



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

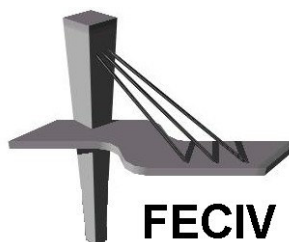
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

n.º 034

**EXPLOTAÇÃO E USO DO AQÜÍFERO GUARANI
NO TRIÂNGULO MINEIRO –
ESTUDO DE CASO: Cachoeira Dourada**

ANAMARIA MOYA RODRIGUES

UBERLÂNDIA, 14 DE SETEMBRO DE 2007



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Anamaria Moya Rodrigues

**EXPLOTAÇÃO E USO DO AQÜÍFERO GUARANI
NO TRIÂNGULO MINEIRO –
ESTUDO DE CASO: Cachoeira Dourada**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia Urbana

Orientador: Prof. Dr. Luiz Nishiyama

Uberlândia, 14 de setembro de 2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- R696e Rodrigues, Anamaria Moya, 1964-
 Exploração e uso do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro - estudo
 de caso: Cachoeira Dourada / Anamaria Moya Rodrigues. - 2007.
 190 f. : il.
- Orientador: Luiz Nishiyama.
 Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
 Inclui bibliografia.
1. Aquíferos - Triângulo Mineiro - Teses. 2. Águas subterrâneas - Triângulo Mineiro - Teses. I. Nishiyama., Luiz. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 556.33(815.1)



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ATA Nº: 034/2007

CANDIDATA: Anamaria Moya Rodrigues

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Nishiyama

TÍTULO: "Exploração e uso do aquífero Guarani no Triângulo Mineiro – estudo de caso:
Cachoeira Dourada"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Infra-estrutura Urbana

DATA DA DEFESA: 14 de setembro de 2007

LOCAL: Sala de Reuniões da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 15:00 - 18:00h

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que a candidata foi:

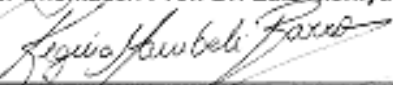
☒ APROVADA

() REPROVADA

OBS:

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:


Professor Orientador: Prof. Dr. Luiz Nishiyama – IGUFU/UFU


Membro externo: Prof.ª Dr.ª Regina Mambeli Barros – UNIFEI


Membro: Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho – FECIV/UFU

Uberlândia, 14 de setembro de 2007.

À minha família, aos meus filhos Gustavo e Tiago, pela compreensão e ajuda, e ao Reginaldo que compartilhou e possibilitou a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amigos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Nishiyama, pela compreensão e incentivo quanto à relevância do tema estudado.

Ao professor Prof. Dr. José Alamy Filho, pela sabedoria e pelas idéias.

À Universidade Federal de Uberlândia, em particular à Faculdade de Engenharia Civil, onde, na vivência com professores, funcionários e colegas, fui feliz.

O rio

*Uma gota de chuva
A mais, e o ventre grávido
Estremeceu, da terra.
Através de antigos
Sedimentos, rochas
Ignoradas, ouro
Carvão, ferro e mármore
Um fio cristalino
Distante milênios
Partiu fragilmente
Sequioso de espaço
Em busca de luz.*

Um rio nasceu.

(VINÍCIUS DE MORAES, 1960)

Rodrigues, A. M. **Exploração e uso do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro – Estudo de caso: Cachoeira Dourada**. 2007. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

RESUMO

O estudo do Aquífero Guarani, de sua exploração e uso, bem como de suas potencialidades na região do Triângulo Mineiro, considerando a realidade em que as informações acerca das águas subterrâneas no país são escassas e dispersas, constituiu o principal foco desta Pesquisa. O estudo de caso em Cachoeira Dourada, com nove poços tubulares profundos, e os demais seis poços, três localizados em Uberaba, dois em Conceição das Alagoas e um em Frutal, totalizam os quinze poços identificados neste trabalho e trazem uma compreensão sistemática do que existe, presentemente, acerca dessas águas exploradas no contexto regional delimitado. Entre as diversas aplicações possíveis, foi reconhecido o emprego para abastecimento público, envase, balneabilidade, hidrotermoterapia e, além disso, aproveitamento em lazer privativo. As características hidrogeoquímicas e termais, aliadas às especificidades dessas águas, direcionaram suas aplicações. No entanto, o aparente fator adverso de qualidade, devido ao alto teor de sais apresentado, transformou-se em um atrativo turístico e contribuiu para a exploração em Cachoeira Dourada, assim como a excelência na qualidade levou à utilização para consumo humano em Uberaba, em Conceição das Alagoas e em Frutal. A estimativa do volume da água armazenada nos arenitos do Aquífero Guarani e a simulação de uso da energia geotérmica demonstrada, além da apresentação do conjunto dos resultados, incorporam relevantes informações para um maior conhecimento acerca do Aquífero Guarani na região do Triângulo Mineiro.

PALAVRAS-CHAVE: Aquífero Guarani. Água subterrânea. Exploração e uso. Triângulo Mineiro.

Rodrigues, A. M. **Exploitation and use of Guarani Aquifer in the Triângulo Mineiro – Study of case: Cachoeira Dourada**. 2007. 188 pp. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2007.

ABSTRACT

The Guarani Aquifer's study, of its exploitation and use, as its potentialities in the Triângulo Mineiro region, considering the reality that the information about underground waters in the country are scarce and disperse, it constitutes the main focus of this research. The study of case in Cachoeira Dourada, with nine deep tubular wells, and the others six ones, three ones sited in Uberaba, two in Conceição das Alagoas and one in Frutal, totalizing the fifteen tubular well identified in this work, bringing a systematic comprehension of what exist presently, about these exploited waters in the regional delimited context. Between several possible applications, were recognized the use to public supplying, envase, health-resort, hydro-thermotherapy and utilization in the private leisure. The hydro-geochemistry and thermal features, allied at characteristic of these waters, had directed their uses. Nevertheless, the apparent adverse factor of quality, due to high content of salts presented, it became in an attractive tourist, contributing for the exploitation in Cachoeira Dourada, as well as the excellence in the quality it led to the use to human consumption in Uberaba, Conceição das Alagoas and Frutal. The stored water volume estimative in the sandstones of the Guarani Aquifer and the use of geothermic energy simulation demonstrated, beyond of the presentation set's results, incorporated suitable information to major understanding of Guarani Aquifer in the Triângulo Mineiro region.

KEYWORDS: Aquifer Guarani. Underground water. Exploitation and use. Triângulo Mineiro.

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS

$\dot{m}_q$	vazão em massa do fluido quente [MT ⁻¹]
$\dot{m}_f$	vazão em massa do fluido frio [MT ⁻¹]
ΔT_m	diferença de temperaturas média apropriada [θ]
ΔT_{lm}	média logarítmica da diferença de temperatura [θ]
"	polegada [L]
%	porcentagem
°C	grau Celsius [θ]
°C/km	grau Celsius por quilômetro [θL ⁻¹]
°C/m	grau Celsius por metro [θL ⁻¹]
A	área da superfície de transferência de calor no trocador de calor [L ²]
Bq/L	bécquerel por litro
cm	centímetro [L]
cm/dia	centímetro por dia [LT ⁻¹]
$c_{p,f}$	calor específico do fluido frio [L ² T ⁻² θ ⁻¹]
$c_{p,q}$	calor específico do fluido quente [L ² T ⁻² θ ⁻¹]
d	dia [T]
D	descarga dos rios
dil	<i>dual induction log</i>
E	escoamento superficial
ET _p	evapotranspiração
F	fator de correção adimensional

h	hora [T]
h/dia	hora por dia [$T T^{-1}$]
I	teor de umidade
J	joule [$M L^2 T^{-2}$]
J/(kg.K)	joule por quilograma e por kelvin [$M L^2 T^{-2} \theta^{-1}$]
K	kelvin [θ]
kg	quilograma [M]
kg/m ³	quilograma por metro cúbico [$M L^{-3}$]
kg/s	quilograma por segundo [$M T^{-1}$]
km	quilômetro [L]
km ²	quilômetro quadrado [L^2]
km ³ /ano	quilômetro cúbico por ano [$L^3 T^{-1}$]
L/(dia. hab)	litro por dia e por habitante
L/s	litro por segundo [$L^3 T^{-1}$]
m	metro [L]
m/dia	metro por dia [$L T^{-1}$]
m ²	metro quadrado [L^2]
m ³	metro cúbico [L^3]
m ³ /h	metro cúbico por hora [$L^3 T^{-1}$]
m ³ /mês	metro cúbico por mês [$L^3 T^{-1}$]
mache	unidade de radioatividade
mg	miligrama [M]
mg/L	miligrama por litro [$M L^{-3}$]
ml	mililitro [L^3]
mm	milímetro [L]
mm de Hg	milímetro de mercúrio
nCi/L	curie por litro
P	precipitação
P	profundidade do topo do aquífero
pH	potencial hidrogeniônico
q	taxa de transferência de calor [$M L^2 T^{-3}$]
Q ^{7,10}	vazão mínima de sete dias de duração e com período de retorno de 10 anos [$L^3 T^{-1}$]

T	temperatura mensurada na fonte [θ]
$T_{f,e}$	temperatura de entrada do fluido frio [θ]
$T_{f,s}$	temperatura de saída do fluido frio [θ]
$T_{q,e}$	temperatura de entrada do fluido quente [θ]
$T_{q,s}$	temperatura de saída do fluido quente [θ]
U	coeficiente global de transferência de calor [$M T^{-3} \theta^{-1}$]
u Hazen	unidade de Hazen
US\$	valor em dólar
UA	coeficiente global de transferência de calor por unidade de área [$ML^2 T^{-3} \theta^{-1}$]
uT	unidade de turbidez
W	watt [$ML^2 T^{-3}$]
$W/(m^2.K)$	watt por metro quadrado e por kelvin [$MT^{-3} \theta^{-1}$]
W/K	watt por kelvin [$ML^2 T^{-3} \theta^{-1}$]
ΔT_f	diferença de temperatura do fluido frio [θ]
ΔT_q	diferença de temperatura do fluido quente [θ]
$\mu S/cm$	micro Siemens por centímetro
ρ_f	massa específica do fluido frio [ML^{-3}]
ρ_q	massa específica do fluido quente [ML^{-3}]

ABREVIATURAS

FCE	Formulário de Caracterização de Empreendimento
m.a.	milhões de anos
Nº UFC	Número de Unidades Formadoras de Colônias
ppm	parte por milhão
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
VMP	Valor Máximo Permitido

SIGLAS

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMVAP	Associação dos Municípios da Microrregião do Vale do Paranaíba
ANA	Agência Nacional de Águas
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CDTN	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CISAM	Conselho Intermunicipal de Saneamento Ambiental
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CODAU	Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GD7	Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande
GD8	Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IGM	Instituto Geológico e Mineiro
IHP	<i>International Hydrological Programme</i>
LAMIN	Laboratório de Análises Minerais
MG	Minas Gerais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OEA	Organização dos Estados Americanos

PEC	Proposta de Emenda à Constituição
PN1	Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Dourados
PN2	Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Araguari
PN3	Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SBPC	Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

LISTAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Mapa da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	30
Figura 2-2: Mapa da localização dos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	31
Figura 3-1: Distribuição das águas na Terra em um dado instante	33
Figura 3-2: O ciclo hidrológico e o volume de água em circulação na Terra em um dado instante	34
Figura 3-3: Zona não saturada, zona saturada e nível de água	36
Figura 3-4: Tipos de aquíferos quanto à pressão da água	38
Figura 3-5: Tipos de aquíferos quanto à porosidade.....	39
Figura 3-6: Aquífero transfronteiriço	40
Figura 3-7: O Aquífero Guarani na América do Sul	53
Figura 3-8: Distribuição da área do Aquífero Guarani nos países de sua abrangência.....	54
Figura 3-9: Área de abrangência do Aquífero Guarani no Brasil.....	55
Figura 3-10: Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani.....	56
Figura 3-11: Carta estratigráfica da bacia do Paraná.....	61
Figura 3-12: Arenito Botucatu, coloração avermelhada e arenito Pirambóia, coloração vermelho-esbranquiçado	63
Figura 3-13: Arenitos Botucatu e Pirambóia recobertos por basaltos da formação Serra Geral na Cuesta de Botucatu	64
Figura 3-14: Amostras de basalto da formação Serra Geral, dos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia, respectivamente, identificados na Cuesta de Botucatu, zona de afloramento e de recarga do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo	65
Figura 3-15: Seções geológicas representando o Aquífero Guarani.....	66
Figura 3-16: Exemplo esquemático de compartimentação local no Sistema Aquífero Guarani e de poço profundo explorador nesse bloco individualizado	71
Figura 4-1: Localização de 930 poços exploradores do SAG de acordo com o Relatório Final do <i>Uso atual e potencial do Aquífero Guarani</i> publicado em 2001	76
Figura 4-2: Comitês de Bacias Hidrográficas em Minas Gerais.....	80
Figura 4-3: Mapa da localização dos poços exploradores do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro	

