadas.

As restituições de água subterânea neste sistema processam-se através de fontes pontuais e difusas, ou exudações; nas regiões ao sul do paralelo de 16<sup>o</sup> 30', onde as taxas pluviométricas são elevadas estas restituições são as feições hidrogeológicas mais características, constituindo-se nos principais exutórios que, por sua perenidade, garantem a vazão de base dos rios, atuando como reguladores naturais das suas descargas.

Com relação à transmissividade hidráulica, dados extraídos de testes efetuados em 26 poços tubulares (CETEC, 1984), indicam uma variação entre  $2 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s e  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s (0,17 e 864 m<sup>2</sup>/dia).

### **Aquíferos de Rochas Quartzíticas**

Unidade aquífera representada por rochas-reservatório compactas e maciças, essencialmente quartzíticas, associadas ao Supergrupo Espinhaço, aos Grupos Paranoá, Canastra, Tamanduá (Formação Cambotas) e Itacolomi; aos Grupos Piracicaba (Formações Taboões, Fecho do Funil e Cercadinho) e Caraça (Formação Moeda) do Supergrupo Minas e ao Supergrupo Rio das Velhas/Grupo Maquiné.

Na área estudada da bacia os aquíferos quartzíticos distribuem-se ao longo do contorno da bacia sedimentar do Bambuí, como nas serras da Canastra, Espinhaço, Tombador, do Cabral, Serra Geral do Rio Preto e nas cristas de Unaí,

na Serra do Meio, e, na região do Quadrilátero Ferrífero, como nas serras das Cambotas e da Moeda.

Os topos das serras de quartzito encontram-se mais das vezes truncados por superfícies de erosão pós Terciário Superior e localmente são sobrepostos por sedimentos de cobertura Terciário-Quaternários.

A recarga processa-se por infiltração das águas pluviais através do manto de intemperismo, essencialmente arenoso, que favorece a percolação das águas; e também por aportes oriundos do sistema aquífero em meio granular subjacente, por filtração e fluxo vertical descendente.

As restituições de água subterrânea através de fontes pontuais e difusas ou exudações tem importante papel regularizador na manutenção das descargas de base dos rios que drenam as maiores áreas de ocorrência de quartzitos.

Informações sobre as características hidrodinâmicas desta unidade aquífera são deficientes; dados disponíveis sobre os quartzitos associados à Formação Moeda registram valores de transmissividade hidráulica da ordem de  $10^{-3}$  a  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s (86 a 864 m<sup>2</sup>/dia). O coeficiente de armazenamento médio é da ordem de 0,10. Nos quartzitos Moeda a área de afloramento foi calculada em 1.177 km<sup>2</sup>, tendo sido estimada uma espessura média saturada da ordem de 100 metros. Valores do coeficiente de armazenamento da ordem de 0,02 são registrados por SILVA, A.B. et alii, 1995.

Os aquíferos de natureza quartzítica do Grupo Piracicaba que ocorrem na região do Quadrilátero Ferrífero são pouco estudados; podem constituir importantes fontes de captação de água subterrânea, principalmente nas rochas-reservatório da Formação Cercadinho, com uma área aflorante calculada em 907 km<sup>2</sup>, espessura média saturada de 200 metros, transmissividade hidráulica de  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, coeficiente de armazenamento de 0,05. Na região de Itabira, a leste, fora da área da bacia, os quartzitos do Grupo Piracicaba fornecem vazões entre 15 m<sup>3</sup>/h e 150 m<sup>3</sup>/h e valores de vazão específica entre 0,03 e 2,3 l/s.m (média de 0,3 l/s.m) revelando sob condições locais, potencial hidrogeológico considerável.

## **Aquíferos de Rochas Itabiríticas**

Esta unidade corresponde aos itabiritos da Formação Cauê, pertencente ao Grupo Itabira, do Supergrupo Minas. São aquíferos de natureza fissural quando compactos e maciços, apresentando comportamento hidrodinâmico de meio aquífero granular, quando friáveis.

A Formação Cauê é composta por metassedimentos químicos de composição ferrífera. A sua litologia é basicamente constituída de bandas alternadas de hematita e quartzo, assim como de itabiritos anfibolíticos e carbonáticos com filitos e margas subordinados. O seu contato estratigráfico é com a Formação Batatal, na base, e no topo, com a Formação Gandarela. Contatos de natureza tectônica são comuns, dado o forte tectonismo da região, sendo definidos por falhas direcionais e de cavalgamento e por dobramentos recorrentes associados a falhamentos, provocando às vezes a repetição do estrato itabirítico, e geometrias complexas com grandes espessuras aparentes.

