

# POTENCIAL AqüÍFERO NOS METASSEDIMENTOS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO – REGIÃO DA APA SUL RMBH - MG

D. A. C. Beato<sup>1</sup>, A. M. Monsores<sup>2</sup>, A. C. Bertachini<sup>3</sup>

## Resumo

A APA Sul RMBH está no domínio de rochas do Quadrilátero Ferrífero, posicionado na borda sul do Cráton do São Francisco, região rica em recursos naturais (minerais, hídricos e ecológicos). Predominam três grandes conjuntos de rochas: complexos metamórficos de rochas cristalinas, seqüências do tipo *greenstone belt* (Supergrupo Rio das Velhas) e seqüências metassedimentares geradas a partir de ambientes plataformais (Supergrupo Minas). O diagnóstico hidrogeológico foi realizado entre 2002 e 2005 e avaliaram-se os diferentes tipos de ocorrência de água subterrânea segundo as diversas particularidades geológicas, hidrodinâmicas e hidroquímicas, visando subsidiar o zoneamento ambiental. A intrincada geologia da área determina características hidrogeológicas particulares, constituindo sistemas aqüíferos complexos. O estudo identificou nove unidades hidrogeológicas entre sistemas aqüíferos e aqüitardos. Os principais aqüíferos estão em itabiritos e dolomitos onde são encontradas nascentes de até 500 m<sup>3</sup>/h e poços tubulares com capacidades específicas de até 87 m<sup>3</sup>/h/m. Os expressivos potenciais hídricos são importantes para a manutenção de ecossistemas e para o abastecimento público. Os resultados indicam que a região vem sofrendo impactos de diversas naturezas como rebaixamento dos níveis de água, diminuição de vazões livres, drenagem ácida e contaminação, principalmente, devido a crescente ocupação urbana e às atividades de extração mineral.

## Abstract

APA Sul RMBH is in the domain of rocks of the Quadrilátero Ferrífero, located in the south edge of the Cráton of the San Francisco, rich region in natural resources (mineral, hydrical and ecological). Three great sets of rocks predominate: metamórfics complexes of crystalline rocks, sequences of the type *greenstone belt* (Supergrupo Rio das Velhas) and metassedimentars sequences from plataformals environments (Supergrupo Minas). The hydrogeologic diagnosis was carried through between 2002 and 2005 and according to evaluated the different types of underground water occurrences, hydrodynamic and hydrochemical particularities, aiming subsidize the ambient zoning. The intricate geology of the area determines particular hydrogeological characteristics,

---

<sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Av. Brasil 1731; Belo Horizonte, 30140-002; decio@bh.cprm.gov.br

<sup>2</sup> Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Av. Pasteur 404; R. de Janeiro, 22290-240; monsores@rj.cprm.gov.br

<sup>3</sup> MDGEO, Rua São Joaquim 526; Belo Horizonte, 31035-470; mdgeo@mdgeo.com.br

constituting complex water-bearing systems. The study identified nine hydrogeological units between water-bearing and aquíferos systems. Main the water-bearing ones are in itabiritos and dolomitos where springs are found rising of up to 500 m<sup>3</sup>/h and tubular wells with specific capacities of up to 87 m<sup>3</sup>/h/m. The hydric potential are important for the ecosystem maintenance and the public supplying. The results indicate that the region comes suffering impacts from diverse natures as degradation of the water levels, reduction of free outflows, acid draining and contamination, mainly, had the increasing urban occupation and to the activities of mineral extration.

**Palavras-chave:** 1. Recursos hídricos subterrâneos; 2. Quadrilátero Ferrífero; 3. Formações ferríferas.

## 1 – Introdução

O artigo resume o relatório do estudo hidrogeológico realizado entre 2002 e 2005 pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM em convênio com a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais-SEMAD na Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte – APA Sul RMBH. O estudo é parte do diagnóstico do meio físico, na escala 1:50000, que objetivou levantar e consistir dados para subsidiar o zoneamento ambiental em uma área privilegiada em recursos naturais (minerais, hídricos e ecológicos) e que apresenta graves conflitos resultantes da crescente urbanização e da extração mineral com a preservação ambiental.

O potencial hídrico subterrâneo da APA Sul RMBH é conhecido desde antes da fundação de Belo Horizonte, pois foi um dos fatores que a qualificaram como futura capital do estado, em substituição a Ouro Preto, ainda no final do século XIX. Atualmente, as captações subterrâneas respondem por cerca de 8% do abastecimento da RMBH (COPASA, 2001) e a região é responsável por cerca de 40% do escoamento de base da captação Bela Fama que abastece cerca de 65% de Belo Horizonte e cidades vizinhas.

Apesar de apresentar importantes e históricas reservas hídricas subterrâneas, somente a partir da década de 1980 iniciaram estudos hidrogeológicos sistemáticos objetivando rebaixar os níveis de água para viabilizar a exploração de minério de ferro. Consequentemente, órgãos e entidades ambientais têm demandado ações para compreender a hidrodinâmica dos aquíferos em razão da importância estratégica para o abastecimento público e para a manutenção de ecossistemas frágeis.

O contexto geológico é parte do Quadrilátero Ferrífero (QF), referência clássica da geologia mundial e tema de diversos estudos, principalmente, devido às reservas de minérios de ferro, manganês e ouro, e da grande complexidade de eventos sedimentares, tectônicos, vulcânicos e intrusivos que proporcionaram um intrincado arcabouço geológico.

As ações antrópicas têm criado graves conflitos entre os usuários dos recursos hídricos e são causados por: 1) inadequações na disposição de resíduos sólidos e no lançamento de efluentes; 2) rebaixamento dos níveis de água nas minerações reduzindo as vazões naturais dos mananciais e os níveis de água no entorno; 3) captação das vazões totais dos mananciais, comprometendo o escoamento de base e os ecossistemas ciliares.

## 2 - Contexto geoambiental

### 2.1 - Localização

A APA Sul RMBH foi criada por um decreto estadual de 1994 e seus limites integram parcial, ou totalmente, treze municípios, totalizando uma área de 1.625 km<sup>2</sup> (Fig. 1).

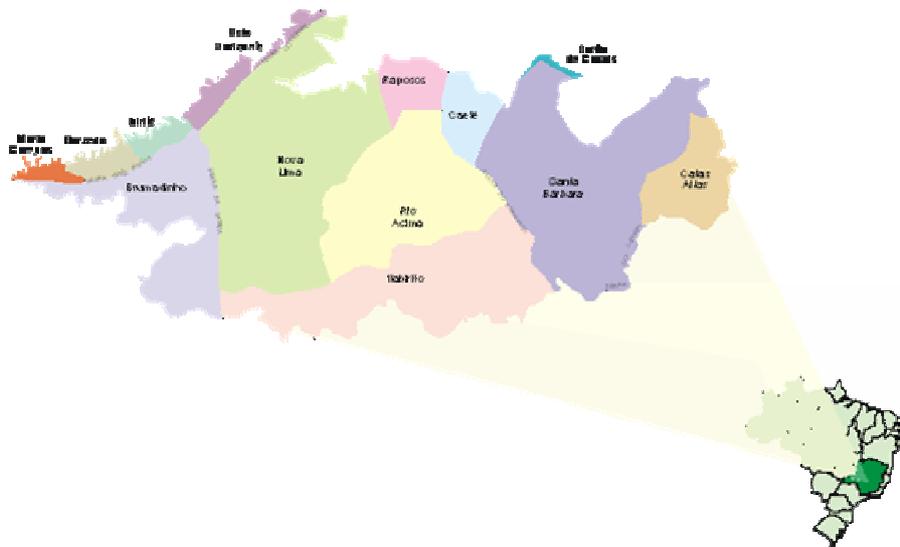


Figura 1 – Localização da área.

### 2.2 - Geologia

O QF é um marco geológico, considerado como uma das áreas clássicas da geologia mundial, objeto de inúmeros estudos e apresenta, além da complexidade geológica, um grande potencial mineral de interesse econômico, principalmente ferro, manganês e ouro.

Segundo Silva *et al.* (2005), ocorrem quatro unidades litoestratigráficas principais: Complexos Ortognáissicos (Belo Horizonte, Bação, Bonfim e Santa Bárbara) e Supergrupo Rio das Velhas (Grupos Quebra Osso, Nova Lima, Maquiné e Complexo Córrego dos Boiadeiros), de idade Arqueana, e o Supergrupo Minas (Grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará) e Grupo Itacolomi, do Paleoproterozóico. Depósitos lacustrinos Terciários, coberturas detrito-lateríticas e depósitos aluviais de idade Fanerozóica recobrem parcialmente as unidades principais. (Tab. 1).

A evolução tectônica é caracterizada por três eventos de deformação, divididos em cinco episódios (Baltazar e Zucchetti, 2005; Alkmin e Marshak, 1998): Evento Rio das Velhas (deformações D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub>); Evento Transamazônico (deformações D<sub>3</sub> e D<sub>4</sub>) e Evento Brasileiro (deformação D<sub>5</sub>). Também, admitem-se soerguimentos epirogenéticos e falhamentos relacionados à

tectônica distensional pós-cretácica (Saadi, 1991 e Varajão, 1991).