identificados nesta Pesquisa	82
Figura 4-4: Esquema de poços exploradores do Aquífero Guarani quanto ao artesianismo.....	85
Figura 4-5: Foto do conjunto elevatório do poço R6 (a) e foto (b) da torre para manutenção	92
Figura 4-6: Características construtivas e hidrogeológicas do poço R6	94
Figura 4-7: Fotos do conjunto elevatório do poço R10	97
Figura 4-8: Foto (a) instalação do conjunto elevatório do poço R11 e foto (b) conjunto elevatório, torre de manutenção e o centro de reservação R11	99
Figura 4-9: Municípios do Triângulo Mineiro sob atuação da COPASA.....	100
Figura 4-10: Mapa dos aquíferos explorados nas áreas de atuação da COPASA no Triângulo Mineiro.....	101
Figura 4-11: Características construtivas e hidrogeológicas do poço Frutal	104
Figura 4-12: Fotos do poço Frutal	107
Figura 4-13: Foto área do Ubatã Termas Parque Hotel Ltda.....	109
Figura 4-14: Vista aérea da cidade de Cachoeira Dourada.....	111
Figura 4-15: Uso da água subterrânea do Aquífero Guarani em Cachoeira Dourada.....	112
Figura 4-16: Foto (a) utilização da água explorada do Aquífero guarani em cachoeira Dourada, e foto (b), no detalhe, sal residual após evaporação da água respingada.....	113
Figura 4-17: Exploração do Aquífero Guarani em Cachoeira Dourada.....	131
Figura 4-18: Características construtivas dos poços tubulares profundos em Cachoeira Dourada.....	133
Figura 4-19: Mapa esquemático do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	137
Figura 4-20: Mapa esquemático Aquífero Guarani nos municípios do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	139
Figura 4-21: Mapa Sistema Aquífero Guarani – mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	141
Figura 4-22: Mapa de linhas de iso-estrutura de topo do SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	143
Figura 4-23: Mapa de linhas de isotermas do SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	144
Figura 4-24: Mapa de linhas de iso-espessura de rochas sobrejacentes ao SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.....	145
Figura 4-25: Mapa de linhas de iso-espessura do SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	146
Figura 4-26: Mapa de linhas de iso-espessura do SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba em projeção UTM	148
Figura 4-27: Mapa de curvas de iso-espessura interpoladas para o Aquífero Guarani na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	150
Figura 4-28: Gráfico da estimativa do volume de água armazenada no Aquífero Guarani nos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	157
Figura 5-1: Uso das águas do Aquífero Guarani no Brasil.....	164
Figura 5-2: Esquema do fluxo no trocador de calor casco e tubo – com um passe no casco e um número par de passes nos tubos.....	166
Figura 5-3: Distribuições de temperaturas para trocador de calor de correntes contrárias	170

Figura 5-4: Fator de correção F para trocador de calor casco e tubo – com um casco e um número de passes, múltiplo de dois, nos tubos	171
Figura 5-5: Temperatura da água pré-aquecida em função do número de aparelhos de chuveiros abastecidos simultaneamente	175
Figura 5-6: Economia de energia em relação ao número de chuveiros com funcionamento simultâneo tanto em um trocador de calor de passagem quanto em um de acumulação	176

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1: Área e população nos países de abrangência do Aquífero Guarani.....	57
Tabela 3-2: Área e população nos Estados brasileiros de abrangência do Aquífero Guarani	58
Tabela 4-1: Estimativa de volume de água armazenada no Aquífero Guarani nos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	153

LISTA DE QUADROS

Quadro 3-1: Aquíferos no mundo.....	37
Quadro 3-2: Descrições das formações Pirambóia e Botucatu.....	60
Quadro 3-3: Coluna estratigráfica da bacia do Paraná.	62
Quadro 3-4: Estimativas volumétricas de reserva permanente, reserva ativa e potencial e potencial explotável para o Aquífero Guarani.....	69
Quadro 4-1: Poços explotadores do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro	81
Quadro 4-2: Dados dos poços explotadores	86
Quadro 4-3: Dados dos poços explotadores – complementação do Quadro 4-2	87
Quadro 4-4: Características construtivas do poço R6.....	96
Quadro 4-5: Características construtivas e hidrogeológicas do poço Frutal.....	105
Quadro 4-6: Dados das análises químicas, físico-químicas e microbiológicas dos poços P1, P2, P3, P4 e Padrão Referência constante na Portaria 518/04	116
Quadro 4-7: Resíduo de evaporação calculado a 180°C.....	119
Quadro 4-8: Isótopos ambientais comumente utilizados.....	128
Quadro 4-9: Análises isotópicas e custos financeiros.....	129
Quadro 4-10: Estratigrafia dos poços de Cachoeira Dourada.....	135
Quadro 5-1: Gradiente geotérmico em Cachoeira Dourada	161
Quadro 5-2: Valores dos parâmetros envolvidos, adotados e calculados	173

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	21
Introdução.....	21
1.1 Considerações iniciais	21
1.2 Objetivos	24
1.3 Justificativa.....	24
1.4 Estrutura do trabalho	25
 CAPÍTULO 2	 27
Metodologia.....	27
 CAPÍTULO 3	 32
Referencial Teórico da Pesquisa	32
3.1 As águas	32
3.2 As águas subterrâneas	35
3.3 Os aquíferos.....	36
3.3.1 Tipos de aquíferos quanto à pressão da água.....	37
3.3.2 Tipos de aquíferos quanto à porosidade	38
3.3.3 Aquífero transfronteiriço	40
3.4 Arcabouço institucional e legal vigente acerca das águas subterrâneas	41
3.4.1 As águas subterrâneas, a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Plano Nacional de Recursos Hídricos	41
3.4.2 Dominialidade das águas subterrâneas	44
3.4.3 As águas subterrâneas no Código de Águas Minerais de 1945	48
3.4.4 Outorga de direito de uso das águas subterrâneas	49
3.5 Aquífero Guarani.....	51
3.5.1 Denominação	51
3.5.2 Localização, área de abrangência e população sobrejacente	52
3.5.3 Características geológicas.....	58
3.5.4 Arcabouço hidrogeológico.....	67

3.5.5	Especificidades hidrogeológicas.....	70
3.5.6	Uso e potencial geotérmico	71
CAPÍTULO 4		74
Apresentação dos Resultados		74
4.1	Área de abrangência da Pesquisa	74
4.2	Resultados da Pesquisa exploratória	77
4.3	Aquífero Guarani e os municípios do Triângulo Mineiro exploradores por meio de poços tubulares profundos.	83
4.4	Cenário de uso atual das águas do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro	88
4.4.1	Uberaba.....	88
4.4.2	Frutal	99
4.4.3	Conceição das Alagoas.....	108
4.4.4	Cachoeira Dourada	110
4.5	Panorama do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro	136
4.5.1	Mapa apresentado no Workshop Aquífero Guarani: Potencialidades para o Estado de Minas Gerais 136	
4.5.2	Mapa do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani – Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.....	140
4.5.3	Mapas adaptados de Araújo, França e Potter (1995)	142
4.6	Estimativa de volume da água subterrânea armazenada no Aquífero Guarani nos municípios do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	147
CAPÍTULO 5		159
Estudo de Caso: Cachoeira Dourada.....		159
5.1	Relação entre temperatura e profundidade do poço explorador e cálculo do gradiente geotérmico médio local	159
5.2	Uso do hidrotermalismo do Aquífero Guarani como alternativa energética para pré-aquecimento de água 163	
CAPÍTULO 6		177
Considerações Finais		177
REFERÊNCIAS.....		182

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Neste Capítulo, apresenta-se o tema *exploração e uso do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro* e evidencia-se a relevância das águas subterrâneas nesse contexto. Em seguida, discriminam-se os objetivos e a justificativa para o desenvolvimento desta Dissertação de Mestrado, bem como sua estruturação dividida em Capítulos.

As águas subterrâneas são fundamentais e, muitas vezes, indispensáveis para o desenvolvimento social e econômico de um país. Representando aproximadamente 95% do volume de toda a água líquida e doce disponível no planeta, os reservatórios subterrâneos são utilizados por mais de dois bilhões de pessoas, de um total estimado em 6,5 bilhões de habitantes no mundo. Estima-se que esses mananciais supram a necessidade de 35 a 40% da população brasileira e agreguem valor a um grande número de produtos duráveis e bens de consumo. Em vista da possível carência do recurso natural água, as reservas subterrâneas são estratégicas para as próximas décadas. As águas dessas reservas subsuperficiais têm posição de destaque na avaliação da sustentabilidade das sociedades no futuro e a necessidade de gerenciamento configura-se à medida que a demanda por esse recurso natural evolui.

A grande disponibilidade hídrica, a geralmente excelente qualidade química natural, a menor susceptibilidade a longos períodos de seca, o custo de obtenção e a menor vulnerabilidade à contaminação antrópica em comparação a outras fontes de água, contribuem para o crescente uso das águas subterrâneas no abastecimento no Brasil e no mundo. Uma evidência dessa importância é o Estado de São Paulo, que possui 70% dos

núcleos urbanos total ou parcialmente abastecidos por águas subterrâneas, totalizando 34% da população paulista (HIRATA, 2003, p. 430).

A notoriedade alcançada como fonte de aproveitamento no abastecimento público, nas atividades industriais e agropecuárias, no engarrafamento de águas minerais e de mesa e no turismo hidrotermal, vem despertando a sociedade para o controle e a adequada administração para o uso sustentável das reservas subterrâneas.

Para apresentar um panorama das águas subterrâneas deve-se levar em consideração o arcabouço institucional e legal brasileiro, o qual reflete como as águas são percebidas e assimiladas nesse ambiente técnico-jurídico. Em benefício das atuais e futuras gerações torna-se fundamental esse entendimento jurídico para a gestão, proteção e exploração dos aquíferos.

O governo do Brasil assumiu, em 2002, compromissos com o Plano de Implementação da Cúpula Mundial em relação ao Desenvolvimento Sustentável. Essa Cúpula, sediada em Johannesburgo, África do Sul, foi realizada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO, agência responsável pelo desenvolvimento das bases científicas e éticas capazes de assegurar água para o conjunto da humanidade. O Brasil firmou, como uma das metas a cumprir acordada na referida Cúpula, a elaboração de planos de gestão integrada dos recursos hídricos e aproveitamento eficiente da água. Para endossar esse acordo com a UNESCO, o governo brasileiro elaborou o Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH.

O PNRH ratifica, dentre outros itens, a dominialidade pública da águas, seus usos múltiplos, seu valor econômico, a bacia hidrográfica como unidade territorial para implantação da política, a descentralização e a participação social no processo de gestão. O Plano destaca a realidade das informações acerca da qualidade das águas subterrâneas no país como dispersa e escassa e que há carência de estudos sistemáticos em relação aos aquíferos, principalmente em enquadramentos regionais.

O Aquífero Guarani ganha relevância no contexto das águas subterrâneas em função da sua grande área de abrangência – 1,2 milhões de km² – que se estende nos territórios do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, em área equivalente à soma dos territórios da Inglaterra, França e Espanha.

As águas do Aquífero Guarani devem ser consideradas um recurso nobre, tanto por sua área de ocorrência quanto devido ao padrão de qualidade apresentado. Em função das altas temperaturas, as águas desse reservatório promovem o hidroturismo. Araújo, França e Potter (1995) apontam que, localmente, observa-se áreas com anomalias positivas e negativas de gradiente geotérmico e que, na região de Cachoeira Dourada, verifica-se um aumento do gradiente para $55^{\circ}\text{C}/\text{km}$, ou seja, de $1^{\circ}\text{C}/18\text{m}$. Segundo esses autores, a média para o Aquífero Guarani é de $29^{\circ}\text{C}/\text{km}$, ou seja, de $1^{\circ}\text{C}/34\text{m}$, o que estimula um uso potencial diferenciado das águas na referida cidade.

Este trabalho, ao abordar um estudo regional do Aquífero Guarani, entra em conformidade com o PNRH e colabora para minimizar a carência de informações acerca deste no Triângulo Mineiro. O trabalho visa a disponibilizar informações que possam ser úteis ao desenvolvimento de estratégias de gerenciamento e monitoramento, bem como tem o propósito de ampliar a percepção ambiental do Aquífero Guarani, presente em grande parte no subsolo da área demarcada para este estudo.

Nesse contexto, o objetivo primordial desta Pesquisa é contribuir para um maior conhecimento acerca do Aquífero Guarani, de seu uso e exploração, bem como de suas potencialidades. A região do Triângulo Mineiro, selecionada para a concentração dos estudos desta Dissertação, situa-se geograficamente em uma região que, historicamente, excetuando-se as cidades de Uberaba e Frutal, não tem dados publicados relativos ao uso e à exploração do Aquífero Guarani. O compartilhamento de resultados dos 15 poços tubulares profundos, identificados e descritos no presente trabalho, agrega conhecimentos acerca desse Aquífero.

O Estudo de Caso, considerando oito poços exploradores, com características hidrominerais diferenciadas, transforma a cidade de Cachoeira Dourada em um campo de pesquisa interessante e expressivo.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta Pesquisa é contribuir para um maior conhecimento acerca do Aquífero Guarani, de seu uso e exploração, bem como de suas potencialidades na região do Triângulo Mineiro, Minas Gerais.