O sistema aquífero Cauê é o principal reservatório de águas subterrâneas da região do Quadrilátero. O itabirito quando fresco é uma rocha tenaz e mecanicamente resistente; entretanto é pouco resistente ao intemperismo químico sendo normalmente caracterizada por espessos mantos de alteração que em alguns casos atingem mais de 500 metros, a exemplo da mina de Tamanduá. A alteração dos itabiritos se dá através de lixiviação preferencial dos carbonatos na variedade de itabiritos dolomíticos, ou da lixiviação do quartzo no itabirito silicoso. As águas meteóricas ao circularem pela formação ferrífera, promovem a dissolução dos carbonatos e da sílica, formando vazios de porosidade secundária.

Uma primeira estimativa efetuada para esta unidade aquífera, confere para os aquíferos de rochas itabiríticas uma espessura saturada média da ordem de 400 metros, um coeficiente de armazenamento médio de 0,10 e uma reserva de água explotável da ordem de 4.100 hm<sup>3</sup> (SILVA et alii, 1995). Estudos hidrodinâmicos têm sido recentemente realizados pelas empresas mineradoras da região, para o rebaixamento do nível d'água nas áreas de lavra do minério

itabirítico; dados de 50 poços testados indicaram valores de transmissividade hidráulica variando de  $6.10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s a  $2.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s (52 a 1700 m<sup>2</sup>/dia) SILVA et alii, 1995). Dados recentes calculados por CRUZ, W. B.(1996 e 1997) indicaram valores de permeabilidade entre  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$  m/s (0,08 a 8,0 m/dia); coeficiente de armazenamento variando entre  $10^{-3}$  e 0,1 e valores de transmissividade entre  $6.10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s e  $4.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s (52 a 3400 m<sup>2</sup>/dia).

### **Aquíferos de Rochas Granítico-Gnáissicas**

São representados por rochas-reservatório arqueanas, dos Complexos de Pium-I, Gouveia, Bação e Belo Horizonte; dos Complexos de Porteirinha, Guanhões e Barbacena; do Complexo Granulítico de Passa-Tempo e do Complexo Basal Indiviso.

Sua litologia predominante corresponde aos granitos, tonalitos, granitóides, gnáisses, gnáisses charnockíticos, anfibolitos, granulitos, migmatitos, metavulcânicas, máficas e ultramáficas, metamáficas e metaultramáficas, metaclásticas e met-químicas. A sua permeabilidade secundária é variável com o grau de fraturamento e de meteorização.

A recarga dos aquíferos processa-se predominantemente a partir das drenagens controladas por fraturamento, como também por filtração e fluxo descendente dos meios aquíferos granulares, quando sobrejacentes. As áreas de descargas naturais são representadas por fontes pontuais e difusas e exudações diversas. Nas regiões meridionais com elevadas taxas pluviométricas, tais restituições são geralmente perenes, garantindo a vazão de base dos rios e atuando como reguladores naturais do escoamento superficial.

### **Características dos Pontos De Água Inventariados**

Os dados são procedentes do Banco de Dados Hidrogeológicos da Copasa MG, disponíveis também em listagens incluídas no trabalho "Disponibilidades Hídricas Subterrâneas no Estado de Minas Gerais (Copasa MG-Hidrosistemas, 1995); e do inventário de pontos de água efetuado pela Fundação Centro Tecnológico de

Minas Gerais - Cetec - entre 1976-78 e 1981-83 com levantamentos de campo, no âmbito dos Projetos Planoroeste 2 e Alto São Francisco.

No total, foram catalogados 2702 pontos de água, sendo 885 provenientes do Banco de Dados da Copasa MG e 1817 procedentes do inventário hidrogeológico realizado pelo Cetec. Os do primeiro grupo incluem somente poços tubulares e os do segundo abrangem poços tubulares, poços rasos escavados (poço manual, cacimba ou cisterna) e fontes. No conjunto dos pontos d'água, foram inventariados 2099 poços tubulares, 392 poços manuais e 200 fontes.

A localização dos pontos de água, mostra uma distribuição relativamente homogênea na bacia, com menor densidade de pontos na porção NW da bacia, municípios de Urucuaia, Arinos, Formoso e Montalvânia. De modo geral, observa-se uma maior concentração de pontos em torno dos núcleos urbanos. Deve ser observado que, do total de pontos de água inventariados, 2267 dispõem de dados de coordenadas geográficas.

A distribuição dos pontos de água por município, mostra maior concentração nos municípios de Belo Horizonte, Francisco Sá, Curvelo, Januária, Manga, Mateus Leme e Sete Lagoas.