A morfologia é admirável pelo relevo montanhoso e escarpado. Apresenta feições dos tipos: “meia laranja” em rochas do Complexo Ortognáissico, situados nos baixos topográficos; *hogbacks* nas rochas metassedimentares; e platôs e chapadões de canga formados sobre as formações ferríferas e áreas adjacentes. As altitudes estão entre 800 e 1000m no embasamento e 1200 e 1500m nos metassedimentos, atingindo 2.000m nos quartzitos do extremo leste (Medina *et al.*, 2005).

### 2.3 - Hidroclimatologia

A região é parte das bacias dos rios São Francisco e Doce. A primeira está representada pelos rios das Velhas e Paraopeba, e a segunda pelo rio Piracicaba. O rio das Velhas ocupa 60% (982km<sup>2</sup>), o rio Paraopeba 14% (230km<sup>2</sup>) e o rio Piracicaba 26% (418 km<sup>2</sup>).

O clima local é bastante influenciado pelo relevo que geram diferenças nas precipitações e temperaturas em função das altitudes que podem atingir 2.000m.

O trimestre mais chuvoso é de novembro a janeiro com 55% da precipitação média anual; e o trimestre mais seco é de junho a agosto com 2%. A precipitação média anual está entre 1.400 e 1.800mm (Fig. 2), e a temperatura média mensal, medida na estação de Belo Horizonte, varia de 16,5 a 23,2°C, e não reflete as diferenças de altitude (Davis *et al.*, 2005).

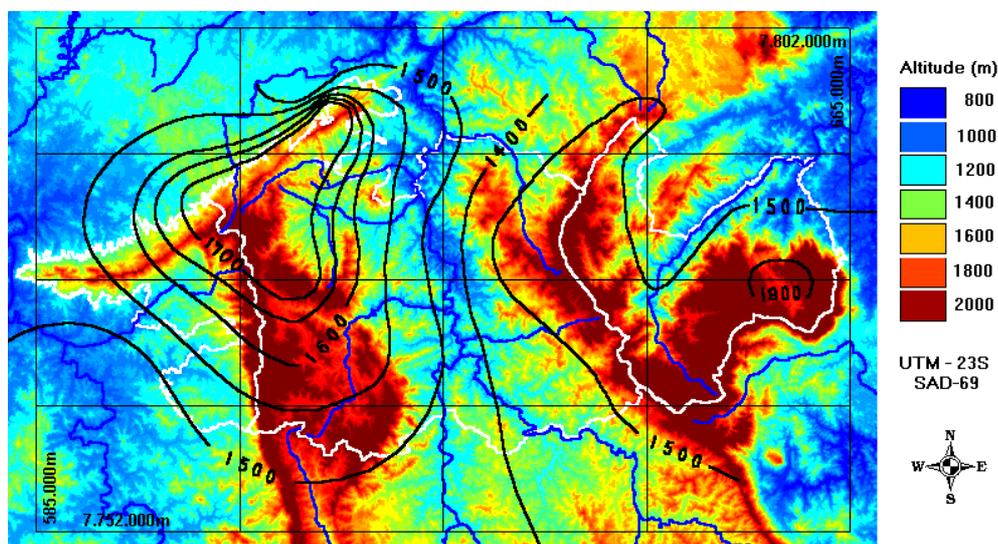


Figura 2 - Isoietas de Precipitação Média Anual – Ano Hidrológico (mm).

## 3 – Hidrogeologia

### 3.1 – Ocorrências de águas subterrâneas

Os pontos de água estão amplamente distribuídos, em maior número na porção leste e ao longo da BR-040 (Fig. 3). Grande parte devido à rede de monitoramento hidrogeológico que vem sendo progressivamente implantada para avaliar os possíveis impactos das minerações e, também, como parte de sistemas de abastecimento doméstico e comunitário.

Tabela 1 – Resumo estratigráfico-litológico.

ERA	UNIDADE GEOLÓGICA	SIGLA	LITOLÓGIA	ESPESS. MAX. (m)	
CENOZOICO	Depósitos aluviais recentes	Qal	Areia, argila e cascalho		
	Depósitos aluviais antigos	NQal	Argila e grãos de quartzo, hematita e limonita		
	Depósitos aluviais antigos	NQag	Argila		
	Depósitos aluviais antigos	NQbx	Bauxita		
	Depósitos aluviais	NQms	Mudstone		
	Depósitos aluviais antigos	NQcg	Cascalhos		
	Depósitos eluviais	NQel	Fragmentos de itabirito misturados com solo ferruginoso		
	Depósitos coluviais	NQco	Matacões, calhaus e seixos de hematita em solo aluvial		
	Depósitos lacustrinos	ENl	Argilite, arenito e limlito		
	Coberturas detrito-lateríticas	ENdl	Solo laterítico, material areno-argiloso, concreções ferruginosas e fragm. de quartzo		
	Coberturas detrito-lateríticas	ENcl	Oxidos de ferro supergênicos e fraturas e falhas com concreções ferruginosas		
	Depósitos elúvio-colúviais	ENec	Canga		
	PALEOPROTEROZOICO	Grupo Itacolomi	PP2it	Filito e conglomerado	>1.000
Grupo Itacolomi/Formação Santo Antônio		PP2itfa	Filito, quartzo, conglomerado e dolomito		
Supergrupo Minas/Grupo Sabará		PP2ms	Filito e xisto metavulcânicos, metagrauvaca e quartzo		
		msc	Xisto clorítico	>3.000	
		msh	Quartzo, filito e grauvaca granitizados		
Supergrupo Minas/Grupo Piracicaba/Formação Barreiro		PP1mpb	Filito e filito grafítico	150	
Supergrupo Minas/Grupo Piracicaba/Formação Taboões		PP1mpt	Quartzo	125	
Supergrupo Minas/Grupo Piracicaba/Formação Fecho do Funil		PP1mpf	Filito, dolomito, quartzo e formação ferrífera	410	
Supergrupo Minas/Grupo Piracicaba/Formação Cercadinho		PP1mpc	Quartzo, filito, filito grafítico, xisto e talco xisto		
		cd	Dolomito e calcário dolomítico		
		cg	Conglomerado	600	
		ff	Formação ferrífera		
Supergrupo Minas/Grupo Itabira		mn	Zonas manganíferas		
		gf	Quartzo ferruginoso		
		PP1mi	Itabirito		
Supergrupo Minas/Grupo Itabira/Formação Gandarela		h	Hematita compacta e friável de alto teor		
		PP1mig	Dolomito, calcário, itabirito e filito		
	cd	Dolomito e calcário dolomítico	600		
	ff	Formação ferrífera			
	h	Hematita compacta e friável de alto teor			
	it	Itabirito dolomítico			
Supergrupo Minas/Grupo Itabira/Formação Cauê	ls	"Lapa seca"			
	mm	Mármore			
	mn	Zonas manganíferas			
	PP1mic	Itabirito, filito e dolomito			
Supergrupo Minas/Grupo Itabira/Formação Cauê	cd	Dolomito e calcário dolomítico	650		
	h	Hematita compacta e friável de alto teor			
	itd	Itabirito ocreado e rocha dolomítica meteorizada			
	mn	Zonas manganíferas			
Supergrupo Minas/Grupo Caraça/Indiviso	PP1mc	Quartzo, filito xistoso e conglomerado			
PALEOPROTEROZOICO	eg	Conglomerado			
	qt	Quartzo			
	PP1mcb	Filito	250		
	Supergrupo Minas/Grupo Caraça/Formação Batatal	PP1mcb	Filito		
	Supergrupo Minas/Grupo Caraça/Formação Moeda	PP1mcm	Quartzo, grit, metaconglomerado e filito		
Supergrupo Minas/Grupo Caraça/Formação Moeda	PP1mcm1	Quartzo e metaconglomerado	1000		
	PP1mcm2	Filito			
	PP1mcm3	Quartzo			
Supergrupo Minas/Grupo Caraça/Formação Moeda	PP1mcm3	Quartzo			
NEOARQUEANO	SG Rio das Velhas/G. Maquiné/Formação Casa Forte/Unidade Cór. do Engenho	A4rmce	Quartzo fino e filito		
	SG Rio das Velhas/Grupo Maquiné/Formação Casa Forte/Unidade Caparema	A4rmcc	Xisto fino e quartzo sericitico fino		
	SG Rio das Velhas/Grupo Maquiné/Formação Casa Forte/Unidade Jaguara	A4rmcj	Quartzo, micaxisto, xisto microconglomerático e metaconglomerado polimictico		
	SG Rio das Velhas/Grupo Maquiné/Formação Casa Forte/Unidade Chica Dona-Fácies Cór. da Cidreira	A4rmcdc	Metaconglomerado e quartzo fino	> 1.800	
	SG Rio das Velhas/Grupo Maquiné/Formação Casa Forte/Unidade Chica Dona-Fácies Cór. do Viana	A4rmcdv	Quartzo, xisto e metaconglomerado polimictico		
	SG Rio das Velhas/Grupo Maquiné/Formação Palmital/Unidade Andaimas	A4mpa	Quartzo, quartzo microconglomerático e metaconglomerado polimictico		
	SG Rio das Velhas/Grupo Maquiné/Formação Palmital/Unidade Rio de Pedras	A4mprp	Xisto, quartzo micáceo e xisto grafítico		
	SG Rio das Velhas/Grupo Nova Lima	A34m	Xisto metassedimentar, xisto metavulcânico e filito		
	SG Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Unidade Córrego do Sitio	A4mcs	Xisto		
		ff	Formação ferrífera bandada		
		ls	"Lapa seca"		
		qt	Quartzo		
		bx	Talco xisto		
		SG Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Unidade Mindá	A4mm	Micaxisto e xisto	
			A4mpo	Micaxisto e xisto	
		SG Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Unidade Cór. da Paina	A4mcp	Xisto e micaxisto	
			ff	Formação ferrífera	
		SG Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Unidade Fazenda Velha	A4mfv	Xisto e micaxisto	
	SG Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Unidade Catarina Mendes	A4mcm	Xisto e rocha calcissilicática		
		ff	Formação ferrífera bandada		
tr	Tremolito				
MESOARQUEANO	SG Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Unidade Mestre Caetano	A3mmc	Xisto		
	ff	Formação ferrífera bandada			
	ls	"Lapa seca"			
	bx	Talco xisto			
	A3msq	Xisto			
	ff	Formação ferrífera bandada			
	fi	Filito			
SG Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Unidade Santa Quitéria	fp	Formação ferrífera e metapelitos			
	fux	Fucsita xisto			
	xg	Xisto grafítico			
A3rmv	Xistos metavulcânicos, metavulcanooclásticos e metassedimentares				
SG Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Unidade Morro Vermelho	ff	Formação ferrífera bandada			
	mch	Metachert			
	sq	Sericita-quartzo xisto			
	bx	Talco xisto			
	xg	Xisto grafítico			
MESOARQUEANO	SG. Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Unidade Ouro Fino	A3mof	Xistos metavulcânicos. Localmente metabasalto e serpentinito.		
	ff	Formação ferrífera bandada			
	bx	Talco xisto			
	xg	Xisto grafítico			
	A3cbpsp	Serpentinito			
	SG. Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Complexo Cór. dos Boiadeiros	A3cbmg	Metagabro		
	SG. Rio das Velhas/Grupo Nova Lima/Complexo Cór. dos Boiadeiros	A3cbet	Esteatito		
MESOARQUEANO	SG. Rio das Velhas/Grupo Quebra Osso	A3rqo	Talco xisto, serpentinito, dunito, peridotito e lavas komatiíticas	> 600	
	ff	Formação ferrífera			
	tut	Turmalito			
	A3sb	Gnaisses, migmatitos e granitos metassomáticos			
	A3bf	Rocha granítica gnaissificada			
	ae	Migmatitos			
	A3bh	Granito e gnaisse granítico			
nv	Novaculito				
INDETERMINADA	Complexo Bação	A3b	Migmatitos e gnaisses		
	Diques básicos	db	Gabro e diabásio		
	Dique básico porfirítico	dbp	Gabro e diabásio porfiríticos		
	Rochas meta-ultrabásicas	mub	Serpentinito, serpentinito talcificado, clorita-talco xisto anfibolítico, clorita-talco xisto		
	gz	Quartzo			