Os objetivos específicos, discriminados a seguir, definem essa contribuição:

- Delimitar a área de abrangência do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro e em parte do Alto Paranaíba, por meio da apresentação de mapas de ocorrência dos arenitos, bem como elaborar procedimento para estimativa das espessuras desses arenitos e, conseqüentemente, avaliar os volumes de água armazenada subjacente às áreas superficiais dos municípios dessa região.
- Identificar e descrever os usos dos poços tubulares profundos exploradores do Aquífero Guarani na área delimitada para a Pesquisa e definir a dominialidade das águas subterrâneas produzidas.
- Calcular, com os resultados obtidos no Estudo de Caso realizado na cidade de Cachoeira Dourada, o gradiente geotérmico médio local.
- Apresentar um estudo, por meio de uma simulação de uso do hidrotermalismo, para pré-aquecimento de água, tendo como referência a exploração do Aquífero Guarani na cidade de Cachoeira Dourada.

1.3 Justificativa

A relevância deste trabalho está no estudo mais detalhado, na pesquisa de informações inéditas e na disponibilização dos conhecimentos levantados e ordenados para um maior conhecimento acerca do Aquífero Guarani na área delimitada.

Um dos resultados a ser obtido com a realização desta Dissertação de Mestrado é a delimitação da área de ocorrência do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro e em parte do

Alto Paranaíba – entrelaçando localização, identificação e descrição dos usos dos poços tubulares profundos exploradores desse Aquífero na região demarcada.

O cálculo da estimativa das espessuras dos arenitos reservatórios do Aquífero Guarani e posterior apreciação dos volumes de água armazenada, como um dos objetivos específicos dessa Pesquisa, pode ser mais uma ferramenta para auxiliar o planejamento de seu uso, além de ampliar a percepção ambiental do Aquífero Guarani, presente em grande parte no subsolo da área demarcada para esta estimativa.

O Estudo de Caso e a avaliação dos dados levantados, em relação à temperatura da água explotada, tornam-se essenciais para apreciar as potencialidades dos poços tubulares profundos na cidade de Cachoeira Dourada e possibilitam o cálculo do gradiente geotérmico médio local.

Também no Estudo de Caso, a simulação de uso da água do Aquífero Guarani para pré-aquecimento de água superficial traz a contribuição do aproveitamento do hidrotermalismo como fonte alternativa de energia. Essa simulação torna-se interessante quando o uso direto da água explotada, devido ao alto teor de sais minerais presente em sua composição hidrogeoquímica, é inviabilizado. E demonstra como o hidrotermalismo pode colaborar para a redução do consumo de outras fontes energéticas, sem comprometer o conforto térmico na balneabilidade, além de viabilizar o uso múltiplo das águas desse Aquífero.

Este trabalho visa a suprir a falta de informações e estudos a respeito do Aquífero Guarani em uma escala regional – o Triângulo Mineiro – propondo-se a inserir representantes da região, abastecidos com um conjunto de conhecimentos relevantes, nas discussões relativas ao mesmo.

1.4 Estrutura do trabalho

Esta Dissertação está estruturada em Capítulos organizados da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução: apresenta as considerações iniciais, situa o tema abordado e inclui as águas subterrâneas nesse contexto. Insere os objetivos, a justificativa para o desenvolvimento do trabalho.

Capítulo 2 – Metodologia: detalha a metodologia utilizada para atingir tanto os objetivos propostos quanto os resultados apresentados.

Capítulo 3 – Referencial Teórico da Pesquisa: compreende a revisão de conceitos e pesquisas realizadas, procedimentos considerados relevantes para a contextualização do tema da Dissertação. Apresenta informações acerca do Aquífero Guarani e a síntese dos conteúdos da Pesquisa teórica.

Capítulo 4 – Apresentação de Resultados: mostra os resultados do estudo teórico e da Pesquisa exploratória, apresenta os mapas, tabelas e quadros elaborados, além de exibir perfis e fotografias dos poços tubulares profundos exploradores do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro.

Capítulo 5 – Estudo de Caso: Cachoeira Dourada: traz o cálculo do gradiente geotérmico médio para a cidade, obtido segundo os resultados da Pesquisa exploratória em relação à temperatura média das águas exploradas e ao perfil estratigráfico médio dos poços tubulares profundos perfurados. Demonstra, por meio de uma simulação, um estudo da utilização das águas do Aquífero Guarani para pré-aquecimento de água superficial. Essa simulação de utilização torna-se interessante quando o uso direto da água explorada é inviabilizado, em função do alto teor de sais presente em sua composição hidrogeoquímica, e demonstra como o hidrotermalismo pode contribuir como fonte alternativa de energia.

Capítulo 6 – Considerações Finais: apresenta conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Referências – indica, em ordem alfabética, os documentos citados na Dissertação.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

Neste Capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento da Pesquisa.

Foram executados dois tipos de Pesquisa – **teórica** e **exploratória** – para alcançar os objetivos propostos e a obtenção de resultados consistentes.

Pesquisa teórica:

Envolveu levantamentos dos conceitos e estudos que abrangem o Aquífero Guarani. O Referencial Teórico da Pesquisa abordou aspectos geográficos, geológicos e hidrogeológicos locais e regionais, dominialidades das águas subterrâneas em questão, formas de outorga de direito de uso para a exploração e os usos tanto para as águas explotadas quanto para o hidrotermalismo. A busca de conhecimentos acerca do assunto abrangeu pesquisas em artigos publicados, dissertações, teses, livros, sítios da internet, dentre outros.

Pesquisa exploratória:

Possibilitou a descoberta de informações relevantes à Dissertação por meio de pesquisa de campo, entrevistas e questionamentos *in loco*. Primeiramente, foi elaborado um levantamento das localidades nas quais há, efetivamente, poços explotadores. Isso foi conseguido por meio de contatos e investigações na Associação dos Municípios da Microrregião do Vale do Paranaíba – AMVAP, no Conselho Intermunicipal de Saneamento Ambiental – CISAM, ambos com sede em Uberlândia, e nos Comitês de Bacias Hidrográficas – CBHs presentes no Triângulo Mineiro.

Foram consultados órgãos públicos como o Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, a Companhia de

Saneamento de Minas Gerais – COPASA e Secretarias Municipais de Água e Esgoto. Ressalta-se que todos os municípios da área de abrangência da Pesquisa foram investigados.

Houve a necessidade de visita técnica aos locais reconhecidos como exploradores do Aquífero Guarani, pois muitas das informações foram obtidas por meio de entrevistas com os proprietários ou responsáveis dos poços tubulares profundos, bem como diretamente com seus perfuradores. O objetivo acadêmico da Pesquisa foi explicado nesses encontros.

Para cada poço tubular profundo foram levantados dados, quando disponíveis, acerca dos procedimentos de perfuração, dos perfis litológicos e construtivos, dos equipamentos instalados, da vazão explorada, da profundidade, da temperatura da fonte, dentre outros.

A principal fonte de informação para o reconhecimento do Aquífero Guarani constitui-se de estudos geológicos e hidrogeológicos e de prospecção mecânica. Como a exploração realiza-se por meio de perfuração de poços tubulares profundos, os custos financeiros inviabilizariam o Estudo de Caso, caso não houvesse dados e informações disponibilizados pela Mineração Sal Nascente Ltda., em quantidade e qualidade satisfatórias.

A área delimitada para o estudo, nesta Dissertação de Mestrado, é a região do Triângulo Mineiro. Em função da grande extensão territorial da mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba a área representativa do Alto Paranaíba não foi inserida. Para exequibilidade da Dissertação e obtenção de resultados relevantes e consistentes foi necessária a delimitação do espaço físico para a realização da Pesquisa. Cita-se que, mesmo ao se restringir a área de estudo para a região do Triângulo Mineiro, ainda se estudou a área principal, em termos de ocorrência do Aquífero Guarani, em Minas Gerais.

O Triângulo Mineiro insere-se, de acordo com o mapa de divisões territoriais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba no Estado de Minas Gerais.

A mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba é assim dividida (IBGE, 2006b):

- Triângulo Mineiro, com quatro microrregiões: Uberlândia, Uberaba, Ituiutaba e Frutal. Engloba 35 municípios e ocupa uma área total de 53.717,748 km², com uma população de 1.404.150 habitantes.
- Alto Paranaíba, com três microrregiões: Araxá, Patos de Minas e Patrocínio. Abrange 31 municípios com área total de 36.824,31 km² e população de 637.553 habitantes.

Os mapas apresentados por meio da Figura 2-1 e da Figura 2-2 ilustram a localização da área pesquisada neste trabalho e definida nesta metodologia.

A Figura 2-1 representa a localização da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, na porção oeste do Estado de Minas Gerais, bem como as microrregiões componentes e mesorregiões limítrofes.

O mapa da Figura 2-2 completa o mapa da Figura 2-1 e mostra a localização dos municípios integrantes dessa mesorregião.

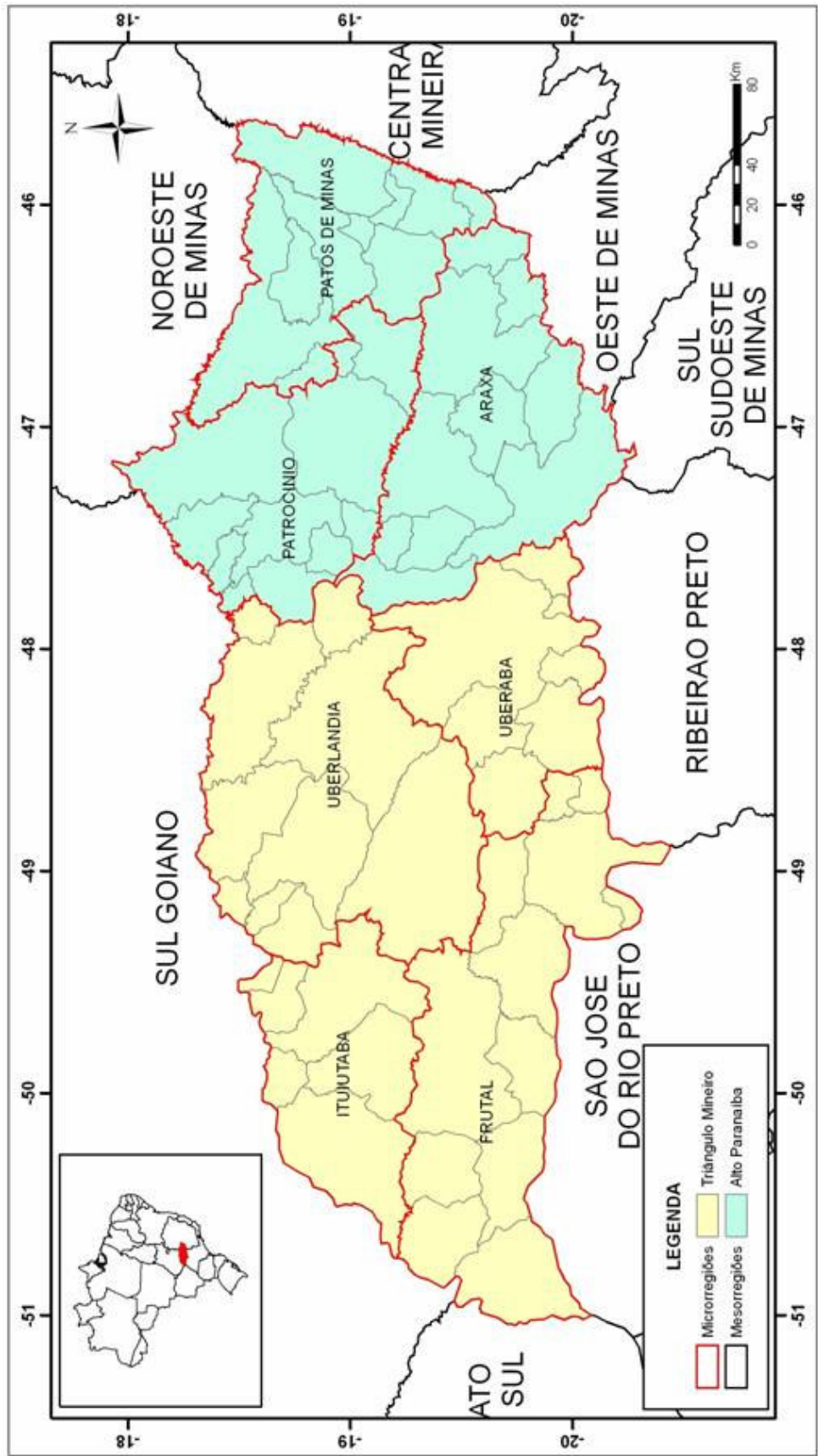


Figura 2-1: Mapa da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba
Fonte: Modificado de IBGE (2006b)