A distribuição dos pontos de água por sistema aquífero indica a seguinte situação:

- 814 pontos ou 30% do total são representativos do sistema de rochas metapelíticas (MP).
- 415 pontos ou 15% do total são representativos do sistema carbonático (CA)
- 440 pontos d'água (16%) são representativos dos aquíferos de rochas granito-gnaissicas e associa-das (RG).
- 151 pontos (5,6%) são representativos do sistema de coberturas detríticas do Terciário-quadernário (CDTQ).

Os demais sistemas têm reduzido número de pontos d'água inventariados, sendo que em 400 pontos de água não há indicação do sistema aquífero captado (não definido).

As profundidades dos poços tubulares e manuais inventariados variam de poucos metros a 220 metros, com maior freqüência entre 60 e 100 metros.

A maior parte dos poços tubulares perfurados em rochas duras têm diâmetro de perfuração inicial de 8" na zona superficial não consolidada, com redução para 6" na rocha. Os poços são revestidos apenas na seção superior, permanecendo abertos, sem revestimento, na rocha fresca. Em alguns casos, onde níveis aquíferos dos sedimentos de cobertura ou no contato manto de alteração-rocha fresca, são aproveitados, utilizam-se seções de filtros, mais comumente do tipo NOLD. Os poços perfurados totalmente no sistema arenítico são, em geral, totalmente revestidos, tendo diâmetros de perfuração maiores (10 ou 8").

As profundidades dos níveis estáticos dos poços, em 2056 amostras, variam de 0 a 108 m, com média de 13 e desvio padrão de 12,71. Metade dos poços tem nível estático inferior a 10 metros, enquanto apenas 5 % dos poços apresentam valores superiores a 38 metros.

### **Potencial e Disponibilidades Hídricas**

O potencial e as disponibilidades hídricas subterrâneas foram 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.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Vazão do poço por unidade de rebaixamento. Exemplo: (l/s/m)

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 explotável.

### **Capacidade de Produção Dos Poços**

Para a análise da capacidade de produção dos poços, foram utilizado no presente estudo os dados de poços inventariados que dispunham de medidas de vazão específica, que expressa a quantidade de água que pode ser explotada por unidade de tempo e por unidade de rebaixamento dos níveis de água, além de alguns valores de transmissividade dos aquíferos, a maioria determinada a partir da interpretação dos dados de recuperação dos níveis de água obtidos de testes de bombeamento.

Os dados foram tratados, inicialmente, no sentido de se obter a distribuição de frequência das vazões de teste e respectivos rebaixamentos. Em seguida, os valores de vazão específica, que refletem efetivamente a capacidade de produção dos poços, foram analisados para o total de poços inventariados, visando obter-se uma primeira caracterização geral da bacia e, em seguida, por sistema aquífero, permitindo identificar as diferenças de comportamento hidrogeológico das principais unidades.

Para os poços que dispunham de dados locais precisos, com coordenadas geográficas (1101 poços) foi elaborado um mapa de contorno dos valores de vazão específica que mostra a tendência regional de distribuição deste parâmetro.

Considerando-se o total de poços constantes do Catálogo de Pontos de Água Inventariados na bacia, verifica-se que os testes de produção efetuados ao final

da perfuração e completação dos poços, indicam uma vazão média de 4,75 l/s, com valores extremos de 0,01 a 100 l/s. A distribuição de frequência das vazões mostra grande dispersão, com assimetria para valores baixos, sendo a moda de 1 l/s e a mediana igual a 2,5 l/s. Os rebaixamentos dos níveis de água obtidos nestes testes mostraram um valor médio de 23,8 m, com máximo de 97 m.

A distribuição de frequência da vazão específica para o total dos poços inventariados indica um valor médio de 1,6 l/s.m, variando de um mínimo de 0,0004 a um valor excepcionalmente elevado de 303 l/s.m.

A moda situa-se no intervalo de 0 a 0,5 l/s.m, sendo que 25 % dos poços apresentam valores superiores a 0,5 e apenas 6 % tem valores superiores a 2 l/s.m.

No conjunto da bacia, a vazão específica média é superior à determinada nas bacias dos rios Jequitinhonha e Pardo (média de 0,23 l/s.m) e refletem a predominância na amostra de poços que captam o sistema aquífero Bambui.

Comparando-se os resultados com os da bacia do rio Paracatu, onde a maioria dos poços inventariados capta os mesmos sistemas aquíferos associados ao Grupo Bambui, verifica-se ainda uma maior produtividade dos poços devido à predominância de poços captando os aquíferos cársticos e cárstico-fissurados.

As diferenças de produtividade dos poços, por sistema aquífero, podem ser observadas na síntese apresentada no Quadro 92.