O inventário identificou 1.221 pontos (Tab. 2), dos quais 442 eram produtivos, isto é, tinham uso antrópico. As captações mais comuns são nascentes (164) e cabeceiras de drenagem (57), seguido de poços tubulares (189) e escavados (22), ainda galerias (8) e surgências em cava (2).

Tabela 2 – Pontos inventariados.

UNIDADE HIDROGEOLÓGICA	Nascente	Cabeceira de drenagem	Poço tubular	Poço escavado	Piezômetro	Galeria	Surgência em cava	TOTAL
Sistema Aquífero Granular	33	12	6	30	-	-	-	81
Sist. Aquíf. Quartzito Cercadinho	10	10	8	-	-	-	-	28
Sistema Aquífero Carbonático	45	12	27	4	9	-	-	97
Sistema Aquífero Itabirítico	55	23	66	1	84	5	5	239
Sistema Aquífero Quartzítico	75	65	17	1	2	7	-	167
Sist. Aquífero Formação Ferrífera	2	2	3	-	-	4	-	11
Sistema Aquífero Xistoso	160	120	93	18	9	3	-	403
Sist. Aquífero Granito-Gnáissico	50	22	35	4	-	-	-	111
Aquífero	-	-	13	-	3	-	-	16
Indefinido	1	2	7	-	57	1	-	68
<b>TOTAL</b>	<b>431</b>	<b>268</b>	<b>275</b>	<b>58</b>	<b>164</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>1221</b>

Os poços tubulares têm sido perfurados com maior número (70%) nos últimos dez anos para atender as atividades de mineração e para abastecer condomínios e pequenas comunidades. As profundidades atingem 349m (mediana de 100m), os diâmetros dos revestimentos variam de 100 a 400 mm (70% de 150 mm), são revestidos de aço (85%) e os mais recentes em PVC Geomecânico. As principais características hidrodinâmicas dos poços estão na Tab. 3.

Tabela 3 – Características hidrodinâmicas de poços tubulares.

Unidade hidrogeológica	Ptos.	Profundidade (m)			Nível estático (m)			Nível dinâmico (m)			Capac. específica (m <sup>3</sup> /h/m)		
		max.	min.	mediana	max.	min.	mediana	max.	min.	mediana	max.	min.	mediana
S. Aquíf. Granular	6	120,0	28,0	80,0 (05)	57,7	+ 0,9	6,1 (04)	-	-	-	-	-	-
S. Aquíf. Quartzito Cercadinho	8	184,0	44,0	120,5 (06)	69,9	2,5	25,5 (06)	136,2	45,0	65,0 (04)	0,235	0,000	0,040 (05)
S. Aquíf. Carbonático	27	152,0	26,0	99,0 (23)	55,0	8,9	15,6 (19)	88,0	12,2	33,9 (16)	87,038	0,024	2,535 (16)
S. Aquíf. Itabirítico	66	349,0	68,0	150,0 (60)	187,8	1,7	63,3 (58)	133,0	9,5	65,1 (49)	19,226	0,045	1,625 (49)
S. Aquíf. Quartzítico	17	306,0	52,0	116,0 (13)	142,4	+ 0,6	26,3 (14)	162,3	34,0	66,7 (08)	5,214	0,257	0,620 (08)
S. Aquíf. F. Ferrífera	3	120,0	50,0	90,0 (03)		0,0 (02)		60,3	28,4	44,3 (02)	2,794	0,298	1,546 (02)
S. Aquíf. Xistoso	93	200,0	30,0	80,0 (64)	100,0	+ 0,5	14,6 (53)	170,2	16,0	53,0 (21)	1,170	0,025	0,120 (18)
S. Aquíf. G-Gnáissico	35	120,0	11,0	78,0 (24)	25,0	0,7	4,2 (22)	64,0	25,0	36,7 (05)	0,442	0,043	0,251 (05)
Aquífero	13	205,0	48,0	105,0 (08)	106,0	0,3	38,1 (08)	-	-	-	-	-	-
Indefinido	7	150,0	55,0	104,0 (04)	20,00	11,5	15,7 (02)	-	-	-	-	-	-

( ) número de dados considerado

Em geral, as condições sanitárias são boas, com algumas exceções quanto à ausência do selo sanitário e proximidade de fontes de contaminação, como córregos poluídos e fossas domésticas.

As nascentes estão disseminadas por toda a região em consequência da elevada pluviometria e das capacidades de armazenamento dos aquíferos rasos e profundos. São mananciais de importância inquestionável para a preservação de ecossistemas e para o abastecimento de diversas comunidades.

Ocorrem como surgências cársticas ou, frequentemente, como nascentes de contato de aquíferos com estratos pouco permeáveis. A maioria é de aquíferos rasos e suspensos das formações

superficiais. Estão estreitamente relacionadas com o regime pluvial e, geralmente, têm pequenas vazões (85 % <5,0 m<sup>3</sup>/h), mas podem atingir até 500m<sup>3</sup>/h (Tab. 4). A vegetação ciliar é freqüente e muito importante para a manutenção das vazões.

As principais nascentes estão associadas ao sistema aquífero Itabirítico e apresentam expressivas vazões que são captadas para o abastecimento público ou para mineradoras. A Fig. 3 ilustra o modelo lito-estratigráfico de afloramento que podem ser pontuais ou conjuntas.

Tabela 4 – Vazões de nascentes.