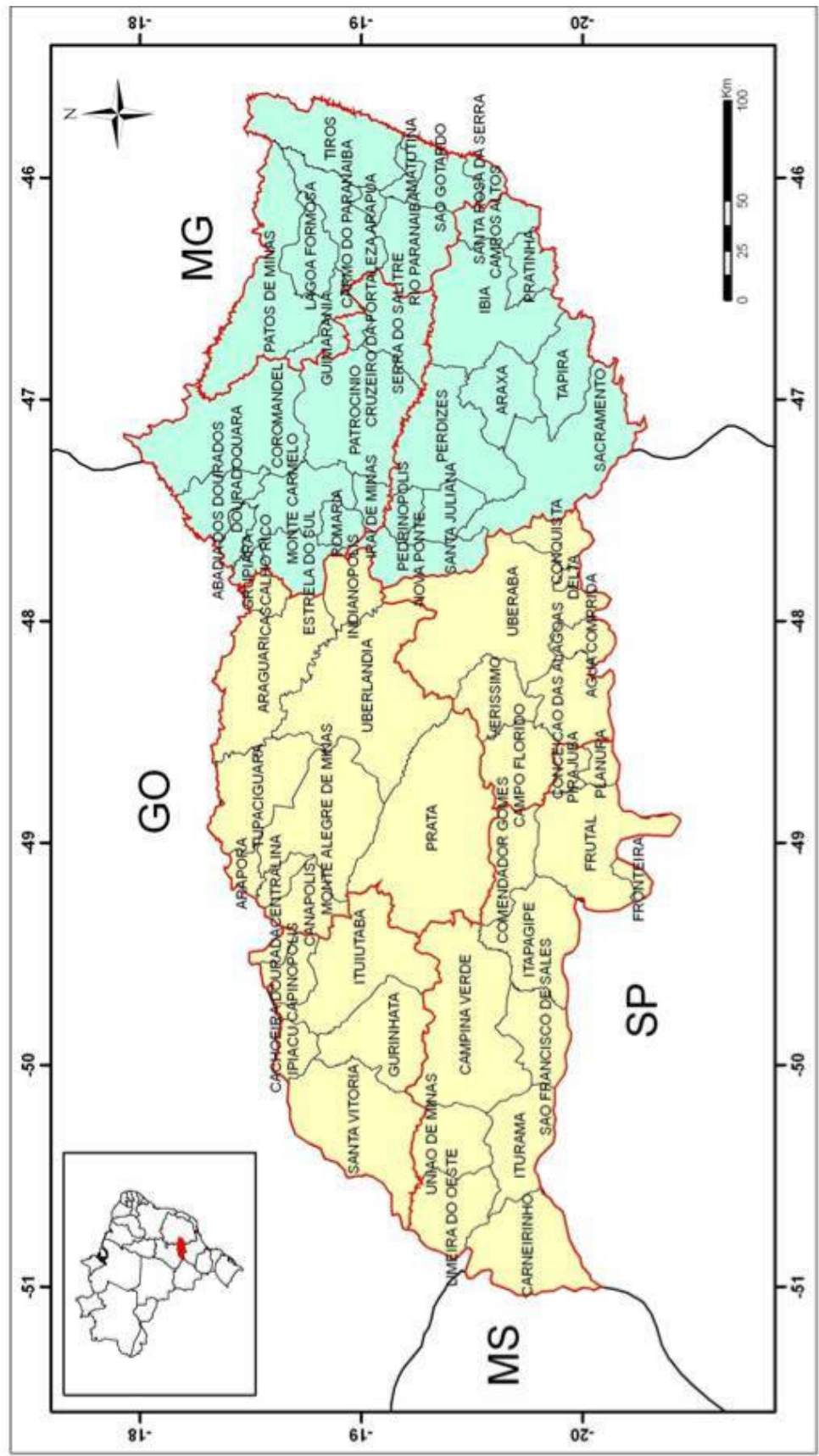


Figura 2-2: Mapa da localização dos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Fonte: Modificado de IBGE (2006b)

CAPÍTULO 3

REFERENCIAL TEÓRICO DA PESQUISA

Este Capítulo traz um panorama das águas – com destaque para as subterrâneas – e conceitua, dentre outros, o termo aquífero. Aborda o arcabouço institucional e legal brasileiro; distingue água subterrânea comum e água subterrânea mineral; discute dominialidade e outorga de direito de uso, define bacia hidrográfica e comitê de bacia hidrográfica e inclui o Plano Nacional de Recursos Hídricos e suas implicações com o tema abordado, além de apresentar o Aquífero Guarani e estudos acerca do tema da Dissertação.

3.1 As águas

Rebouças (2002a, p. 7) relata que as quantidades estocadas nos diferentes reservatórios individuais de água na Terra variaram substancialmente nos últimos 500 milhões de anos. Considera-se, atualmente, que o volume total de água na Terra, de 1.386 milhões de km³, tenha permanecido de modo aproximadamente constante durante esse período.

Segundo Shiklomanov (1998, p. 4), em um dado instante as águas dos principais reservatórios da Terra têm uma distribuição volumétrica como as indicadas na Figura 3-1. Pode-se verificar, por meio da Figura citada, que 97,5% do volume total de água formam os oceanos e mares e somente 2,5% representam a água doce.

Ressalta-se que a maior parcela da água doce – 68,9% – é representada pelas calotas polares, geleiras e neves eternas. As águas subterrâneas constituem 29,9%, os rios e lagos, 0,3%, e outros reservatórios, como pântanos e solo – umidade e gelo – compõem os restantes 0,9%. As águas subterrâneas representam, portanto, 96% da água doce disponível na Terra, excluindo-se as geleiras, calotas polares e neves eternas.

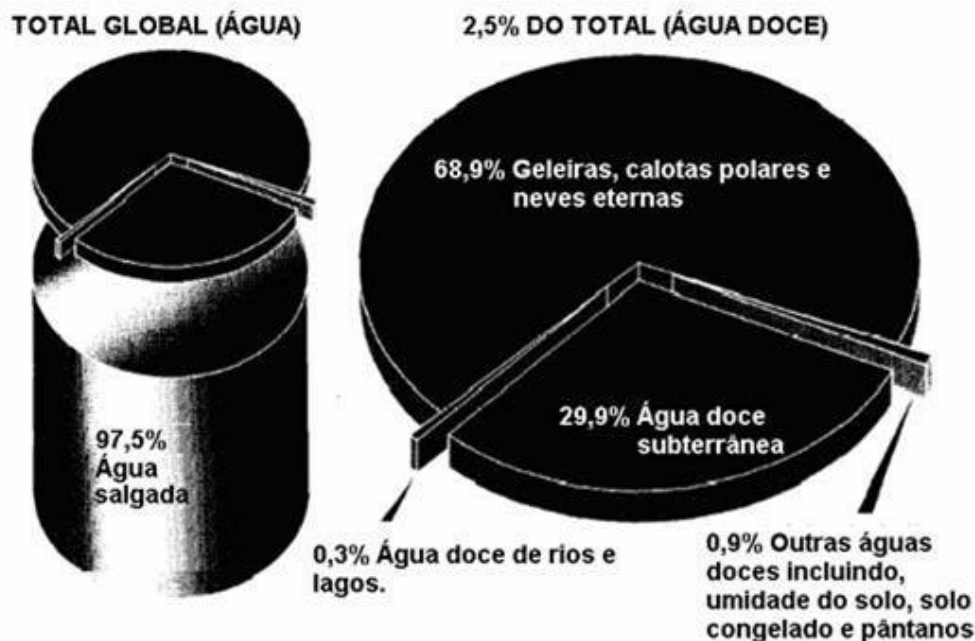


Figura 3-1: Distribuição das águas na Terra em um dado instante

Fonte: Modificado de Shiklomanov (1998, p. 4)

A LVIII reunião anual da Sociedade Brasileira para Progresso da Ciência – SBPC, realizada em 2006 na cidade de Florianópolis, enfatizou o estudo de Shiklomanov e reafirmou que o reservatório subterrâneo representa cerca de 95% de toda a água líquida e doce disponível (REUNIÃO, 2006, p. 1), confirmando a relevância das águas subterrâneas para o planeta.

As águas da Terra encontram-se em permanente movimento e constituem o chamado ciclo hidrológico. A água – líquida ou sólida – é transformada em vapor pela energia proveniente da radiação solar que atinge a superfície da Terra, seja nos oceanos, mares, continentes e ilhas e esse vapor, juntamente com a transpiração dos organismos vivos, sobe à atmosfera, onde esfria progressivamente, condensando-se e dando origem às nuvens. A água volta à superfície sob a ação da gravidade, principalmente na forma de chuva, neblina e neve (REBOUÇAS, 2002a, p. 8).

A Figura 3-2 mostra o ciclo hidrológico, as inter-relações entre os caminhos percorridos pela água no planeta – o movimento permanente com constante mudança de fases da água – e os volumes em circulação na Terra.

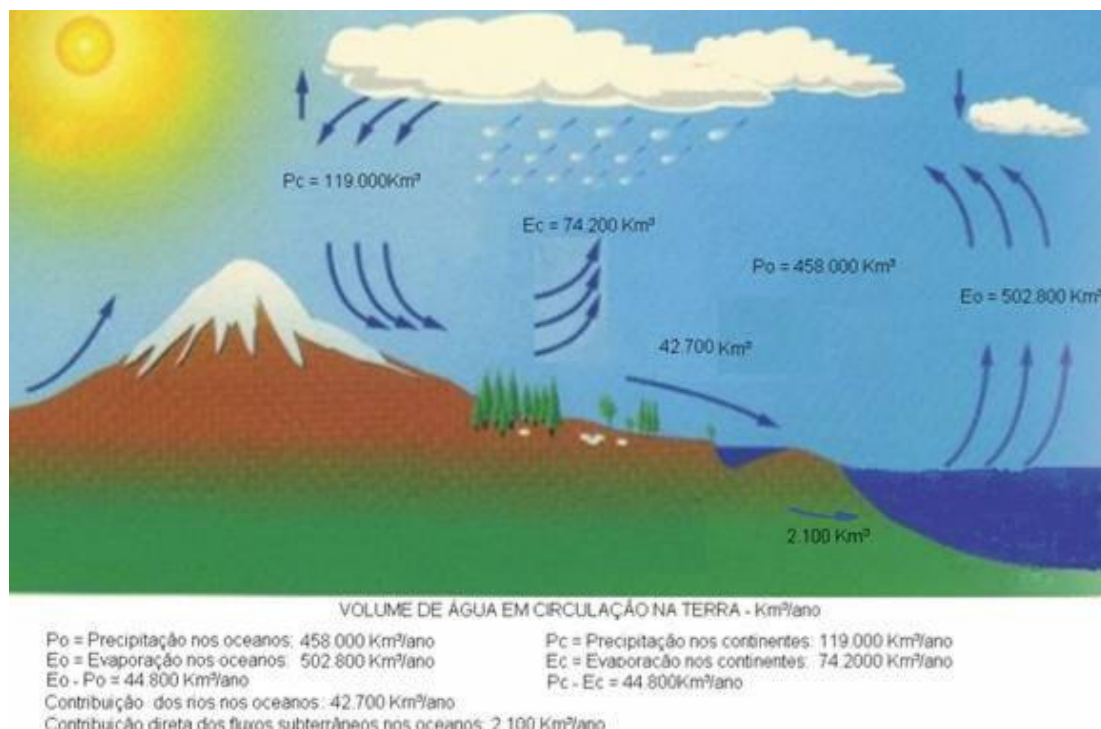


Figura 3-2: O ciclo hidrológico e o volume de água em circulação na Terra em um dado instante

Fonte: Modificado de Shiklomanov (1998, p. 5)

Shiklomanov (1998, p. 6, tradução nossa), em estudo apresentado para a UNESCO denominado *World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century* – Reservas de água no mundo: uma nova valoração e avaliação para o século 21 – por meio do *International Hydrological Programme* – IHP, demonstra que, baseados no ciclo hidrológico, dois conceitos são usados frequentemente em hidrologia e na gestão da água para avaliar as reservas de água de uma região: as reservas estáticas e as reservas renováveis.

As reservas estáticas ou permanentes convencionalmente incluem águas cujos períodos completos de renovação prolongam-se por muitos anos, décadas ou milênios, como por

exemplo, os grandes lagos, as águas subterrâneas e glaciais. O estudo citado – *World water resources* – conclui que o uso indiscriminado dessas reservas pode resultar em esgotamento, com desfavoráveis conseqüências, e alterar um equilíbrio natural estabilizado por séculos, cuja restauração pode requerer décadas ou centenas de anos.

As reservas renováveis, ativas ou reguladoras, com ciclo de recarga anual, segundo o citado estudo do IHP, são as mais importantes no ciclo hidrológico, pois têm relevância efetiva nos ecossistemas terrestres e no desenvolvimento econômico das sociedades. Embora incluam águas subterrâneas de renovação rápida, o volume mais significativo dessas reservas, em escala global, refere-se aos rios de escoamento superficial. Na prática esse volume de águas renováveis é utilizado para avaliar a oferta ou déficit de água em uma dada região (SHIKLOMANOV, 1998, p. 6).

3.2 As águas subterrâneas

Toda água existente abaixo da superfície da Terra, preenchendo tanto os poros ou vazios intragranulares das rochas sedimentares quanto as fraturas, falhas ou fissuras das rochas compactas, é denominada subterrânea, cumpre uma fase do ciclo hidrológico e constitui uma parcela da água precipitada (BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 99).