A análise dos dados mostra que o sistema de maior capacidade de produção é o associado às rochas carbonáticas do Grupo Bambui, com media de 3,54 l/s.m. Excetuando-se um único valor excepcionalmente alto, a média atinge ainda um valor de 2,72 l/s.m.

A mediana é igual a 0,25 e a moda situa-se no intervalo de classe de 0.1 a 0,2 l/s.m. Vinte e cinco por cento (25%) dos poços da amostra tem vazão específica superior a 1 l/s.m.

Quadro 92 - valores de vazão específica por sistema aquífero (em l/s.m)

Sistema Aquífero	Valor médio	Valor máximo	Valor mínimo	Nº de amostras
BambuÍ Carbonático	3.54	303.0	0.0008	369
Bambuí Metapelítico	0.62	15.43	0.002	366
Granítico-Gnaissico	0.17	2.22	0.0004	315
Arenítico Cretácico	0.58	2.91	0.0430	21
Coberturas Detríticas (1)	0.33	1.18	0.0024	8
<b>Outros</b>				
- Quartzítico	0.279	2.31	0.0096	13
- Xistoso	0.235	1.89	0.0026	22
- Itabirítico	0.121	0.22	0.0430	3
- Aluvial	0.456	1.16	0.1200	5

(1) Inclui os sistemas freáticos do manto de alteração.

O sistema aquífero Metapelítico associado às rochas não carbonáticas do Grupo Bambuí mostra também alta produtividade com vazão específica média de 1,12 l/s.m. A mediana é igual a 0,17 l/s.m e a moda igual a 0,15 l/s.m, valores elevados tratando-se de aquíferos eminentemente fraturados. Excluindo-se 8 valores excepcionalmente altos (> 16 l/s.m), a média cai para 0,62 l/s.m.

Pela ordem de importância seguem-se os sistemas areníticos cretácicos associados às formações Urucuia, Areado e Mata da Corda, os aluviais e os associados às coberturas detríticas, embora para estes dois últimos disponha-se apenas de poucas amostras, sem significância estatística.

Os sistemas aquíferos granítico-gnaissicos de ampla distribuição na bacia apresentam, por outro lado, uma vazão específica média de 0,25 l/s.m, com valores extremos entre 0,0004 e 14,9 l/s.m, onde 50% dos poços da amostra possuem valores superiores a 0,075 l/s.m. Eliminando-se 2 valores excepcionalmente altos, a média cai para 0,17 l/s.m

Os demais sistemas aquíferos da bacia associados às rochas quartzíticas, xistosas e itabiríticas têm número reduzido de poços inventariados, apresentando vazões específicas médias de 0,279, 0,235 e 0,121 l/s.m, respectivamente. Dentre estes, devem ser excetuados os aquíferos itabiríticos que, embora com reduzida área de ocorrência restrita ao Quadrilátero Ferrífero, tem um potencial extremamente elevado conforme tem-se evidenciado em estudos mais recentes desenvolvidos principalmente nas áreas de lavra de minério de ferro.

Estudos hidrogeológicos têm sido recentemente realizados pelas empresas mineradoras da região, para o rebaixamento do nível de água nas áreas de lavra do minério itabirítico; dados de 50 poços testados indicaram valores de transmissividade hidráulica variando de  $6.10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s a  $2.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s (52 a 1700 m<sup>2</sup>/dia) SILVA et alii, 1995). Dados determinados por CRUZ, W. B.(1996 e 1997) indicaram valores de permeabilidade entre  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$  m/s (0,08 a 8,0 m/dia); coeficiente de armazenamento variando entre  $10^{-3}$  e 0,10 e valores de transmissividade entre  $6.10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s e  $4.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s (52 a 3400 m<sup>2</sup>/dia).

Uma primeira estimativa efetuada para esta unidade aquífera, confere para os aquíferos de rochas itabiríticas uma espessura saturada média da ordem de 400 metros, um coeficiente de armazenamento médio de 0,10 e uma reserva de água explotável da ordem de 4.100 hm<sup>3</sup> (SILVA et alii, 1995).

Para os demais sistemas aquíferos da bacia dispõe-se apenas de alguns valores de transmissividade, determinados com os dados de recuperação dos níveis de água no próprio poço bombeado, conforme indicado no Quadro 93, extraídos de estudos efetuados pelo Cetec nos Projetos Planoroeste II e Alto São Francisco.

Os resultados indicam uma grande variabilidade dos valores de transmissividade, típico da heterogeneidade dos sistemas, embora em termos médios comprovem a maior produtividade dos aquíferos carbonáticos, metapelíticos e areníticos cretácicos.