Unidade hidrogeológica	Medições	Vazão m <sup>3</sup> /h			
		máximo	mínimo	mediana	3º Quartil
Sistema Aquífero Granular	16	25,0	0,5	2,7	5,13
Sistema Aquífero Quartzito Cercadinho	8	48,4	4,8	23,5	27,93
Sistema Aquífero Carbonático	37	439,9	0,1	2,4	5,4
Sistema Aquífero Itabirítico	35	493,0	1,0	16,6	86,7
Sistema Aquífero Quartzítico	45	25,6	0,1	2,0	3,07
Sistema Aquífero Formação Ferrífera	1	2,4	-	-	-
Sistema Aquífero Xistoso	126	150,5	0,1	1,1	2,9
Sistema Aquífero Granito-Gnáissico	40	8,5	0,1	1,5	3,6

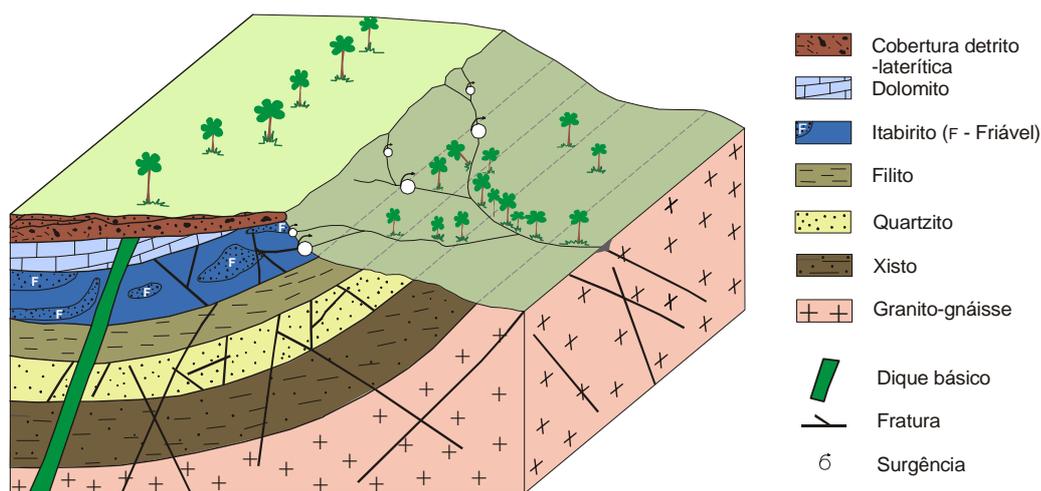


Figura 3 - Modelo de nascentes de contato do sistema aquífero Itabirítico.

### 3.2 - Unidades hidrogeológicas

São freqüentes as discordâncias conceituais em relação às características hidrogeológicas das unidades litoestratigráficas. Sendo assim, adotou-se que sistema aquífero é um conjunto formado por uma ou mais unidades litoestratigráficas que apresentam condutividades hidráulicas, características hidrodinâmicas, condições de recarga, circulação e descarga, e de qualidade das águas relativamente semelhantes (Rebouças, 1994). Também, que unidade aquífera é um ou dois tipos predominantes e bem definidos de rochas portadoras de água associadas a uma unidade geológica específica (Souza, 1995). Portanto, para as 56 unidades geológicas mapeadas foram identificados oito sistemas aquíferos e um aquífero (Fig. 4) e assim caracterizados:

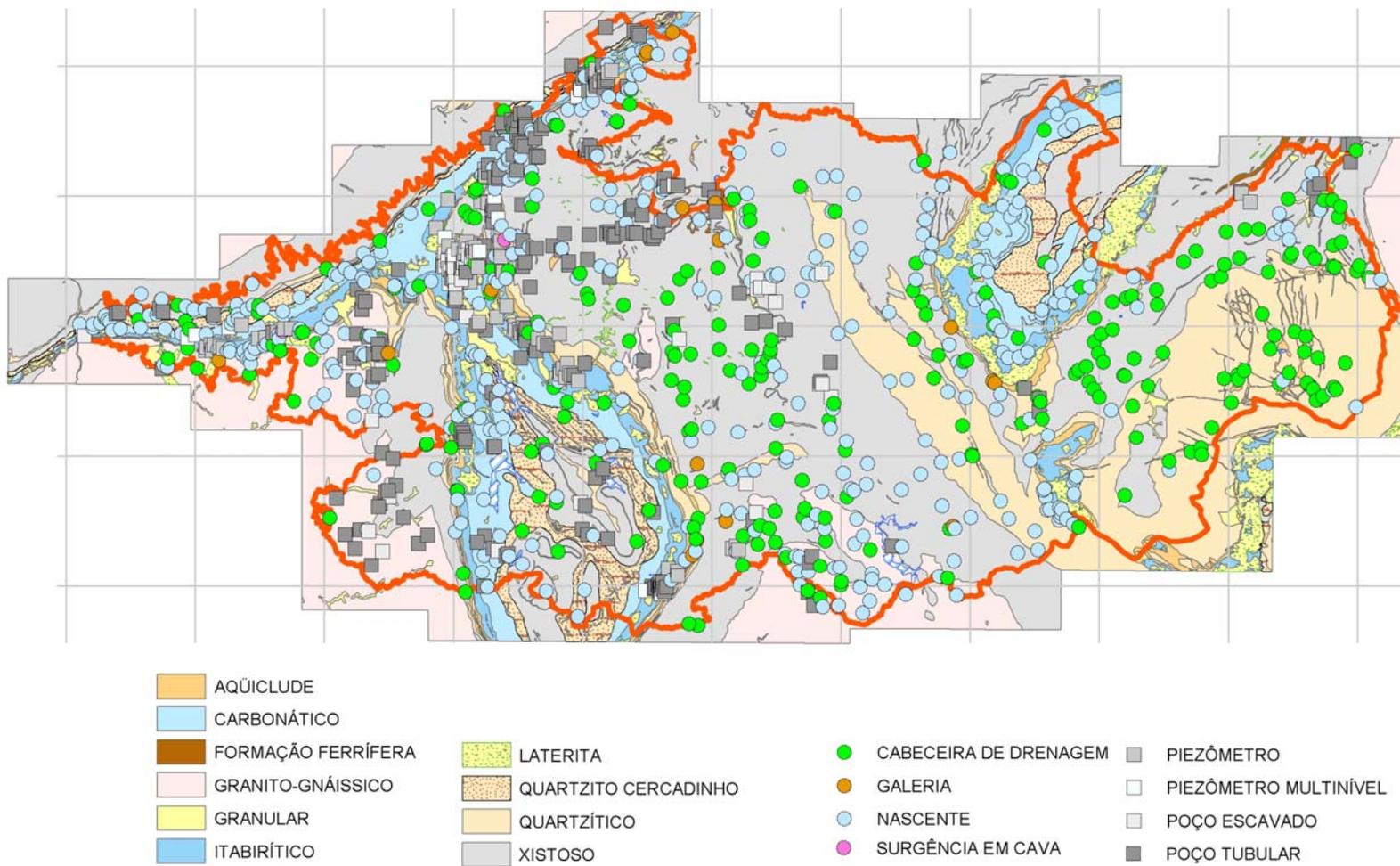


Figura 4 – Mapa das unidades hidrogeológicas e de distribuição de pontos de água.

### 3.2.1 - Sistema aquífero granito-gnáissico

Formam a base das seqüências metassedimentares e têm importância significativa pela crescente ocupação antrópica sobre seus domínios. Encontra-se distribuído pela região sudoeste e centro-sul em cotas entre 800 e 1.100m.

Presentes nos granitos, gnaisses, migmatitos, granitóides e rochas básicas e metabásicas intrusivas (Complexos Bonfim, Bação, Belo Horizonte e Santa Bárbara), serpentinitos e metagabros (Complexo Córrego dos Boiadeiros). O intemperismo pode atingir dezenas de metros. Beato *et al.* (2001) cita espessuras da ordem de 120m nas rochas do Complexo Belo Horizonte.

São aquíferos descontínuos, anisotrópicos, heterogêneos, fraturados e livres a semiconfinados pela rocha alterada. Os níveis piezométricos são rasos (Tab. 3), resultantes do relevo levemente ondulado e captações nas vertentes.

A recarga principal é pluvial e se dá pela infiltração nas formações superficiais e, também, de cursos d'água conectados hidráulicamente com as fraturas. A recarga é otimizada pela elevada precipitação, relevo pouco acidentado e espesso manto de intemperismo. O fluxo tende aos baixos topográficos onde os cursos d'água perenes drenam o sistema. Os exutórios naturais são nascentes pontuais ou difusas ao longo dos vales com pequenas vazões (Tab. 4).

A capacidade de armazenamento é limitada (Tab. 3), porém suficiente para atender pequenas demandas domésticas através de poços escavados ou tubulares rasos.

### 3.2.2 - Sistema aquífero xistoso

Considerado como aquífero ou, até, aquícluído, revelou-se produtivo. Ocupa a maior área das unidades hidrogeológicas e prevalece na área central com cotas entre 800 e 1.300m.