Uma fração da água que infiltra na superfície das terras emersas passa a compor a umidade do solo, suporte fundamental para a biomassa vegetal da Terra e interface atmosfera/litosfera. O excedente percola em profundidade e promove a umidade do subsolo – rocha/sedimento – não saturado. Nas camadas não saturadas do solo e do subsolo ocorrem os processos de filtração e biogeoquímicos, de interação água/rocha, que proporcionam a autodepuração da parcela da água que percola mais profundamente e alimenta a zona saturada (REBOUÇAS, 2002b, p. 119).

Segundo Rebouças (2002b, p. 119-120), a água subterrânea da zona de saturação do subsolo circula lentamente. Uma parcela desses fluxos deságua nas superfícies dos terrenos em forma de fontes e olhos de água e, também, abastece poços e outras obras de captação. Outra parcela deságua nos rios, tornando-os perenes durante os períodos em que as precipitações atmosféricas são escassas, ou descarrega diretamente nos lagos e oceanos.

A zona saturada, onde todos os poros são preenchidos por água, constitui o manancial subterrâneo propriamente dito. Na zona não saturada os poros contêm, além de água, ar. O nível freático, ou nível de água, separa a zona aerada, também denominada vadosa, e corresponde ao topo da zona saturada.

A Figura 3-3 mostra a caracterização ilustrativa das zonas não saturada e saturada, bem como o posicionamento do nível de água.

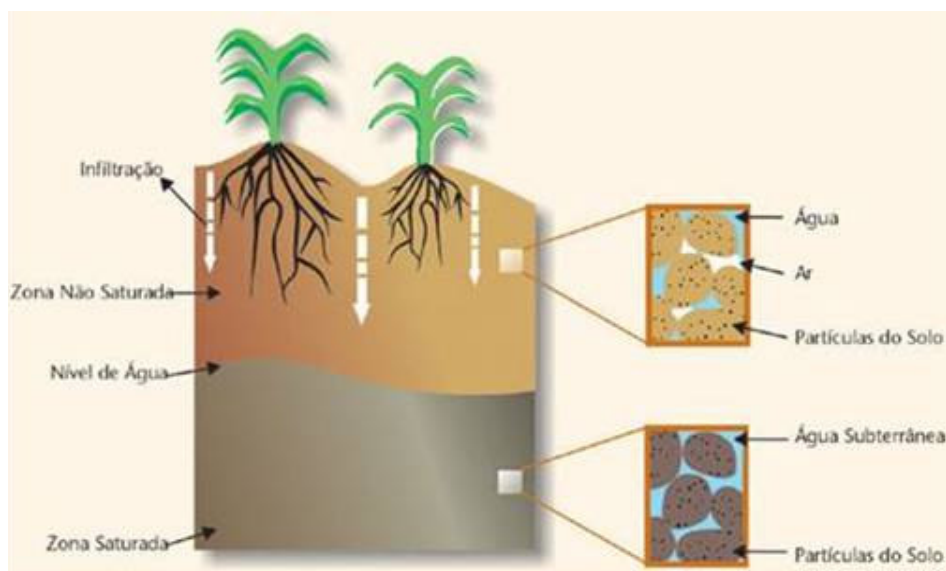


Figura 3-3: Zona não saturada, zona saturada e nível de água

Fonte: Instituto Geológico Mineiro (2001)

3.3 Os aquíferos

O termo aquífero, de acordo com o glossário ecológico ambiental da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, refere-se a uma "formação porosa, camada ou estrato, de rocha permeável, areia ou cascalho, capaz de armazenar e fornecer quantidades significativas de água" (CETESB, 2006). Em conformidade com o dicionário de termos hidrogeológicos básicos da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas –

ABAS, aquífero é aquela "litologia porosa e permeável, capaz de ceder água economicamente a obras de captação" (ABAS, 2006b) .

Segundo Rebouças (2002b, p. 119), rocha aquífera é aquela que tem porosidade e permeabilidade, independente de estar ou não saturada. Quando a camada aquífera apresenta expressiva espessura saturada sua função principal pode ser a produção de água, extraída por meio de poços tubulares escavados ou por outra obra de captação.

O Quadro 3-1 relaciona os aquíferos mais importantes do mundo, seja por extensão ou por importância da transnacionalidade (BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 105). Nessa relação, o Aquífero Guarani aparece como um dos maiores em área de abrangência e não como o maior.

Quadro 3-1: Aquíferos no mundo

Aquífero	Abrangência	Área
Arenito Núbia	Líbia, Egito, Chade e Sudão	2 milhões de km ²
Grande Bacia Artesiana	Austrália	1,7 milhões de km ²
Guarani	Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai	1,2 milhões de km ²
Bacia Murray	Austrália	297 mil de km ²
Kalahari/Karoo	Namíbia, Bostwana, África do Sul	135 mil km ²
Digitalwaterway Vechte	Alemanha e Holanda	7,5 mil km ²
Praded	República Checa e Polônia	3,3 mil km ²
Slovak-Karst-Aggtelek	República Eslováquia e Hungria	não citado pela fonte

Fonte: Modificado de Boscardin Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2004, p. 105)

3.3.1 Tipos de aquíferos quanto à pressão da água

Conforme Instituto Geológico Mineiro – IGM (2001), dentre os diferentes tipos de aquíferos quanto à classificação por pressão da água, há o aquífero livre, cuja formação geológica é permeável, parcialmente saturada de água e limitada na base por uma camada

impermeável. O nível da água, ou nível freático, nesse tipo de aquífero, está submetido à pressão atmosférica.

Outro tipo é o aquífero confinado, com formação geológica permeável completamente saturada de água e é limitado no topo e na base por camadas impermeáveis. A pressão da água nesse aquífero é superior à pressão atmosférica (IGM, 2001).

A Figura 3-4 mostra os tipos de aquíferos descritos em relação às camadas impermeáveis do subsolo e às condições de pressão que estão submetidas suas águas.



Figura 3-4: Tipos de aquíferos quanto à pressão da água

Fonte: Modificado de Instituto Geológico Mineiro (2001)

3.3.2 Tipos de aquíferos quanto à porosidade

De acordo com Boscardin Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2004, p. 106-107), existem essencialmente três tipos de aquíferos classificados quanto à porosidade, assim descritos:

Poroso ou sedimentar: nesse tipo de aquífero, a água circula através de poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. É constituído por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, que armazenam grande volume de água e ocorrem nas bacias sedimentares e em várzeas onde se acumulam

sedimentos arenosos. A porosidade presente, quase sempre homogeneamente distribuída, permite que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existentes. Essa propriedade é conhecida como isotropia. Cita-se o Aquífero Guarani como um exemplo de aquífero sedimentar.

Fraturado ou fissural: nesse tipo de aquífero, a água circula através de fraturas, fendas e falhas, abertas em função do movimento tectônico. É formado em rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças e armazena água graças à quantidade de fraturas aberturas e intercomunicações dessas rochas, que permitem a infiltração e o fluxo de água. Um caso particular de aquífero fraturado é representado pelos derrames de rochas vulcânicas basálticas nas grandes bacias sedimentares brasileiras. Ressalta-se que, dependendo do grau de fraturas intercomunicantes, esse sistema pode se comportar tanto como aquítarde – "litologia porosa, mas pouco permeável, incapaz de ceder água economicamente a obras de captação, mas capaz de ceder quantidades apreciáveis de água lentamente e em grandes áreas" (ABAS, 2006b) – quanto como aquícludo – "litologia porosa, mas não permeável, incapaz de ceder água economicamente a obras de captação" (ABAS, 2006b). O Aquífero Serra Geral é um exemplo de aquífero fraturado ou fissural.

Aquífero cárstico – Karst: nesse tipo de aquífero, a circulação da água se faz nas fraturas e outras descontinuidades – diáclases – que resultaram da dissolução do carbonato pela água. É formado em rochas calcáreas ou carbonáticas, com águas duras e com fluxo em canais. Como são aquíferos heterogêneos e descontínuos, portanto, torna-se difícil a construção de modelos matemáticos para simular o escoamento subterrâneo.

A Figura 3-5 aponta, esquematicamente, os tipos de aquíferos citados quanto à porosidade.



Figura 3-5: Tipos de aquíferos quanto à porosidade

Fonte: Modificado de Instituto Geológico Mineiro (2001)

3.3.3 Aquífero transfronteiriço

A principal característica de um aquífero transfronteiriço ocorre quando seu fluxo subterrâneo natural cruza um limite internacional. Mesmo onde a divisa geográfica entre países é demarcada por um rio, os aquíferos subterrâneos podem não transferir totalmente o fluxo subterrâneo para a recarga desse curso de água e cruzar as fronteiras (UNESCO, 2001, p. 11).

A Figura 3-6 exemplifica uma situação de fluxo subterrâneo transfronteiriço, onde um aquífero tem sua área de recarga de um lado da fronteira internacional e sua área descarga ocorrendo em outro lado. A figura também ilustra um sistema de fluxo local.

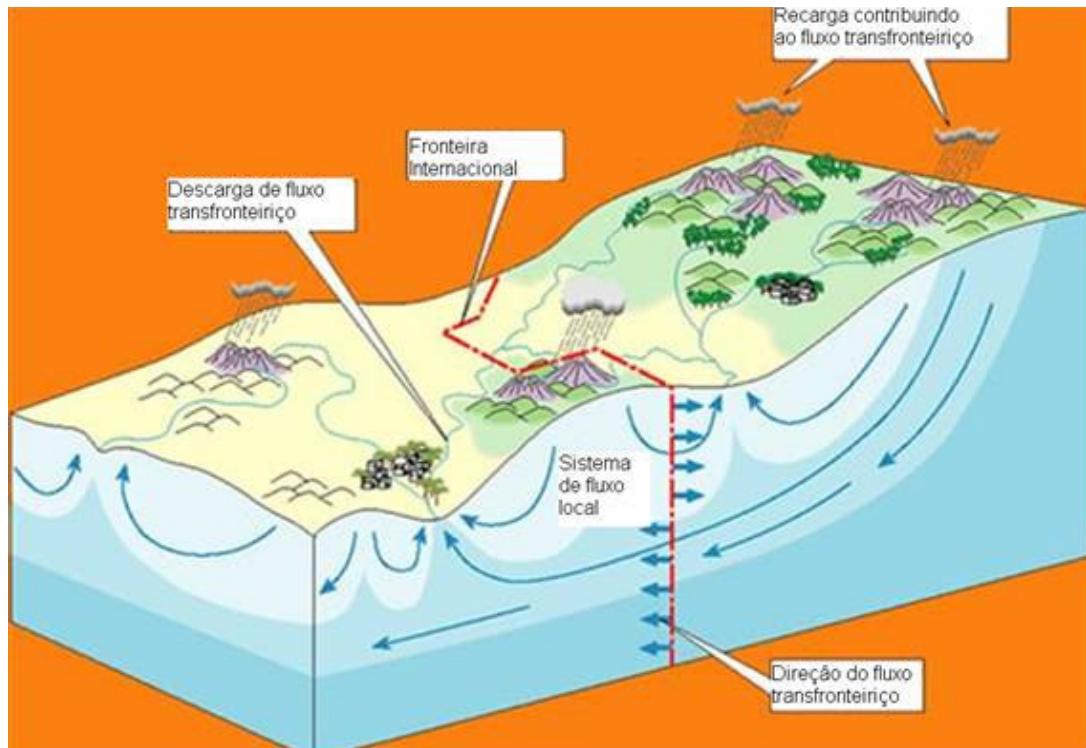


Figura 3-6: Aquífero transfronteiriço

Fonte: Modificado de UNESCO (2001, p. 13)

3.4 Arcabouço institucional e legal vigente acerca das águas subterrâneas

Não se pretende neste item abranger a extensa bibliografia que envolve nesse tema, o objetivo é definir determinados termos técnicos para a compreensão das águas subterrâneas e a inclusão destas em determinados pontos do arcabouço institucional e legal vigente no país.

É comum encontrar a utilização do vocábulo *água* e da expressão *recurso hídrico* como sinônimos, o que não é verdade, conforme Pompeu (2002; 2006, p. 71). A água é, segundo esse autor, o elemento natural, descomprometido de qualquer uso ou utilização; diferentemente, para Pompeu, recurso hídrico é a água como bem econômico passível de utilização com tal fim e, por esta razão, o Código de Águas de 1934 disciplina o elemento natural água mesmo quando não há aproveitamento econômico.

Todavia, Granziera (2003, p. 27) discorda de Cid Tomanik Pompeu e fundamenta que o Código de Águas de 1934 e a Lei nº 9.433 – Lei que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos – não fazem distinção entre o termo água e a expressão recurso hídrico. A autora destaca que a citada Lei, também conhecida como Lei das Águas, menciona água, no inciso II do artigo primeiro, como um recurso natural limitado e dotado de valor econômico.

A esse respeito, o presente trabalho utiliza ambas as terminologias – água e recurso hídrico – sem distinção de significados, mas destaca especial atenção para a classificação das águas diferenciadas como recurso hídrico e como recurso mineral, pois esse enquadramento determina a dominialidade das águas subterrâneas e define a quem compete outorgar o direito de uso das mesmas.