Uma estimativa aproximada da transmissividade (T) pode ser efetuada a partir dos valores de Vazão específica (Qe), utilizando-se a fórmula de Galofré (Custódio e Llamas, 1976)

$$T \text{ (m}^2\text{/dia)} = Qe \text{ (l/s.m)} \times 100$$

A partir destas estimativas, a transmissividade variaria dentro de larga faixa com valores extremos de 8.000 a 0,04 m<sup>2</sup>/dia, com valores médios de 354 m<sup>2</sup>/dia no sistema carbonático; 233 m<sup>2</sup>/dia no metapelítico; 25 m<sup>2</sup>/dia no granítico-gnaissico; 58 nos areníticos e 33 m<sup>2</sup>/dia no de coberturas detríticas.

O mapa de distribuição das vazões específicas dos poços mostra as áreas de maior capacidade de produção e, conseqüentemente, as zonas mais permeáveis e de maior potencial hidrogeológico.

Quadro 93 – Valores de transmissividade determinados a partir da recuperação dos níveis de água no poço bombeado.

AQUÍFERO	Nº DO PONTO	LOCALIDADE	TRANSMISIVIDADE (m <sup>2</sup> /dia)
Metapelítico	ABC-10	Abaeté - sede	8,31
	ABC-11	Abaeté - sede	2177,20
	ABC-17	Campo Alegre-Abaeté	88,10
	COC-05	Corinto - sede	341,20
	CVC-64	Varzea de Cima-Curvelo	32,40
	FDN-01	Francisco Dumont	0,18
	FUQ-04	Fz. Alegre-Funilândia	8,89
	LUC-03	Luz - sede	3,35
	LUC-09	Campinho - Luz	16,60
	PAQ-13	Paraopeba - sede	29,70
	PAQ-16	Paraopeba - sede	18,40
	PAQ-18	Paraopeba - sede	18,40
	PAQ-20	Paraopeba - sede	11,20
	POC-26	Morro Doce-Pompéu	63,80
	POC-28	Pompéu - sede	127,80
	ARP-01	Arinos - sede	17,28
	BOP-12	Bonfinópolis - sede	16,20
	BSP-01	Buritis - sede	38,00
	BSP-02	Buritis - sede	63,50
	<b>VALOR MÉDIO</b>		
Pelítico Carbonático	JNP-37	Januária - sede	89,80
	JNP-47	Januária	416,40
	CEN-12	Capitão Eneas - sede	15,98
	CEN-13	Capitão Eneas - sede	12,00
	CRQ-03	Cordisburgo - sede	506,30
	MCN-12	Maracanã-Montes Claros	2,30
	MCN-20	Lagoa Cima-M. Claros	28,60
	MCN-28	Roxo Verde-M. Claros	5,00
	MCN-29	S.Expedito-M.Claros	4,30
	MCN-30	F.S.Geraldo-M.Claros	9,50
<b>VALOR MÉDIO</b>			<b>108,98</b>
Carbonático	MAP-151	Manga	803,50
	JBP-270	Janaúba - sede	170,20
	MAP-39	Manga	289,40
<b>VALOR MÉDIO</b>			<b>421,00</b>
Arenítico Cretácico	CPC-01	Carmo do Paranaíba	185,70
	CPC-02	Carmo do Paranaíba	280,80
	SGC-02	São Gotardo - sede	216,00
	SGC-04	São Gotardo - sede	31,70
<b>VALOR MÉDIO</b>			<b>178,50</b>

## Capacidade de Armazenamento Subterrâneo

A análise das relações entre as águas superficiais e subterrâneas foi efetuada a partir dos dados de hidrogramas oriundos de 17 estações fluviométricas selecionadas da rede operada pela CEMIG e DNAEE - através dos quais foram derivados parâmetros que permitiram a determinação, em primeira aproximação, das disponibilidades hídricas subterrâneas da bacia. As estações selecionadas constam no Quadro 94.

As informações compiladas consistiram das vazões médias mensais de longo período, através das quais foram determinados os coeficientes de recessão ou de esgotamento, as capacidades de armazenamento subterrâneo e a contribuição subterrânea do escoamento total.

Tendo por base as relações hidráulicas entre os sistemas aquíferos e a drenagem superficial, identificam-se na bacia duas situações distintas.

Uma situação onde os sistemas aquíferos possuem potencial hidráulico, nos períodos de cheia, inferior ao das principais drenagens e, portanto, recebem contribuição e recarga destes, não ocorrendo contribuição subterrânea contínua neste período.

Este é o caso típico dos sistemas aluviais e, em alguns casos, de sistemas fraturados, especialmente em áreas peneplanizadas e de relevo deprimido.