Está presente em rochas metassedimentares e metavulcanossedimentares do tipo *greenstone belt* (Grupo Nova Lima) onde predominam metapelitos e xistos intercalados por níveis quartzosos bastante fraturados, formando um espesso pacote, acima de 4.000m.

São aquíferos fraturados, descontínuos, fortemente anisotrópicos, heterogêneos e livres a confinados por metapelitos e xistos. Os níveis piezométricos são relativamente rasos (Tab. 3).

A recarga principal é pluvial, pela infiltração nas formações superficiais conectadas às fraturas e, também, de cursos d'água que interceptam os níveis quartzosos. Recebe aportes dos sistemas aquíferos Quartzítico e Formação Ferrífera com os quais está em contato gradacional. A circulação se dá nas principais direções de fraturamento e, também, nas direções dos acamamentos dos níveis quartzosos confinados por litótipos pouco permeáveis. O fluxo tende aos baixos topográficos onde os cursos d'água perenes que drenam o sistema. Os exutórios naturais são nascentes pontuais ou difusas ao longo dos vales com pequenas vazões (Tab. 4). Quando anômalas podem estar associadas a sedimentos coluvionares de canga ou falhamentos expressivos.

A capacidade de armazenamento é baixa, mas suficiente para atender pequenas demandas

(Tab. 3). A produtividade está estreitamente relacionada com a presença dos níveis quartzosos fraturados. Uma restrição importante para a exploração é a presença de minerais sulfetados que quando oxidados pelo rebaixamento dos níveis d'água podem liberar metais pesados.

### 3.2.3 - Sistema aquífero formação ferrífera

Está presente nos níveis interestratificados das rochas do Grupo Nova Lima com espessuras de até 100m e comportamento hidrodinâmico próximo do sistema aquífero Quartzítico, porém com particularidades hidrogeoquímicas diferenciadas.

Forma-se em metassedimentos químicos de formações ferríferas bandadas do tipo Algoma com quartzo recristalizado e micro e meso bandas de magnetita, metacherts, carbonatos e sulfetos.

São aquíferos fraturados, descontínuos, anisotrópicos, heterogêneos e livres a confinados por níveis de metapelitos e xistos pouco permeáveis.

A recarga principal é dos sistemas aquíferos Xistoso e Quartzítico encaixantes e de cursos de água que interceptam a litologia. A circulação segue as direções das principais estruturas de fraturamento e de acamamento que estão intensamente deformadas. A descarga natural é por nascentes de pequena vazão (Tab. 4), situadas nos vales que cortam os metassedimentos ou como recarga dos sistemas aquíferos Xistoso e Quartzítico com os quais está em contato.

O comportamento rúptil da formação, submetida às diversas fases de deformação, proporcionou um potencial favorável para o armazenamento de água. Os poucos dados hidrodinâmicos indicam um elevado potencial (Tab. 3). Entretanto, a exploração é condicionada a regimes de operação controlados. Alterações de qualidade podem ocorrer por drenagem ácida como encontrado nas minas de ouro do Faria e Esperança, e em poços tubulares.

### 3.2.4 - Sistema aquífero quartzítico

São metassedimentos quartzíticos de diferentes idades e posições estratigráficas. Ocorre de forma descontínua em corpos lineares com espessuras de até 1.000m e configuram o relevo mais elevado da região com cotas entre 800 e 2.070m, geralmente acima de 1.000m. Estão distribuídos nas porções leste e central.

Ocorre em quartzitos, quartzitos ferruginosos e sericíticos, metagrauvas, metacherts e metaconglomerados, interestratificados, ou não, por filitos, xistos e dolomitos. São litologias das Formações Casa Forte e Palmital (Grupos Itacolomi e Maquiné), e Moeda e Taboões (Grupos Caraça e Piracicaba).

Os aquíferos são fraturados, descontínuos, anisotrópicos, heterogêneos e livres a confinados pelos metapelitos e xistos interestratificados. Os níveis piezométricos são relativamente rasos (Tab. 3) e, geralmente, as superfícies piezométricas estão na base das encostas íngremes.

A recarga principal é pluvial, pela infiltração nas formações superficiais conectadas às fraturas e, também, dos aportes dos cursos d'água que cortam os quartzitos fraturados. Entretanto, a

morfologia acidentada não favorece a infiltração, mas o escoamento superficial. A circulação ocorre nas principais direções de fraturamento e ao longo das camadas confinadas por estratos pouco permeáveis. O fluxo tende aos baixos topográficos onde se encontram os cursos d'água perenes que drenam o sistema. Os exutórios naturais são nascentes de contato com os estratos pouco permeáveis dos metapelitos e xistos e apresentam pequenas vazões (Tab. 4). As vazões são aumentadas por aquíferos suspensos, formados de material coluvionar, bastante influenciadas pelas matas ciliares.

A capacidade de armazenamento não é expressiva, pois as variações faciológicas alteram significativamente as propriedades hidrodinâmicas. No entanto, localmente, existem condições favoráveis de exploração por poços tubulares com capacidade específica de até 5,2 m<sup>3</sup>/h/m (Tab. 3). Devido aos freqüentes fortes mergulhos e intercalações de materiais de competência distintas a perfuração de poços exige o emprego de técnicas e equipamentos adequados.

### 3.2.5 - Sistema aquífero itabirítico

É o principal sistema aquífero do Quadrilátero Ferrífero e seu elevado potencial tem sido explorado desde o século XIX. Trata-se de um sistema bastante complexo e controverso pelas particularidades geológicas que vêm sendo progressivamente identificadas e quantificadas nos últimos anos com os estudos hidrogeológicos nas cavas das minas de ferro.

Está presente de forma linear e quase contínua nos Sinclinais da Moeda, Gandarela e Ouro Fino, e na Homoclinal da serra do Curral, nas porções oeste-noroeste, nordeste e sudeste. Faz parte do relevo elevado em cotas entre 1.200 e 1.586m (pico do Itabirito) devido aos itabiritos e às espessas camadas de canga que parcialmente o recobre. A espessura pode atingir 1.000m no QF.

É formado, principalmente, nas rochas da Formação Cauê do Grupo Itabira, pertencente ao Supergrupo Minas (o que lhe confere a denominação comum de *aquífero Cauê*). São litótipos de Formações Ferríferas Bandadas, fácies óxidos, tipo Lago Superior, constituídas de itabiritos dolomíticos e silicosos, e corpos de hematita compacta e friável. As litologias estão recobertas por material laterítico, cangas e colúvios de canga, e podem estar alteradas em até 500m (Mina do Tamanduá), regionalmente o manto de intemperismo situa-se entre 50 e 100m (Ribeiro, 2003).

Juntamente com os dolomitos da Formação Gandarela, estratigraficamente sobreposta, forma uma seqüência metassedimentar química com a qual apresenta contato transicional que pode atingir centenas de metros. Limita-se na base, por contato gradacional, pelos filitos pouco permeáveis da Formação Batatal. Na Homoclinal da serra do Curral a seqüência estratigráfica está invertida.

Formam aquíferos descontínuos, fortemente anisotrópicos, heterogêneos, fraturados e/ou granulares condicionados pelo fraturamento e importante dissolução química do carbonato e quartzo (hematitas friáveis na Mina de Águas Claras apresentaram porosidade de 50% e porosidade eficaz de 10 a 15% - MDGEO 2001), que, também, são responsáveis por importantes reservas de ferro de elevado teor (enriquecimento supergênico). São aquíferos livres a confinados pela

conformação estratigráfica com dobramentos e falhamentos transcorrentes e de empurrão. Os níveis piezométricos variam de surgentes a 190m. A relativa profundidade é devido à morfologia acidentada e aos rebaixamentos causados pelas atividades de mineração. Diques básicos cortam as formações, compartimentando os aquíferos e causando grandes diferenças de níveis em pontos de observação próximos, principalmente, quando existe o rebaixamento nas minas de ferro.

A recarga principal é a infiltração de águas pluviais sobre os espessos horizontes intemperizados, eficiente quando recoberto por coberturas lateríticas. Os níveis respondem rapidamente às precipitações, as nascentes demoram mais. Localmente, pode receber aportes do sistema aquífero Carbonático, sobreposto. A circulação se dá nas fraturas, planos de estratificação e ao longo das barreiras impermeáveis como diques e base confinante. Nos contatos com diques, frequentemente, são encontrados hematitas friáveis com elevada porosidade granular. Os exutórios naturais são nascentes de contato, geralmente, com os filitos da Formação Batatal que podem apresentar vazões de 500m<sup>3</sup>/h (Tab. 4). As nascentes ocorrem de forma pontual ou formando um conjunto de nascentes próximas, constituindo zonas de afloramento. Na serra dos Três Irmãos encontram-se importantes mananciais nas unidades geológicas encaixantes (Formações Cercadinho e Gandarela), conectadas por fraturas. Datações com Trítio indicaram tempos de trânsito de 150 a >400 anos (ÁGUA, 2001b).