3.4.1 As águas subterrâneas, a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Plano Nacional de Recursos Hídricos

Do ordenamento jurídico brasileiro, para cumprir o acordado em Johannesburgo em 2002 (BRASIL, 2006d, p. 12), conforme citado no Capítulo 1, item 1.1 desta Dissertação, foi aprovada em 1997, a Lei das Águas – Lei nº 9.433 – que instituiu a Política Nacional de

Gerenciamento dos Recursos Hídricos e gerou o Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (BRASIL,1997).

O PNRH tem o objetivo geral de estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em qualidade e quantidade, e gerenciar as demandas. O Plano considera a água um elemento estruturante para a implementação das políticas setoriais, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social (BRASIL, 2006d, p. 13).

Isso posto, a Síntese Executiva do referido Plano inclui, em seu Capítulo primeiro, tanto as bases conceituais, que nortearam sua elaboração, quanto a dinâmica do processo participativo abordado e destaca

a ratificação da dominialidade pública das águas; a prioridade para o consumo humano e para a dessedentação de animais; os usos múltiplos das águas; seu valor econômico; a bacia hidrográfica como unidade territorial para a implementação da política; a descentralização e a participação social no processo de gestão; a utilização integrada e sustentável da água; os conceitos de integração e articulação, tanto do ponto de vista dos processos socioambientais quanto políticos e institucionais (BRASIL, 2006d, p. 16).

No PNRH são previstas articulações e integração de política de recursos hídricos com outras políticas correlatas. O PNRH cita, como exemplo, o Plano Nacional de Turismo, no qual os recursos hídricos constam como atrativo principal de diferentes práticas turísticas, tais como ecoturismo, turismo de sol e praia e turismo rural. Neste contexto, o PNRH ressalta que, com a perspectiva de expansão do turismo, haverá demanda crescente da utilização dos recursos hídricos (BRASIL, 2006d, p. 43).

A relação entre os dois Planos Nacionais citados – o Plano Nacional de Turismo e o PNRH – é estabelecida nesta Dissertação por meio do uso das águas resultantes da exploração de 10 dos 15 poços tubulares profundos identificados na Pesquisa exploratória. Nesses 10 poços, as utilizações no turismo e no lazer determinaram a perfuração para a obtenção das águas subterrâneas do Aquífero Guarani.

A Lei Federal nº 9.984 de 2000 estabelece que seja atribuição da Agência Nacional de Águas – ANA estimular e apoiar as iniciativas voltadas para a criação de órgãos gestores de recursos hídricos, de Comitês de Bacias Hidrográficas e de Agências de Água (BRASIL, 2000).

O PNHR traz que, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, Comitês de Bacias Hidrográficas são órgãos colegiados, cujas atribuições devem ser exercidas na bacia hidrográfica de sua jurisdição. Cabe-lhes debater e arbitrar, em primeira instância, as questões referentes aos recursos hídricos e a aprovação, acompanhamento e sugestão das providências necessárias ao cumprimento das metas do Plano de Recursos Hídricos da bacia (BRASIL, 2006d, p. 32).

Participam dos Comitês, segundo a ANA (BRASIL, 2006b), representantes do Poder Público, dos usuários das águas e das organizações da sociedade com ações na área de recursos hídricos. O objetivo é a gestão participativa e descentralizada desses recursos em um território. Os Comitês devem integrar as ações de todos os governos, seja no âmbito dos municípios, dos Estados ou da União e, também, propiciar o respeito aos diversos ecossistemas naturais, promover a conservação e recuperação dos corpos d'água e garantir a utilização racional e sustentável dos recursos hídricos.

As Agências de Água são entidades jurídicas criadas para dar suporte administrativo, técnico, jurídico e financeiro aos Comitês de Bacias Hidrográficas. A viabilidade financeira dessas Agências é assegurada pela cobrança do uso de recursos hídricos (BRASIL, 2006d, p. 32).

Rebouças (2002c, p. 3) destaca a Lei Federal nº 9.984/00 – institucionalizadora da ANA – e a Lei Federal nº 9.433/97 – Lei das Águas – e discrimina que ambas estabelecem um arranjo institucional claro, em que ações são prerrogativas das Agências de Bacia, sob o comando dos correspondentes Comitês e são estes que decidirão, por exemplo, quando e quanto cobrar pelo uso das águas subterrâneas.

Rebouças (2002c, p. 7) salienta que o objetivo maior do gerenciamento de recursos hídricos de uma bacia hidrográfica é buscar o uso mais eficiente da água disponível.

No Capítulo 4, item 4.2, referente aos Resultados da Pesquisa exploratória, apresenta-se o mapa da divisão territorial da ação dos Comitês de Bacias Hidrográficas na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba – Figura 4-3. O mapa traz, também, a locação dos poços identificados na área de estudo desta Dissertação.

3.4.2 Dominialidade das águas subterrâneas

Segundo demonstrado a seguir, no histórico levantado acerca do tema direito de domínio, o entendimento de domínio das águas subterrâneas no direito administrativo brasileiro gera dúvidas em função de redações imprecisas no arcabouço institucional e legal vigente.

O Código de Águas de 1934 (BRASIL, 1934) previa a dominialidade privada em relação às águas subterrâneas e seu artigo 96 assim estabelecia

o dono de qualquer terreno poderá apropriar-se por meio de poços, galerias etc. das águas que existam debaixo da superfície de seu prédio, contanto que não prejudique aproveitamentos existentes nem derive ou desvie de seu curso natural águas públicas dominicais, públicas de uso comum ou particulares (BRASIL, 1934).

O exercício da propriedade da água subterrânea como bem natural privado, instituído por meio do citado Código de Águas de 1934, vigorou até a Constituição Federal de 1988, quando esta estabeleceu que todas as águas do Brasil, inclusive as subterrâneas, passassem a ser um bem natural de domínio público, extinguindo o domínio particular.

A seguir, relata-se partes da Constituição Federal de 1988 que trazem a divisão das águas de domínio público entre bens da União e bens dos Estados.

Da Carta Magna, em seu inciso III do artigo 20, tem-se que são **bens da União**

[...] os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais (BRASIL, 1988).

O Texto Magno, no inciso primeiro do artigo 26, inclui entre os **bens dos Estados** “[...] as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União” (BRASIL, 1988).

A Constituição Federal de 1988 ampliou, desse modo, consideravelmente o domínio hídrico das Unidades Federadas, que passaram a ter, entre os bens citados, as águas subterrâneas, antes sem titular definido (POMPEU, 2006, p. 55-56).

Conforme Granziera (2003, p. 79-80), a Constituição Federal de 1988, ao fixar as águas que pertencem aos Estados, adotou o princípio da exclusão. Ou seja, as águas estaduais são aquelas que não pertencem à União. Nesse caso, como o Texto Constitucional não citou a expressão *águas subterrâneas* ao tratar dos bens da União, não há base constitucional para o entendimento de que as águas subterrâneas, subjacentes a mais de um Estado, sejam de domínio da União.

De acordo com Pompeu (apud GRANZIERA, 2003, p. 79), em trabalho publicado posteriormente à edição da Constituição de 1988

[...] por mencionar, simplesmente, ‘águas subterrâneas’, e deixar de levar em consideração os respectivos depósitos naturais, o texto confunde mais as coisas, pois, se unicamente as águas pertencem aos Estados, poderão estes, pelos menos em tese, extraí-las à vontade, cada um em seu território. Com isso, surgirão possíveis conflitos, prevendo-se a exaustão dos aquíferos, até que lei federal venha disciplinar a extração de tais águas. Com mais propriedade, quando subjacentes a mais de um Estado, esses depósitos deveriam integrar o patrimônio da União, conforme princípio federativo segundo o qual as matérias que interessam a mais de um Estado devem ficar a cargo desta. O objetivo da disciplina constitucional, portanto, seriam os aquíferos subterrâneos, evidentemente com seu conteúdo mas não apenas este (POMPEU apud GRANZIERA, 2003, p. 79).

Neste ponto do estudo da dominialidade pública das águas, faz-se necessário esclarecer que tramita uma Proposta de Emenda à Constituição – PEC, de autoria do senador Júlio Eduardo e outros, para alterar a titularidade das águas subterrâneas (BRASIL, 2006c).

A PEC nº 43 de 2000 pretende inserir no Texto Magno, inciso III do artigo 20, as águas subterrâneas, inclusive os aquíferos, para torná-los bens da União. Essa Proposta de alteração da Constituição federal de 1988 está assim redigida

Art. 20. São bens da União: III – os lagos, rios e quaisquer correntes de águas, superficiais ou subterrâneas, inclusive os aquíferos, em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham [...] (POMPEU, 2006, p. 56).

A emenda parlamentar citada propõe, também, dar nova redação ao inciso primeiro do artigo 26, que trata do domínio hídrico estadual. Pretende inserir a frase "circunscritas ao seu território" e torná-lo como se segue: "Art. 26. Inclui-se entre os bens dos Estados: I – as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, **circunscritas ao seu território**, [...]" (POMPEU, 2006, p. 57, grifo do autor).

O intuito da alteração citada é limitar ao domínio do Estado as águas interiorizadas em sua extensão territorial, ou seja, aquelas não compartilhadas com outros Estados federativos e mesmo país estrangeiro.

Pompeu (2006, p. 57) levanta uma dúvida condizente a essa alteração da Constituição Federal. O autor não concorda com a atual redação da PEC nº 43, em relação ao citado inciso primeiro do artigo 26. Segundo Pompeu, a nova redação pode gerar controvérsias no entendimento referente ao domínio estadual das águas subterrâneas justamente por não incluir o vocábulo *aquífero*. O autor fundamenta seu questionamento com o raciocínio técnico de que existem determinadas águas subterrâneas, que mesmo em movimento, podem permanecer centenas de anos limitadas a determinado território estadual, mas ao existir fluxo subterrâneo no aquífero, essas acabam por transpor os limites da fronteira, mesmo após centenas de anos.

A PEC nº 43 – salienta-se que a mesma ainda não foi aprovada no Congresso Nacional – poderá suscitar dúvidas quanto ao seu entendimento para realmente restringir a dominialidade Estadual, por meio da alteração da redação de seu inciso primeiro do

artigo 26. A maneira de se redigir pode ser novamente revista para o seu aperfeiçoamento, a bem da clareza e da dimensão da complexidade do assunto (POMPEU, 2006, p. 58).

Em síntese, o propósito da PEC nº 43 de 2000 é o de incluir determinadas águas subterrâneas, ou seja, aquelas que banhem mais de um Estado, ou que se estendam sob território estrangeiro, por meio do fluxo no aquífero, independente do tempo para que isso ocorra, entre os bens da União, sem, nesta Dissertação, entrar-se no mérito da redação adequada para esclarecer o pretendido.

Cita-se, neste contexto, o livro *Direito de Águas*, no qual Granziera (2003, p. 80) argumenta que, quando a gestão dos recursos hídricos realiza-se por bacia hidrográfica, ficam minimizados os riscos de exaustão dos aquíferos em função do uso autorizado por parte de cada Estado, pois as águas subterrâneas, constituintes também da bacia hidrográfica, são sujeitas à gestão participativa conjunta dos Comitês abrangentes da área em questão.

Vianna (2004, p. 4-5) descreve que os depósitos de águas subterrâneas podem não se encaixar espacialmente no modelo das bacias hidrográficas adotadas, mas como representam a maioria das reservas hídricas doces disponíveis no planeta, o autor propõe a discussão das especificidades dessas águas, dentro dos Comitês de Bacias Hidrográficas, para minimizar a dicotomia entre as águas subterrâneas e superficiais.

E para finalizar este subitem, consta na Resolução nº 15 de 11 de janeiro de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, em seu artigo 4º, que, no caso de aquíferos subjacentes a duas ou mais bacias hidrográficas, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, a quem compete coordenar a gestão integrada das águas, e os Sistemas de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Estados ou do Distrito Federal deverão promover a uniformização de diretrizes e critérios para a coleta de dados e elaboração dos estudos hidrogeológicos necessários à identificação e caracterização da bacia hidrogeológica. Para essa caracterização, os Comitês de Bacia Hidrográficas envolvidos deverão buscar o intercâmbio e a sistematização dos dados gerados (BRASIL, 2001).

3.4.3 As águas subterrâneas no Código de Águas Minerais de 1945

A Constituição Federal de 1988, em seu inciso IX do artigo 20, estabelece que os recursos minerais, inclusive os do subsolo, pertencem unicamente à União, onde quer que se encontrem, e institui em seu artigo 176 que

[...] as jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra (BRASIL, 1988).

De acordo com o Texto Magno, nos incisos IV e XII do artigo 22, compete à União legislar sobre águas minerais, jazidas, minas e outros recursos minerais.

Pompeu (2005, p. 4) infere que, incluídas técnica e legalmente na categoria de jazidas, as águas minerais pertencem à União, e são regidas por meio do citado artigo 176 da Constituição de 1988 e do, também citado, Código de Águas Minerais de 1945. O autor coloca que a captação nas reservas subterrâneas está sujeita às normas das Unidades Federadas naquilo que não conflitem com as normas da União pertinentes às águas.