A segunda situação ocorre onde as zonas de descarga situam-se em cotas superiores aos rios, havendo uma contribuição efetiva dos aquíferos para os mesmos, durante todo o ano hidrológico, tal como ocorre nos exutórios dos sistemas areníticos cretácicos e de coberturas detríticas nas zonas de chapadas, situados em cotas elevadas.



## ASPECTOS ESTRATÉGICOS PARA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

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

Quadro 94 - coeficiente de esgotamento de descargas subterrâneas específicas

Nº Ref.	Estação Fluviométrica	Área de Drenagem	D E F L Ú V I O S					% Subter. Rel. ao Total	Subterrâneo Específico	Coeficiente de Esgotamento a
			Total	Superficial	Subterrâneo	Subterrâneo específico	Subterrâneo			
Código	Nome e Rio	Km <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano	mm	%	l/s/Km <sup>2</sup>	dia <sup>-1</sup>	
40025000	Vargem Bonita Rio São Francisco	350	325	197	128	365	39,4	11,7	0,0037	
40032000	Samburá Rio Samburá	738	592	334	258	349	43,6	11,2	0,0056	
40053000	Calciolândia Rio São Miguel	276	131	108,4	22,6	81	17,2	2,6	0,0085	
4010001	Porto das Andorinhas Rio São Francisco	13.300	7.193	5.270	1.923	144	26,7	4,6	0,0097	
40130001	Ponte Vilela Rio Pará	1.620	882,6	536,6	346	213	39,2	6,8	0,0053	
40330000	Velho da Taipa Rio Pará	7.109	3.274	2.059	1.215	170	37,1	5,5	0,0063	
40450001	Porto Pará Rio Pará	12.300	4.606	2.740	1.866	151	40,5	4,9	0,0069	
40850000	Ponte da Taquara Rio Paraopeba	8.910	3.693	2.236	1.457	163	39,4	5,2	0,0059	
40963000	Indaiá Rio Indaiá	2.260	1.286	917	369	163	28,7	5,2	0,0094	
40975000	São Félix Rio Borrachudo	905	552	410	142	156	25,7	5	0,0066	
41090002	Ponte BR 040 Rio Abaeté	5.320	2.585	1.815	770	144	29,8	4,6	0,0071	
41230000	Sabará Rio das Velhas	2.230	1.287	478	809	362	62,8	11,6	0,0026	
41650002	Ponte do Licínio Rio das Velhas	10.980	4.010	1.995	2.015	183	50,2	5,9	0,0049	
41818000	Santo Hipólito	16.528	6.573	3.813	2.760	166	42	5,3	0,0062	



## ASPECTOS ESTRATÉGICOS PARA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

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

	Rio das Velhas								
42090000	Porto Aliança Rio Jequitaí	4.500	931	753	178	39	19,1	1,3	0,0123
44250000	Usina de Pandeiros Rio Pandeiros	3.812	757	182	575	150	76	4,8	0,0024
45131000	São Gonçalo Rio Carinhanha	6.186	2.219	511	1.708	276	77	8,9	0,0015



## ASPECTOS ESTRATÉGICOS PARA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

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

Quadro 95 - capacidade de armazenamento e taxas de infiltração

Nº REF.	Estação Fluviométrica	Rio	Área de Drenagem "A" Km <sup>2</sup>	Aquífero (Ocorrência em ordem decrescente)	Precipitação Média "P" anual (*) mm	Capacidade de Armazenamento V 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano	mm	Coefficiente de Infiltração "I" (**) %	Coefficiente de Esgotamento α dia <sup>-1</sup>	Escoamento Subterrâneo Específico "E" l/s/Km <sup>2</sup>
40025000	Vargem Bonita	São Francisco	350	QZ	1.550	116,7	333	21,5	0,0037	10,07
40032000	Samburá	Samburá	738	QZ	1.550	231	313	20	0,0056	10
40053000	Calciolândia	São Miguel	276	CA	1.450	18,3	66	4,6	0,0085	2,1
4010001	Porto das Andorinhas	São Francisco	13.300	MP, MPCA,QZ, RG, CA	1.300	1.154	86	6,7	0,0097	2,8
40130001	Ponte Vilela	Pará	1.620	RG	1.500	334,2	206	13,7	0,0053	6,6
40330000	Velho do Taipa	Pará	7.109	RG	1.350	1.028	144	10,7	0,0063	4,6
40450001	Porto Pará	Pará	12.300	RG,MPCA,MP	1.300	1.440	117	9	0,0069	3,8
40850000	Ponte da Taquara	Paraopeba	8.910	RG,MP,IT	1.400	1.245	139	10	0,0059	4,5
40963000	Indaiá	Indaiá	2.260	MP,K	1.200	165	73	6	0,0094	2,3
40975000	São Félix	Borrachudo	905	K, MP	1.250	81	89	7	0,0066	2,9
41090002	Ponte BR-040	Abaeté	5.320	MP, K	1.200	426	80	6,7	0,0071	2,6
41230000	Sabará	das Velhas	2.230	MP,RG, IT,QZ	1.450	997	447	30,8	0,0026	14,4
41650002	Ponte do Licínio	das Velhas	10.980	MPCA,MP,CA, RG, IT, QZ	1.470	1.410	128	8,7	0,0049	4,1
41818000	Santo Hipólito	das Velhas	16.528	MPCA,MP,QZ,RG, CA, IT	1.480	1.742	105	7	0,0062	3,4
42090000	Porto Aliança	Jequitaiá	4.500	MPCA, MP, QZ, CDTQ	1.300	64,6	14	1,1	0,0123	0,5
44250000	Usina de Pandeiros	Pandeiros	3.812	K, RG, CA,	950	723,6	189	20	0,0024	6,1
45131000	São Gonçalo	Carinhanha	6.186	K, MPCA, MP	1.200	3.456	558	46,5	0,0015	17,9