A capacidade de armazenamento neste sistema pode ser muito elevada, como se observa nas expressivas e regulares vazões de diversos mananciais e capacidades específicas de até 19,2 m<sup>3</sup>/h/m (Tab. 3). As transmissividades variam entre 50m<sup>2</sup>/dia e 1.500m<sup>2</sup>/dia e os coeficientes de armazenamento de 0,15 a 10<sup>-6</sup> (Silva *et al.* 1994). É relevante a ausência de poços tubulares secos e o revestimento total dos poços devido às intercalações de itabiritos compactos e friáveis.

Freqüentemente os aquíferos estão compartimentados lateralmente por diques com até centenas de metros de espessura, geralmente, identificados somente com o avanço das lavras ou testes de aquífero. No entanto, particularidades geológico-estruturais proporcionam significativas drenanças como nas minas de Pau Branco (ÁGUA, 2001a) e Casa de Pedra (Neves e Bertachini, 2004), alterando consideravelmente os fluxos subterrâneos.

### 3.2.6 - Sistema aquífero carbonático

Estratigraficamente encontra-se sobreposto ao sistema aquífero Itabirítico através de contato gradacional onde a diminuição do teor de ferro marca a transição, tendo assim, distribuição geográfica comum. Quartzitos e filitos da Formação Cercadinho o recobrem. A espessura média é de 200m e pode atingir 1.000m. Topograficamente está abaixo dos itabiritos entre as cotas 1.000 e 1.500m, e nas cotas mais elevadas, comumente, está recoberto por lateritas.

Está presente em dolomitos, mármore e zonas manganésíferas, principalmente da Formação Gandarela (Grupo Itabira do Supergrupo Minas). Também são encontrados como níveis ou lentes

nas Formações Cercadinho e Cauê. As rochas encontram-se bastante meteorizadas. Predominam dolomitos cuja solubilidade não favorece importantes estruturas cársticas que permitam o armazenamento de água subterrânea, ainda assim, existem estruturas de colapso e subsidência.

Formam aquíferos fraturados e cársticos, descontínuos, fortemente anisotrópicos, heterogêneos e livres a confinados pelos regolitos argilosos. Os níveis piezométricos são relativamente rasos (Tab. 3).

A recarga principal é pela infiltração de águas pluviais nas formações superficiais e feições cársticas no relevo (dolinas e fraturas de dissolução). Localmente, aportes procedem dos sistemas Itabirítico e Quartzito Cercadinho através de fraturas penetrativas conjugadas e, ainda, de sedimentos Terciários. A circulação preferencial é nas direções de fraturamento e/ou carstificação, e, também, segundo os planos de estratificação. A descarga ocorre como nascentes ou como recarga de outros sistemas aquíferos. As nascentes, geralmente, têm vazões baixas (Tab. 4), mas podem ter até 440 m<sup>3</sup>/h (Fechos). Datações com Trítio na Mina Córrego do Feijão indicaram tempos de trânsito entre 45 e 120 anos (ÁGUA, 2001b).

A capacidade de armazenamento é bastante variável e, localmente, pode ser muito elevada como observado pelos mananciais com expressivas vazões e poços tubulares com capacidades específicas significativas de até 84 m<sup>3</sup>/h/m (Tab. 3 e 4). Os poços são comumente revestidos devido às freqüentes intercalações de níveis meteorizados.

### 3.2.7 - Sistema aquífero quartzito cercadinho

É um desdobramento do sistema quartzítico com a particularidade de apresentarem espessos níveis de quartzito cinzento intercalados por níveis de filito prateado, típicos da Formação Cercadinho. Limita-se na base com o sistema Carbonático (Formação Gandarela) por contato discordante erosivo e está confinado pelos filitos da Formação Fecho do Funil. Na Homoclinal Serra do Curral a estratigrafia está invertida.

Distribui-se geograficamente pelas regiões da serra do Curral e nas Sinclinais Gandarela e da Moeda nas porções oeste-noroeste e nordeste. A espessura máxima é de 320m na localidade tipo e a espessura média em torno de 100m. As altitudes estão entre 1.000 e 1.400m.

Os aquíferos estão em rochas metassedimentares clásticas da Formação Cercadinho (Grupo Piracicaba do Supergrupo Minas). São quartzitos, quartzitos ferruginosos, dolomitos e conglomerado basal, intercalados por filitos prateados.

São aquíferos descontínuos, fortemente anisotrópicos, heterogêneos, fraturados, livres e parcialmente confinados pelos filitos interestratificados e filitos da Formação Fecho do Funil. Os níveis piezométricos são relativamente rasos (Tab. 3).

A recarga se dá preferencialmente pela infiltração de águas pluviais através das formações superficiais conectados com as fraturas. Aportes significativos podem vir de cursos d'água que

cortam os quartzitos fraturados e, ainda, a estruturação tectônica, com dobras, fraturas, falhas transcorrentes e de empurrão, favorecem conexões hidráulicas localizadas com os outros sistemas, tanto de recarga como de descarga. A circulação se faz segundo as direções de fraturamento e de acamamento. Os exutórios naturais são nascentes de contato com os níveis pouco permeáveis ao longo dos vales com vazões de algumas dezenas de m<sup>3</sup>/h (Tab. 4). Datações pelo conteúdo de Trítio na Mina Córrego do Feijão indicaram tempos de trânsito de 130 anos (ÁGUA, 2001b).

Os dados hidrodinâmicos levantados são insuficientes para indicar a efetiva capacidade de armazenamento, mas segundo Silva *et al.* (1994) pode ser muito elevada, pois em Itabira, onde o Grupo Piracicaba ocorre indiviso, os poços tubulares apresentam capacidades de 15 a 150 m<sup>3</sup>/h/m. Também, para a perfuração de poços, o forte mergulho das camadas com competências distintas exige o emprego de técnicas e equipamentos adequados.

### 3.2.8 - Sistema aquífero granular

Formam aquíferos importantes pela acessibilidade dos usuários com pequenas demandas, pela recarga que proporcionam aos sistemas aquíferos subjacentes e ainda para a manutenção de ecossistemas ciliares. Estão distribuídos por toda a área em formações superficiais recobrendo outras unidades aquíferas. A área de ocorrência é maior do que a cartografada, pois as formações superficiais não são devidamente mapeadas. As principais áreas estão nos platôs das Sinclinais da Moeda e Gandarela, caracterizadas por depósitos de sedimentos alúvio-coluvionares Terciários.

São sedimentos inconsolidados em depósitos aluviais recentes ou antigos (Terciários e Quaternários), depósitos coluviais e de tálus, sedimentos de enchimento de vales e horizontes superficiais de intemperismo. As espessuras são bastante variáveis podendo atingir centenas de metros como encontrado nos horizontes meteorizados dos itabiritos (500m na Mina do Pico).

Formam aquíferos granulares, descontínuos, fortemente heterogêneos, anisotrópicos e livres. As porosidades e permeabilidades variam em razão da diversidade dos fatores físico-químicos na formação dos sedimentos e meteorização das rochas. Podem apresentar porosidade e permeabilidade muito boas, como nas coberturas lateríticas onde, praticamente, toda a água precipitada infiltra. Por outro lado, em sedimentos ou solos residuais com expressiva quantidade de fração argila a permeabilidade é baixa, dificultando a infiltração e o escoamento subterrâneo.

A recarga principal é pluvial e também de cursos d'água conectados hidraulicamente. Os exutórios naturais são nascentes de contato com pequenas vazões (Tab. 4) e algumas, formadas de depósitos de tálus de canga na base de encostas das formações ferríferas, formam conjuntos com vazões importantes para o escoamento de base dos cursos d'água.

A capacidade de armazenamento é geralmente baixa pela freqüente presença de material argiloso. No entanto, os depósitos de tálus de canga e aluviões associados a cursos d'água de grande volume podem fornecer importantes vazões através de nascentes e poço tubulares. Geralmente são

captados através de poços escavados para abastecimento doméstico.

### 3.2.9 - *Aqüíferos*

A conformação hidrogeológica do QF deve-se, em parte, à presença das unidades geológicas que compartimentam e confinam os sistemas aquíferos, ainda que com drenança localizada. São litologias pouco permeáveis que ocorrem como formações, níveis interestratificados, depósitos sedimentares Terciários ou Quaternários, ou corpos intrusivos máficos.

A Formação Batatal (Grupo Caraça) ocorre na Homoclinal da serra do Curral e nas Sinclinais da Moeda, Gandarela e Ouro Fino, com espessuras entre 20 e 50m, localmente de até 400m (Grandchamp, 2003 e MDGEO, 1999). Os contatos com a Formação Cauê (aquíferos Itabiríticos), no topo, e com os quartzitos da Formação Moeda, na base, são gradacionais. É constituída de filitos sericíticos, filitos grafitosos e, localmente, contém quantidades significativas de clorita e material carbonático. No topo são encontradas intercalações de metachert e delgadas lentes de hematita (itabiritos) e, também, lentes de quartzito.