Para os recursos minerais, entre os quais as denominadas águas minerais, existem Códigos específicos, como o Código de Mineração de 1967 e o Código de Águas Minerais de 1945 (POMPEU, 2006, p. 51).

Para a distinção de conceitos entre águas subterrâneas e águas minerais, o Código de Águas Minerais de 1945, em seu artigo primeiro do Capítulo I, que trata das Disposições Preliminares, define

águas minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuem composição química, propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes conferem uma ação medicamentosa (BRASIL, 1945).

Em resumo, as águas subterrâneas classificadas como minerais são consideradas recursos minerais e são bens exclusivos da União. As demais águas subterrâneas, não desse modo classificadas, são recursos hídricos e bens dos Estados sob os quais estão subjacentes.

Segundo Granziera (2003, p. 74), o domínio da União ou dos Estados, decorrente do próprio Texto Constitucional, sobre os recursos hídricos, não se refere à propriedade de um bem imóvel e objeto de registro próprio, mas significa a responsabilidade pela guarda e administração dos mesmos e pela edição das regras a eles aplicáveis. Granziera (2003, p. 78) acrescenta que os recursos minerais, incluso as águas minerais, pertencem à União, mas a exploração e o aproveitamento dos mesmos podem ser efetuados mediante autorização ou concessão da União.

O conceito de dominialidade reflete diretamente em relação às águas subterrâneas do Aquífero Guarani. Como a dominialidade deste, em território brasileiro, divide-se, conforme visto, entre União e Estados, dependendo se suas águas sejam consideradas minerais ou não, inexiste, portanto, domínio nacional unificado. Isso posto, ressalta-se as dificuldades para uma ação de gestão conjunta e participativa tanto entre os Estados de sua abrangência quanto entre os quatro países de sua ocorrência.

Autorização ou concessão para aproveitamento e exploração encaminha para a definição do termo outorga apresentado a seguir.

3.4.4 Outorga de direito de uso das águas subterrâneas

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, no uso das suas competências, em seu artigo primeiro da Resolução nº 16 de 16 de maio de 2001, resolve que a outorga de direito de uso de recursos hídricos

é o ato administrativo mediante o qual a autoridade outorgante faculta ao outorgado previamente ou mediante o direito de uso do recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no ato consideradas as legislações vigentes (BRASIL, 2001b).

Cabe ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, autarquia federal e vinculada ao Ministério de Minas e Energia, promover a outorga de títulos minerários relativos à exploração e ao aproveitamento dos recursos minerais. A esse órgão compete a outorga de Portaria de Lavra para água mineral e potável de mesa para consumo humano, bem como a destinada para fins balneários (BRASIL, 2006a).

Em conformidade com o discutido no subitem 3.4.2 – que trata da dominialidade administrativa – as águas subterrâneas, excluindo-se aquelas subterrâneas classificadas de minerais, não são bens da União, e a efetivação de outorgas de direito de seu uso faz-se por meio de ato da autoridade competente do Estado (BRASIL, 2006d, p. 30).

As outorgas de direito de uso das águas superficiais e subterrâneas de domínio do Estado de Minas Gerais são obtidas junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2006).

A Síntese Executiva do PNRH traz, no item outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, a seguinte observação

quanto à outorga de águas subterrâneas, cumpre observar que não há uma metodologia específica de análise consolidada para todas as entidades outorgantes estaduais. Constata-se que a maior parte dos Estados se preocupa com as precauções por parte do usuário no que tange à qualidade dessas, de modo que seja evitada a contaminação do aquífero (BRASIL, 2006d, p. 35).

Por meio desta citação, observa-se que, em termos de águas subterrâneas, ainda há muito para se elaborar e programar para uma gestão consistente e abrangente no território brasileiro. Por isso, estudos ligados a esta discussão podem ajudar no ordenamento das ações e das atividades ligadas ao fortalecimento da gestão participativa.

Cabe acrescentar que a Resolução nº 16 do CNRH, em seu artigo 27, traz que, as Unidades da Federação competentes para outorgar os recursos hídricos subterrâneos devem manter os serviços indispensáveis tanto à avaliação – qualidade e a quantidade explorada – quanto à hidrologia dos aquíferos. Já o artigo 28 da citada Resolução aponta que, em caso de

conflito no uso das águas subterrâneas de aquíferos que se estendam a mais de uma Unidade da Federação, caberá ao CNRH fazer o arbítrio da questão (BRASIL, 2001b).

Insere-se, neste contexto, que o parágrafo primeiro do artigo 5º da Resolução nº 15 do CNRH traz que, para aquíferos transfronteiriços ou subjacentes a duas ou mais Unidades da Federação, os conflitos existentes serão resolvidos em primeira instância entre os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal e, em última instância, por meio do CNRH (BRASIL, 2001a).

3.5 Aquífero Guarani

3.5.1 Denominação

Devido ao fato das formações geológicas do Aquífero Guarani estarem localizadas subjacentes a partes dos territórios de quatro países sul-americanos, ele é considerado transfronteiriço. Esse manancial subterrâneo já foi designado de *Aquífero Gigante do Mercosul* por ocorrer nas nações participantes do acordo comercial conhecido como Mercosul, firmado pelos mesmos quatro países de abrangência do Aquífero.

A indicação do termo Guarani ao Aquífero, sugerida por Danilo Antón, geólogo uruguaio, da *Universidad de la República, Uruguay*, foi aprovada em Curitiba, Paraná, em maio de 1996, por representantes dos países de sua área de ocorrência: Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai. A intenção era unificar a nomenclatura das formações geológicas do Aquífero, que recebem nomes diferentes nos seus países de origem, além de homenagear os índios guaranis, que habitavam a área na época do descobrimento da América (BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 127-128).

De acordo como Machado (2006, p. 33), *Sistema Aquífero Guarani – SAG* – teria sido a melhor titulação para o Aquífero Guarani

[...] já se trata de um conjunto heterogêneo de ‘unidades hidroestratigráficas’ que podem conter muita, pouca ou nenhuma água. Sinteticamente, essas unidades poderiam ser descritas como formações geológicas portadoras de água, em maior ou menor quantidade (MACHADO, 2006, p. 33).

Machado (2005, p. 8) conclui que o Aquífero Guarani é, na realidade, um simples agrupamento de unidades hidroestratigráficas, sem necessariamente haver conexão hidráulica entre essas. O Aquífero Guarani, segundo esse autor, além de não apresentar condições típicas de fluxo transfronteiriço, mostra-se com heterogeneidades hidroquímicas e com extensas áreas de péssima qualidade – de salobra a salgada.

Em seguida a essas considerações, segundo Machado (2005, p. 33; 2006, p. 8), ocorre uma desmitificação em relação ao Aquífero Guarani, principalmente no que diz respeito ao fato deste ser o maior reservatório subterrâneo de água doce do mundo, conforme divulgado nos meios de comunicação. Ao observar-se os dados apresentados no Quadro 3-1, percebe-se que outros aquíferos apresentam maiores áreas de ocorrência.

Na presente Dissertação, não se faz diferenciação entre as expressões *Sistema Aquífero Guarani* e *Aquífero Guarani*. A não utilização do termo *Sistema* não implica a pressuposição de conexão hidráulica e similaridade de condições hidrogeológicas. Utiliza-se as duas expressões como sinônimos.

3.5.2 Localização, área de abrangência e população sobrejacente

O Aquífero Guarani situa-se no centro-leste da América do Sul, insere-se em aproximadamente 75% da superfície da bacia geológica sedimentar do Paraná e localiza-se sob parte da bacia hidrográfica do Prata.

A Figura 3-7 ilustra o posicionamento do Aquífero Guarani na América do Sul e demonstra a dimensão desse recurso natural quando comparado à área superficial ocupada por terras emersas.



Figura 3-7: O Aquífero Guaraní na América do Sul

Fonte: Adaptado de The Living Earth® (2007)

Segundo Araújo, França e Potter (1995), o Aquífero Guaraní cobre uma área superior a 1.194.000 km². A área de ocorrência extrapola a porção brasileira da bacia do Paraná e estende-se, com área superior a 355.000 km², na direção da bacia do Chaco-Paraná. Distribui-se pela região centro-oeste do Brasil, alcança o nordeste da Argentina, o oeste do Paraguai, além do norte e centro-oeste do Uruguai.

Demonstra-se na Figura 3-8 a distribuição percentual da área de abrangência do Aquífero Guarani em cada país de sua ocorrência, bem como sua área em km².

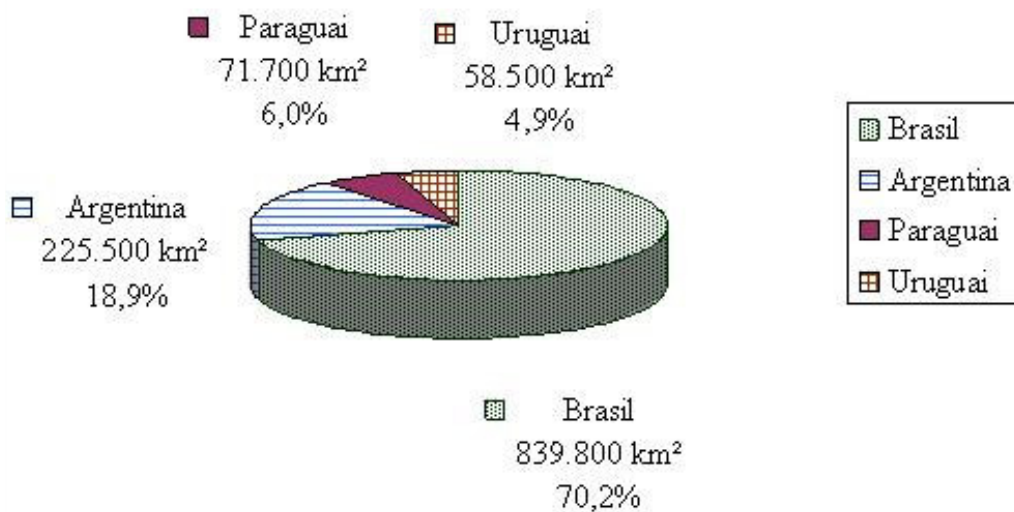


Figura 3-8: Distribuição da área do Aquífero Guarani nos países de sua abrangência

Fonte: Modificado de Araújo, França e Potter (1995)

A área total desse Aquífero é superior à soma dos territórios da França, Espanha e Inglaterra (ROCHA, 1997, p. 191; BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 130).

O Aquífero Guarani representa 9,9% do território do Brasil, com cerca de 70,2% de sua porção total de ocorrência; no Uruguai, ainda que esse país tenha a menor área de ocorrência do aquífero entre os quatro países, ocupa 33,2% desse território; na Argentina, abrange 18,9% da área total desse país e participa de 17,6% do território paraguaio (ARAÚJO; FRANÇA; POTTER, 1995).

A Figura 3-9 representa percentualmente a distribuição do Aquífero Guarani nas oito Unidades Federativas brasileiras sobrejacentes ao mesmo.