(\*) Fonte: CETEC(1983) - Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais. SPT nº ISSN-0100-9540, Belo Horizonte-MG

Neste contexto, a quantificação das componentes subterrâneas do escoamento foi efetuada utilizando-se o método gráfico proposto por Barnes (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976, p. 395), admitindo-se, de um lado, que a contribuição subterrânea processa-se durante todo o ano hidrológico e, de outro, que há uma interrupção desta contribuição nos períodos de águas altas, caso típico onde ocorre recarga para o aquífero nas zonas marginais aos rios.

A determinação da capacidade de armazenamento  $V_o$  foi calculada com base no estudo das curvas de esgotamento, segundo a equação de Maillet, expressa na forma:

$$V_o = 86400 Q_o/\alpha, \text{ sendo:}$$

$V_o$  = capacidade de armazenamento, em  $m^3$

$Q_o$  = Vazão do rio no início do esgotamento, relativo ao tempo  $t_o$ , em  $m^3/s$

$\alpha$  = coeficiente de esgotamento, expresso em  $dia^{-1}$ .

Ao lado dos dados físicos das sub-bacias selecionadas para este estudo, tais como suas respectivas áreas de drenagem e tipo dos aquíferos, encontram-se discriminados no Quadro 94 a contribuição subterrânea ao escoamento total, a contribuição subterrânea específica e os coeficientes de esgotamento.

No Quadro 95 apresentam-se as características hidrogeológicas das sub-bacias (tipos de aquíferos), a precipitação média anual, a capacidade de armazenamento e os coeficientes de infiltração.

O coeficiente de recessão ou de esgotamento é expresso, segundo Maillet (Castany, 1971, p.531) na forma  $\alpha = (\log Q_o - \log Q_t)/0,4343 t$ , sendo:

$\alpha$  = coeficiente de esgotamento, expresso em  $dia^{-1}$

$Q_o$  = vazão do rio no início do esgotamento relativo ao tempo  $t_o$ , em  $m^3/s$

$Q_t$  = vazão do rio no instante de tempo  $t$ , em  $m^3/s$

$t$  = período de tempo desde o início do esgotamento em dias,

Considerando-se como hipótese de base que as sub-bacias são bem individualizadas, ou seja, que seus respectivos aquíferos sejam alimentados

pelas precipitações, sem demais perdas ou aportes subterrâneos, o coeficiente de esgotamento segue uma lei exponencial em que  $\alpha$  é dado pela equação:

$$\alpha = (\pi^2 T) / 4 S L^2, \text{ sendo:}$$

T = transmissividade do meio permeável

S = coeficiente de armazenamento ou porosidade eficaz

L = a distância ao rio, do eixo de simetria correspondente à área drenada pelo aquífero na bacia considerada.

Deste modo o coeficiente de esgotamento é função, particularmente, dos seguintes fatores:

- dimensão dos aquíferos;
- porosidade eficaz ou coeficiente de armazenamento;
- coeficiente de permeabilidade de Darcy, indiretamente explicitado por T.

Tendo em conta as características hidrogeológicas de suas respectivas sub-bacias, o coeficiente de esgotamento é tanto menor quanto maiores forem os parâmetros hidrogeológicos relacionados às características dimensionais e hidrodinâmicas dos aquíferos.