A concepção geral é de que esta camada forme uma barreira hidráulica separando fisicamente os sistemas aquíferos Itabiríticos e Quartzíticos da Formação Moeda. Ao confinar a base dos aquíferos itabiríticos, em uma estrutura sinclinal, forma uma bacia de acumulação de grande potencial. Porém, é questionável a continuidade, tanto litológica como das características físicas, em toda a região, pois o intenso tectonismo, inclusive cenozóico, provavelmente proporcione drenanças localizadas. Também, a eventual presença de níveis de metacherts saturados (Mina do Pico) mostra ter capacidade de armazenar e transmitir água, ainda que pouco significativa e restrita.

A Formação Barreiro (Grupo Piracicaba) ocorre no flanco norte das serras do Curral e Três Irmãos em contato com a Formação Taboões, na base, e Grupo Sabará, no topo. Na localidade tipo tem 107m de espessura, sendo caracterizado por grandes variações de espessura, em muitos casos devido à sua plasticidade sob a ação orogênica. É constituída de filito e filito grafitoso, facilmente intemperizáveis. Restringe a drenagem subterrânea entre os aquíferos sobrejacentes e sotopostos, porém, fraturas ou descontinuidades nas camadas podem permitir fluxos localizados.

Níveis intraformacionais de rochas pouco permeáveis ocorrem nas diversas unidades metassedimentares. Todavia, o mais expressivo está na Formação Moeda, constituída de quartzitos e conglomerados de fácies aluvial, mas apresentando filitos e metassiltitos de fácies marinha (Silva *et. al.*, 2005). A espessura é variável e apresenta-se descontínuo e truncado por falhas.

Os depósitos sedimentares são aluvionares, lacustrinos ou de enchimento de vales, constituídos de argilas de diversas composições e de idade Cenozóica. Estão presente nas regiões das Sinclinais da Moeda e Gandarela, e são descontínuos com algumas dezenas de metros.

Os corpos intrusivos são freqüentes e, comumente, meteorizados. São identificados nas escavações das lavras e por de testes de aquífero. Formam importantes barreiras hidráulicas entre

aquíferos do mesmo sistema e estão presentes, principalmente, nas seqüências metassedimentares. São diques, *sills*, *stocks* ou *plugs* constituídos de diabásios, basaltos, gabros, metagabros e xistos. Resultam de quatro eventos principais de idades distintas (Silva, 1992) e seccionam todos os sistemas aquíferos em diversas direções, compartimentando-os e alterando os fluxos subterrâneos.

Quando os corpos não estão meteorizados os esforços tectônicos podem proporcionar fraturas permeáveis e, ainda, como são descontínuos e de espessuras variadas podem proporcionar drenança. Na Mina da Casa de Pedra, em Congonhas, um corpo de 250m apresenta drenança entre aquíferos do sistema itabirítico (Neves e Bertachini, 2004).

#### 4 - Hidroquímica

O estudo hidroquímico considerou os resultados de 82 amostras coletadas para o diagnóstico (Tab. 5) e de 67 análises levantadas de outros estudos. As coletas realizadas no período seco minimizaram os efeitos das águas pluviais que poderiam diluir as amostras e mascarar resultados. Priorizaram-se as captações de abastecimento público, ou comunitário, que fossem representativas de cada unidade hidrogeológica e dos riscos potenciais de contaminação. A avaliação da potabilidade seguiu os padrões do Ministério da Saúde (Portaria nº. 518 de 2004).

Tabela 5 – Análises hidroquímicas.

Sistema aquífero	Natureza					
	Poço tubular	Poço escavado	Nascente	Cab. de drenagem	Surgência em cava	Galeria
Granular	2	2	1			
Quartzito Cercadinho			2	2		
Carbonático	9		10	3		
Itabirítico	19		13	5	1	
Quartzítico	3	1	9	4	3	
Formação Ferrífera	2					2
Xistoso	19	1	7	8		
Granito-gnáissico	11		5	4		
Indefinido						1

No cadastramento foram avaliadas as condições de risco potencial de contaminação de 898 pontos, sendo 609 definidos como de baixo risco, 233 como de médio risco e 56 como de alto a muito alto risco. O Gráfico 1 apresenta as principais fontes de contaminação, predomina o saneamento precário. Observou-se a vulnerabilidade sanitária das captações, principalmente, nascentes e cabeceiras de drenagem passíveis de deterioração na qualidade das águas quando indevidamente captadas. Também, a ausência de selos sanitários em poços tubulares.

Foram 40 parâmetros, entre físico-químicos e bacteriológicos, analisados em laboratório e durante o cadastramento e as coletas foram medidos: temperatura, pH, Eh e condutividade elétrica, com aparelhos portáteis de precisão WTW Multiline P3 pH/LF-Set.

Os resultados revelam que os principais elementos de origem litológica são: bicarbonato,

cálcio, magnésio, sódio e ferro, freqüentes na mineralogia da grande diversidade de rochas granito-gnáissicas e metassedimentares (83 litótipos em 56 unidades geológicas). Dos elementos traços, destacam-se o fosfato, manganês e zinco encontrados com teores baixos, mas freqüentes, associados aos sulfetos, carbonatos e diques básicos, comuns em grande parte do arcabouço geológico.

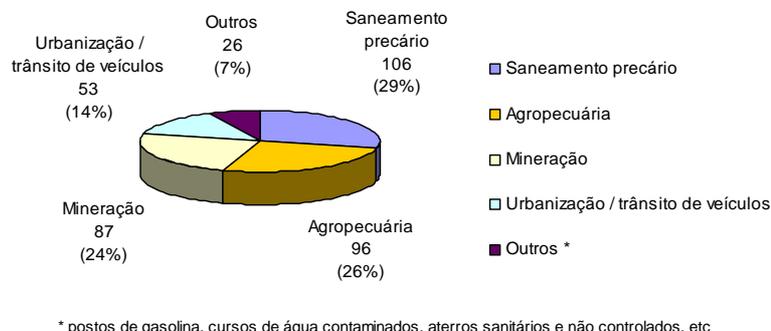


Gráfico 1 – Resumo das principais fontes de contaminação inventariadas.

Existem variações composicionais significativas entre os sistemas aquíferos e, ainda, dentro de um mesmo sistema. Parte é consequência dos horizontes amostrados (águas rasas com pouco tempo de residência e águas profundas de circulação local ou regional), e parte é das variações faciológicas dentro de uma mesma unidade geológica. São fatores complexos, principalmente geológicos e hidrodinâmicos, que devem ser considerados na avaliação hidroquímica.

A drenagem ácida ocorre em rochas contendo sulfetos, formados em condições redutoras, que podem ser oxidados pelo rebaixamento dos níveis de água. Quando o meio está saturado as condições são estáveis, mas com o rebaixamento o oxigênio atmosférico desestabiliza as condições físico-químicas, oxidando os sulfetos e solubilizando os metais associados.

#### 4.1 - Sistema aquífero granito-gnáissico

Prevalecem águas do tipo bicarbonatada cálcica-sódica-magnésiana. Os valores medianos indicam que as águas são frias (21,1°C), levemente ácidas (pH 6,25), pouco mineralizadas (ST 72,0mg/L) e com teores de ferro total relativamente altos (0,20mg/L), 30% das amostras excedem o limite de potabilidade (0,3mg/L).

Quanto aos elementos traços mais freqüentes (acima de 50% das amostras), destacam-se o fosfato com até 0,10mg/L, bário total com até 0,180mg/L, zinco total com até 1,81mg/L e nitrogênio amoniacal com até 0,06mg/L.

#### 4.2 - Sistema aquífero xistoso

Predominam águas do tipo bicarbonatada cálcica-magnésiana. Os valores medianos revelam águas frias (21,4°C), levemente básicas (pH 7,26) e relativamente mineralizadas (ST 70,0mg/L).

Os elementos traços mais freqüentes (acima de 50%) são: fosfato com até 0,48 mg/L, ferro

total com até 8,35 mg/L, zinco com até 1,12 mg/L e nitrogênio amoniacal com até 0,11 mg/L. Nos pontos próximos de depósitos de estéril de minerações de ouro são encontrados valores anômalos de ferro total ou manganês, pH, Eh ou STD.

#### **4.3 - Sistema aquífero formação ferrífera**

Os resultados revelaram dois tipos de água: bicarbonatada cálcica-magnésiana nos poços tubulares e sulfatada cálcica-magnésiana nas galerias com drenagem ácida. Os valores medianos das águas naturais indicaram serem frias (22,4°C), levemente ácidas (pH 6,79) e relativamente mineralizadas (STD 232,0mg/L).

A presença de metais pesados nas análises é comum, podendo atingir valores bastante elevados de ferro total (91,4mg/L), manganês total (3,68mg/L), alumínio total (2,49mg/L), arsênio total (0,15mg/L) cádmio total (0,021mg/L) e chumbo total (0,08mg/L). O ferro e manganês ocorrem acima do permitido (0,3 e 0,1 mg/L, respectivamente) em todos os pontos amostrados.