Os principais resultados obtidos constam nos Quadros 4 e 5. Detalhes dos métodos utilizados nos cálculos das disponibilidades hídras subterrâneas são apresentados no capítulo específico do Plano Diretor da bacia (dezembro,1997).

Os valores do coeficiente de esgotamento discriminados na tabela 4 variam entre 0,0015 e 0,0123, predominando os valores contidos no intervalo [0,0050 ; 0,0073] com pequena variabilidade.

Os valores entre 0,005 e 0,007 são característicos das sub-bacias que drenam os sistemas pelítico, pelítico carbonático e granítico-gnaissico. Nas sub-bacias em que predominam os sistemas areníticos cretácicos foram determinados os valores mais baixos, indicando uma elevada capacidade de armazenamento, tais como na do Carinhanha (0,0015 e Pandeiros (0,0024). Ao contrário do que seria

de se esperar, nas bacias com predominância dos sistemas carbonáticos, como a do rio São Miguel, em Calciolândia, e no rio São Francisco, em Porto das Andorinhas, foram determinados valores muito altos, (0,008 e 0,0097), refletindo uma pequena capacidade de armazenamento. O valor mais alto do coeficiente de esgotamento (0,0123) para a sub-bacia do rio Jequitaí, em Porto Aliança, não parece coerente com as características hidrogeológicas preponderantes, conforme indicado na tabela 4.

Os percentuais de deflúvio subterrâneo em relação ao total, no conjunto da bacia, mostram valores extremos de 17,2 a 77%, notando-se que os valores mais baixos são referentes a sub-bacias que drenam preponderantemente os sistemas carbonáticos e pelítico-carbonáticos. Em consequência, as contribuições subterrâneas específicas, expressas em l/s.Km<sup>2</sup>, nestes terrenos, mostram valores muito baixos.

Quando se analisam os valores de armazenamento específico médio, expresso em mm, para as sub-bacias características dos principais sistemas aquíferos quadro 95 verifica-se, igualmente, situação aparentemente anômala para aquelas que drenam os sistemas carbonáticos, conforme pode-se verificar pelos resultados mostrados a seguir:

<b>Sistema Aquífero</b>	<b>Armazenamento específico médio (mm)</b>
Arenítico Cretácico (K)	278,50
Metapelítico (MP)	79,50
Pelítico-carbonático (MPCA)	82,30
Carbonático (CA)	66,00
Quartzítico (QZ)	333,00
Granítico-gnaissico	175,00

Valores médios de armazenamento específico para diferentes tipologias hidrológicas do Estado de Minas Gerais computados pela Copasa-Hidrosistemas (op.cit.) indicam resultados da mesma ordem de grandeza para os sistemas Arenítico Cretácico e Granítico-gnaissico. Para o sistema quartzítico o valor médio acima indicado é maior do que o obtido pela Copasa-Hidrosistemas. Os valores mais discrepantes são os obtidos para os sistemas carbonáticos e pelítico-

carbonáticos, tendo sido determinados no citado trabalho valores muito mais elevados que chegam a 550 e 450 mm, respectivamente.

No caso da sub-bacia do rio São Miguel, em Calciolândia, que drena terrenos calcários, pode acontecer que ocorram perdas para outras bacias, devido à sua pequena dimensão. Para bacias contribuintes maiores, não há, todavia, nenhuma indicação que possa comprovar estas possibilidades.

Tomando-se, agora, os valores de contribuição específica, expressa em mm, conforme indicado na Quadro 94, verificam-se os seguintes valores médios para as tipologias hidrogeológicas dominantes nas sub-bacias estudadas:

Sistema Aquífero	Armazenamento específico médio (mm)
Arenítico Cretácico (K)	195
Metapelítico (MP)	150
Pelítico-Carbonático (MPCA)	129
Carbonático (CA)	81
Quartzítico (QZ)	365
Granítico-Gnáissico	190

Estes valores, em conjunto com os obtidos para a capacidade de armazenamento, fornecem uma primeira aproximação sobre as reservas renováveis de água subterrânea na bacia do rio São Francisco no Estado de Minas Gerais tomando-se as respectivas áreas de ocorrência das diversas unidades aquíferas ocorrentes na bacia, pode-se apresentar a seguinte estimativa global dos recursos hídricos subterrâneos.

Sistemas Aquíferos	Área (Km <sup>2</sup> )	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Arenítico Cretácico	25.000	4.875
Metapelítico	49.000	7.350
Pelítico-Carbonático	34.500	4.450
Carbonático	7.300	590
Quartzítico	7.500	2.737
Granítico-Gnáissico	11.000	2.090
<b>Total</b>		<b>22.092</b>