#### **4.4 - Sistema aquífero quartzítico e quartzito cercadinho**

Prevalecem águas do tipo bicarbonatada cálcica-magnésiana ou magnésiana-cálcica (70%) e, também, dos tipos bicarbonatada-sulfatada e bicarbonatada-nitratada. São águas frias (20,6°C), levemente ácidas (pH 6,67) e pouco mineralizadas (ST de 34,8mg/L).

Quanto aos elementos traços freqüentes (acima de 50% das amostras) é relevante o fosfato com até 0,09mg/L e o ferro total com até 2,67mg/L. Uma particularidade é o nitrato que ocorreu com teor bastante elevado (29,35mg/L) próximo de uma lavra de ferro que pode estar relacionado com resíduos de explosivos a base de nitrato utilizados no desmonte de rochas.

#### **4.5 - Sistema aquífero itabirítico**

Predominam águas do tipo bicarbonatada cálcica-magnésiana, seguidas de bicarbonatada-nitratada sódica-cálcica e bicarbonatada-cloretada cálcica. São águas frias (20,0°C), levemente ácidas a ácidas (pH 5,47) e muito pouco mineralizadas (STD 16,30mg/L). O pH ácido é muito freqüente e característico, proporcionando águas agressivas que causam corrosão dos metais nos sistemas de adução e nos revestimentos dos poços.

Dos elementos traços destacam-se o fosfato com até 0,08mg/L e o nitrogênio orgânico com até 1,11mg/L. Apesar de a rocha ser rica em ferro, o mesmo encontra-se oxidado e não é freqüente, ainda que apresente valores de até 1,41mg/L. O nitrato é comum, ainda que abaixo do limite de potabilidade, provavelmente relacionado com os explosivos utilizados nas minerações de ferro.

#### **4.6 - Sistema aquífero carbonático**

Prevalecem águas do tipo bicarbonatada cálcica-magnésiana ou magnésiana-cálcica. São águas frias (22,0°C), levemente básicas a básicas (pH 7,04) e relativamente pouco mineralizadas (STD 54,50mg/L).

Quanto aos elementos traços freqüentes destacam-se o ferro total com até 2,87mg/L, o

manganês total com até 0,6mg/L e o fosfato com até 1,05mg/L.

#### **4.7 - Sistema aquífero granular**

Devido a diversidade litológica as águas podem ser bicarbonatada cálcica-magnésiana ou magnésiana-cálcica, cloretada-bicarbonatada sódica-magnésiana e sulfatada-cloretada-bicarbonatada-nitratada sódica-potássica. São águas frias (20,3°C), levemente ácidas (pH de 6,40) e as condutividades elétricas variam entre 4,0 e 427,0µS/cm (mediana de 17,0µS/cm).

#### **5 - Considerações finais**

O potencial hídrico subterrâneo na APA Sul RMBH é mal distribuído e está associado às estruturas geológicas favoráveis. As maiores reservas estão nos metassedimentos itabiríticos e carbonáticos, geralmente associados às grandes reservas de minério de ferro. Por outro lado existem áreas com potencial limitado e que deverão ter suas demandas otimizadas ou restringidas.

As captações podem ser diretamente nas nascentes, desde que mantidas as vazões ecológicas, e através de poços tubulares perfurados com técnicas especiais devido aos fortes mergulhos das camadas e das competências distintas das litologias. Os espessos mantos de intemperismo, em grande parte das litologias, permitem atender pequenas demandas com o aproveitamento por poços escavados, desde que consideradas as precauções sanitárias.

Para o conhecimento das variáveis hidrogeológicas sujeitas aos impactos das atividades minerárias, industriais e de ocupação urbana, e para subsidiar a solução dos conflitos ambientais existentes, é fundamental a manutenção da ampla rede de monitoramento que está sendo implantada com medições sistemáticas de níveis piezométricos, vazões e parâmetros físico-químicos de qualidade. Os poços tubulares em xistos e formações ferríferas do grupo Nova Lima devem ser periodicamente monitorados em razão dos riscos de drenagem ácida e presença de metais pesados.

Ainda não foram avaliados os horizontes profundos do sistema Itabirítico nos eixos das sinclinais que podem revelar expressivas reservas pela conformação de bacias de acumulação.

#### **6 - Referências bibliográficas**

- ÁGUA Consultores Associados Ltda. **Reavaliação do modelo hidrogeológico de previsão de rebaixamento dos níveis de água na Mina Pau Branco: 1º Relatório de andamento**, out. 2001. Belo Horizonte: Vallourec & Mannesmann Tubes. 2001a. 16p. (Inclui anexo de dados / Relatório interno).
- ÁGUA Consultores Associados Ltda. **Monitoramento hídrico e avaliação de possíveis impactos do sistema de rebaixamento dos níveis de água na Mina Córrego do Feijão – Brumadinho, MG**. Belo Horizonte: FERTECO Mineração S.A., 2001b. 15p. (Inclui anexos de mapas/ Relatório interno).
- Alkmim, F. F.; Marshak, S. Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco Craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, Amsterdam, n.90, p.29-58, 1998.
- Baltazar, Orivaldo F.; Zuchetti, Márcia. Geologia Estrutural. *In*: Silva, Sergio L. (Org.) **Projeto APA Sul RMBH. Estudos do Meio Físico**. Geologia. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005. v.1. p.32-40.

- Beato, Décio A. C. Coord.; Dutra, Georgete M. **Estudo hidrogeológico da Bacia da Lagoa da Pampulha**. Belo Horizonte: CPRM/PBH, 2001. 151p.
- COPASA – Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais. Produção de água para a RMBH. *In: Guia de apresentação*: Meio Ambiente; Controle de Qualidade; Tratamento da Água e Sistema de Produção de Água. Belo Horizonte: COPASA, 2001. 01 CD ROM.
- Davis, Elizabeth G.; Pinto, Eber J. A.; Pinto, Magda C. F. Hidrologia. *In: Projeto APA Sul RMBH Estudos do Meio Físico*: área de proteção ambiental da região metropolitana de Belo Horizonte. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005.v.9.
- Grandcamp, César A. P. Estudo de recuperação do Aquífero Cauê e do enchimento da cava na Mina de Águas Claras, Serra do Curral, município de Nova Lima, MG. 2003. 148p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2003.
- Medina, Antônio I. de M.; Dantas, Marcelo E.; Saadi, Allaoua. Geomorfologia. *In: Projeto APA Sul RMBH Estudos do Meio Físico*: área de proteção ambiental da região metropolitana de Belo Horizonte. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005.v.6.
- MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda. **Relatório de controle ambiental e plano de controle ambiental do rebaixamento do nível d'água da Mina do Tamanduá**. Belo Horizonte: MBR, 1999b. 51p. (Inclui mapa de pontos/Relatório Interno).
- MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda. **Relatório do modelo numérico de simulação do fluxo d'água subterrânea da Mina de Águas Claras e Adjacências**. Rel-MBR-MAC-001/01. Belo Horizonte: MBR, Jun/2001. 30p. (Relatório interno).
- Neves, Ana C.; Bertachini, Antônio C. Modelo hidrogeológico conceitual e matemático, mineração Casa de Pedra, Congonhas - MG. *In: CONG. BRAS. DE GEOL.*, 42, 2004, Araxá. **Anais...** Belo Horizonte: SBG-MG, 2004. 1 CD-ROM.
- Rebouças, Aldo da C. Sistema aquífero Botucatu no Brasil. *In: CONG. BRAS. de AGUAS SUBTERRÂNEAS*, 8, Recife, 1984. **Anais...** Recife, ABAS/DNPM/CPRM, 1984. P. 500-509.
- Ribeiro, Diniz T. **Enriquecimento supergênico de formações ferríferas bandadas**: estruturas de colapso e desordem. 2003. 123p. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- Saadi, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais** (tensões intraplaca, descontinuidades crustais e morfogênese). 1991. 285p. Tese (submetida para obtenção de vaga de Professor Titular). Inst. de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1991.
- Silva, Adalene M. Geologia e petroquímica dos enxames de diques máficos do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional, MG. 1992. 117p. Dissertação (Mestrado) Inst. de Geociências, UNB, Brasília, 1992.
- Silva, Adelbani B. da; Sobreiro Neto, Agostinho F.; Bertachini, Antônio C. Potencial das águas subterrâneas no Quadrilátero Ferrífero. *In: CONG. BRAS. de AGUAS SUBTERRÂNEAS*, 8, Recife, 1994. **Anais...** Recife: ABAS/DNPM/CPRM, 1994. p.264-283.
- Silva, Sérgio L. da. (Org.); Monteiro, Eduardo A.; Baltazar, Orivaldo F. Geologia. *In: Projeto Apa Sul RMBH Estudos do Meio Físico*. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005. v.1.
- Souza, Sérgio M .T. de (Ed.) **Disponibilidades hídricas subterrâneas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: HIDROSISTEMAS/COPASA, 1995. 525p. il.
- Varajão, C. A. C. A Questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geologia**, São Paulo, v.21, n.2, p. 138-145. 1991.