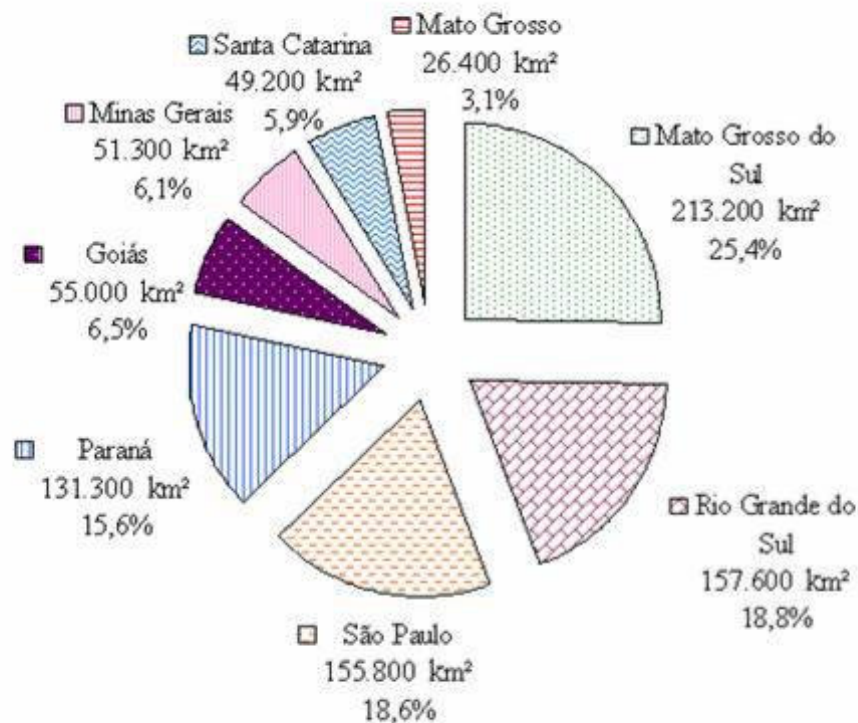
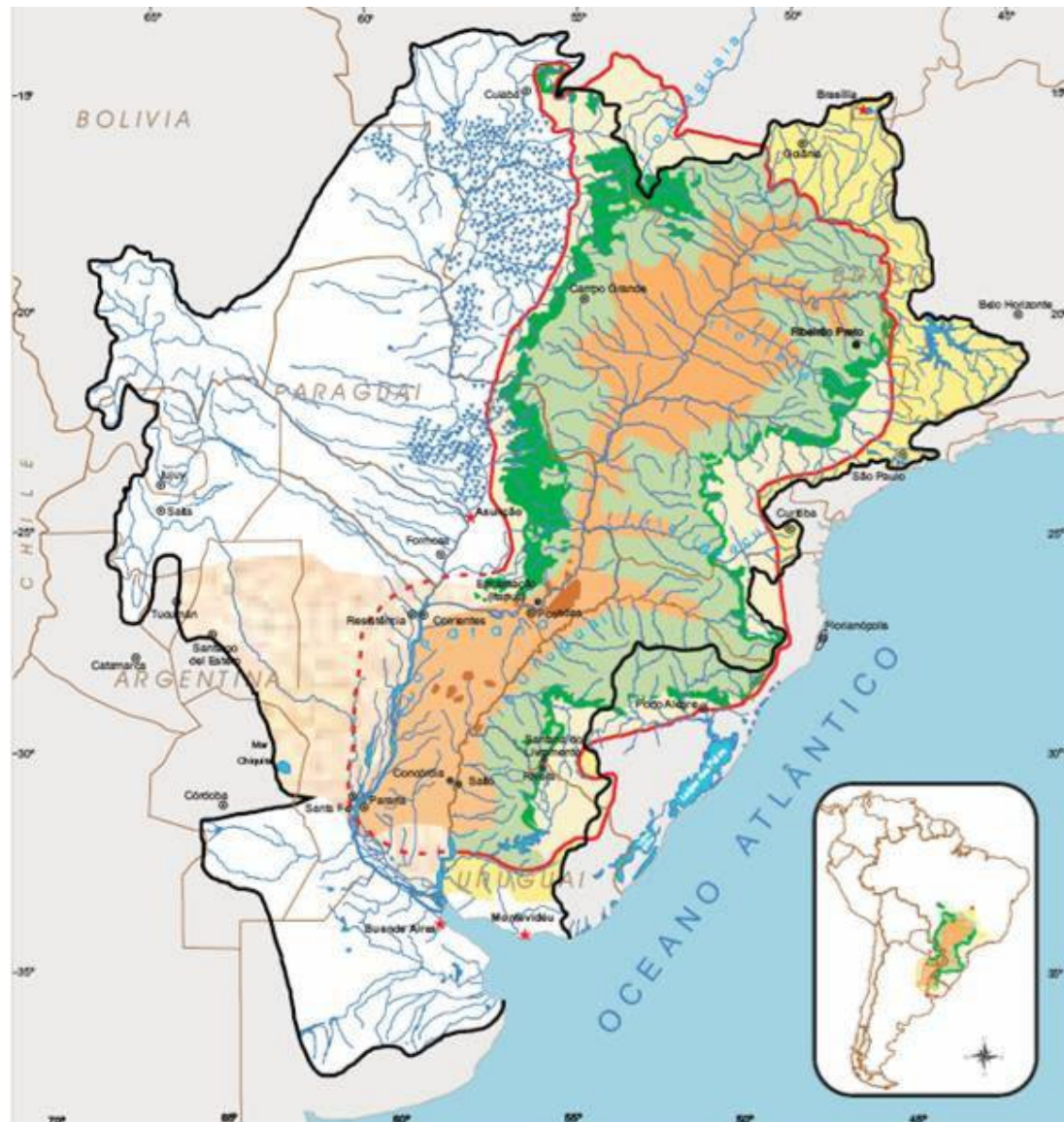


Figura 3-9: Área de abrangência do Aquífero Guarani no Brasil

Fonte: Modificado de Araújo, França e Potter (1995)

Com aproximadamente 840 mil km², cerca de dois terços da área total do Aquífero Guarani, a presença deste no Brasil espalha-se por oito Estados. A dimensão brasileira em sentido norte-sul, chega a 2.000 km (BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 138-139).

A Figura 3-10 mostra, de acordo com Sistema Aquífero Guarani (2006b), a localização esquemática do Aquífero Guarani, inclusive com sua porção ainda não definida na Argentina. A Figura citada delimita as áreas de afloramento, as áreas potenciais de descarga e áreas potenciais de recarga, tanto recarga direta quanto indireta. O mapa sinaliza os limites da bacia hidrográfica do Prata e da bacia sedimentar do Paraná.



LEGENDA

	Drenagens não relacionadas ao sistema		Áreas potenciais de descarga:		Rios
	Áreas potenciais de recarga indireta:		regime fissural/poroso: basaltos e arenitos (indivisos)		Limite político de País
	a partir da drenagem superficial		regime poroso: afloramento do Guarani		Limite político de Estados
	a partir do fluxo subterrâneo		regime fissural/poroso: relação com Guarani a definir		Cidades
	Áreas potenciais de recarga direta:		Limite bacia hidrográfica do Prata		Capitais Estados/Províncias
	regime poroso: afloramento do Aquífero Guarani		Limite da bacia sedimentar do Paraná		Capital dos Países
	regime fissural/poroso: basaltos e arenitos		Limite da bacia do Paraná a definir		Áreas úmidas

Figura 3-10: Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani

Fonte: Adaptado de Sistema Aquífero Guarani (2006b)

A Tabela 3-1 relaciona a área total dos países com presença do Aquífero Guarani, a área de ocorrência e porcentagem ocupada pelo mesmo. Esta tabulação demonstra, de acordo com a fonte citada, a estimativa da população sobrejacente, inclusive nas áreas de afloramento, e as porcentagens de participação dos afloramentos em relação à área total de exposição dessas camadas dos arenitos na superfície.

Tabela 3-1: Área e população nos países de abrangência do Aquífero Guarani

País	Área total do país	Área do Guarani	População estimada na área de ocorrência	População estimada na área de afloramento	Área de afloramento	
	km ²	km ²	%	habitantes	habitantes	km ² %
Brasil	8.511.965	839.800	70,2	24.856.696	2.565.347	104.143 67,8
Argentina	2.766.889	225.500	18,9	2.630.312	—	— —
Paraguai	406.752	71.700	6,0	1.858.562	1.043.809	46.211 30,1
Uruguai	176.215	58.500	4,9	578.698	145.000	3.197 2,1
Total		1.195.500	100	29.924.268	3.754.156	153.551 100

Fonte: Modificado de Boscardin Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2004, p. 130)

A área sobrejacente ao Aquífero Guarani, nas oito Unidades Federativas do Brasil, abrange cerca de 24,9 milhões de habitantes, o equivalente a 14,6% da população brasileira, tendo como referência o ano 2000. Ao alcançar 1.443 municípios representa 25,9% do total de municípios brasileiros. A área de afloramento possui cerca de 2,6 milhões de habitantes distribuídos em 279 municípios brasileiros (BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 141).

A Tabela 3-2 mostra a distribuição da população sobrejacente ao Aquífero Guarani nos oito Estados brasileiros e a área de ocorrência do mesmo – em km² – inclusive na área de afloramento.

Tabela 3-2: Área e população nos Estados brasileiros de abrangência do Aquífero Guarani

Estado	Área do Aquífero		Área total do Estado	Área do Estado com ocorrência do Aquífero		População sobrejacente ao Aquífero ano 2000	Área de afloramento no Estado		População sobrejacente ao afloramento ano 2000
	km ²	%		km ²	%		km ²	%	
Mato Grosso do Sul	213.200	25,4	357.471,50		59,6	1.900.749	31.299	8,8	141.396
Rio Grande do Sul	157.600	18,8	280.674,00		56,2	4.451.248	13.402	4,8	729.607
São Paulo	155.800	18,6	248.255,70		62,8	8.679.382	17.376	7,0	1.029.010
Paraná	131.300	15,6	199.323,90		65,9	5.663.522	8.992	4,5	271.619
Goiás	55.000	6,5	340.165,9		16,2	706.464	12.257	3,6	61.269
Minas Gerais	51.300	6,1	586.624,3		8,7	1.694.185	1.634	0,3	76.963
Santa Catarina	49.200	5,9	95.318,3		51,6	1.680.411	5.984	6,3	171.748
Mato Grosso	26.400	3,1	901.420,7		2,9	80.735	13.199	1,5	80.735
Total	839.800	100,0				24.856.696	104.143		2.562.347

Fonte: Modificado de Boscardin Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2004, p. 138)

3.5.3 Características geológicas

O Aquífero Guarani compõe a unidade hidrogeológica da bacia sedimentar do Paraná e Chaco-Paraná, essa unidade é formada por arenitos eólicos de idade Jurássica e por

depósitos flúvio-lacustres de idade Triássica, que ocorrem sob os derrames de rochas vulcânicas de idade Jurássico Superior e Cretáceo Inferior (REBOUÇAS; AMORE, 2002).

Esse sistema hidroestratigráfico de camadas arenosas que se depositaram na bacia sedimentar do Paraná ao longo da era Mesozóica, é constituído tanto pelas formações correlatas – Pirambóia e Rosário do Sul, no Brasil e Buena Vista, no Uruguai – quanto pelas formações correlatas – Botucatu no Brasil, Misiones no Paraguai e Tacuarembó no Uruguai e Argentina (REBOUÇAS, 2002b, p. 137).

O Guarani é um aquífero confinado por basaltos da formação Serra Geral, do período Cretáceo, e por rochas Permo-triássicas de baixa permeabilidade (ARAÚJO; FRANÇA; POTTER, 1995). A formação Serra Geral constitui-se na capa protetora do Aquífero Guarani e é composta por rochas ígneas vulcânicas – representadas por basaltos. Os basaltos recobrem cerca de 90% de área e conferem-lhe as características de um aquífero regional confinado (ROCHA, 1997, p. 193).

Na era Paleozóica – em um passado geológico de centenas de milhões de anos – a bacia do Paraná esteve sob influência da invasão do mar, de glaciação e de tectonia. Sequências de estratos e camadas de sedimentos finos – argilas, siltes, calcários – foram depositadas, em períodos distintos, com centenas de metros de espessura.

Quando o mar regrediu – a partir do período Triássico –, e não mais retornou, rios e lagos formaram-se nesse ambiente continental. Com a contínua modificação do clima, o ambiente tornou-se desértico e um novo ciclo de sedimentação iniciou-se com sedimentos arenosos, argilosos, lacustrinos, fluviais e eólicos, estabelecendo a formação Pirambóia. Com o clima ainda mais severo, toda a região transformou-se em um imenso deserto, com deposição de arenitos eólicos em sucessivos campos de dunas, constituindo a formação Botucatu, de topografia suave, semelhante ao atual deserto do Saara (ROCHA, 1997, p. 192).

No momento quando, até então, predominavam as condições desérticas, no início do período Cretáceo, a bacia do Paraná foi intensamente afetada por intensos e sucessivos derrames de lavas basálticas que recobriram quase todo o deserto de Botucatu e atingiram, em determinadas áreas, 1.500 metros de espessura. Extensos falhamentos, soerguimento das bordas e arqueamento foram gerados por essas perturbações tectônicas e marcaram a

estrutura atual da bacia do Paraná. No Cretáceo Superior, já em clima de semi-árido, depositaram-se sobre os basaltos, na porção setentrional da bacia, seqüências de arenitos calcíferos, dos grupos Caiuá e Bauru, e esses constituíram uma sobrecaja do pacote confinante do Aquífero, em uma escala regional (ROCHA, 1997, p. 193).

O Quadro 3-2 relaciona um resumo dos aspectos litoestratigráficos das formações Pirambóia e Botucatu, bem como a era/época dessas formações.

Quadro 3-2: Descrições das formações Pirambóia e Botucatu

	Formações	
	Pirambóia	Botucatu
Era/época	Mesozóica - Triássico 245-208 milhões de anos	Mesozóica - Jurássico inferior 208-144 milhões de anos
Localização	Brasil/Uruguai	Brasil/Paraguai/Uruguai/Argentina
Unidades correlatas	Rosário do Sul –Brasil Buena Vista – Uruguai	Misiones – Paraguai Tucuaembó – Argentina e Uruguai
Origem	Flúvio-lacustre/eólica	Eólica desértica
Arenitos	Sedimentos Avermelhados a esbranquiçados	Sedimentos Avermelhados
Granulometria	Média a muito fina 0,12 mm	Fina a média 0,18 mm
Textura dos grãos	Ampla heterogeneidade Argila nos poros	Grande homogeneidade Grãos de quartzo arredondados
Teor de argila	> 20%	< 10%
Porosidade	Baixa - média de 16%	Alta - média de 17%
Condutividade hidráulica	Inferior a 0,01 até 4,6 m/dia	De 0,2 a 4,6 m/dia

Fonte: Rebouças (1976); Araújo, França e Potter (1995); Milani et al (apud BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 145)

A Figura 3-11 ilustra a carta estratigráfica da bacia sedimentar do Paraná. Indica a geocronologia – eras e períodos –, as espessuras máximas, as litologia, as seqüências deposicionais e a evolução tectônica, bem como o ambiente deposicional.

O Quadro 3-3, posicionado em seguida à Figura 3-11, traz a coluna estratigráfica da bacia do Paraná.

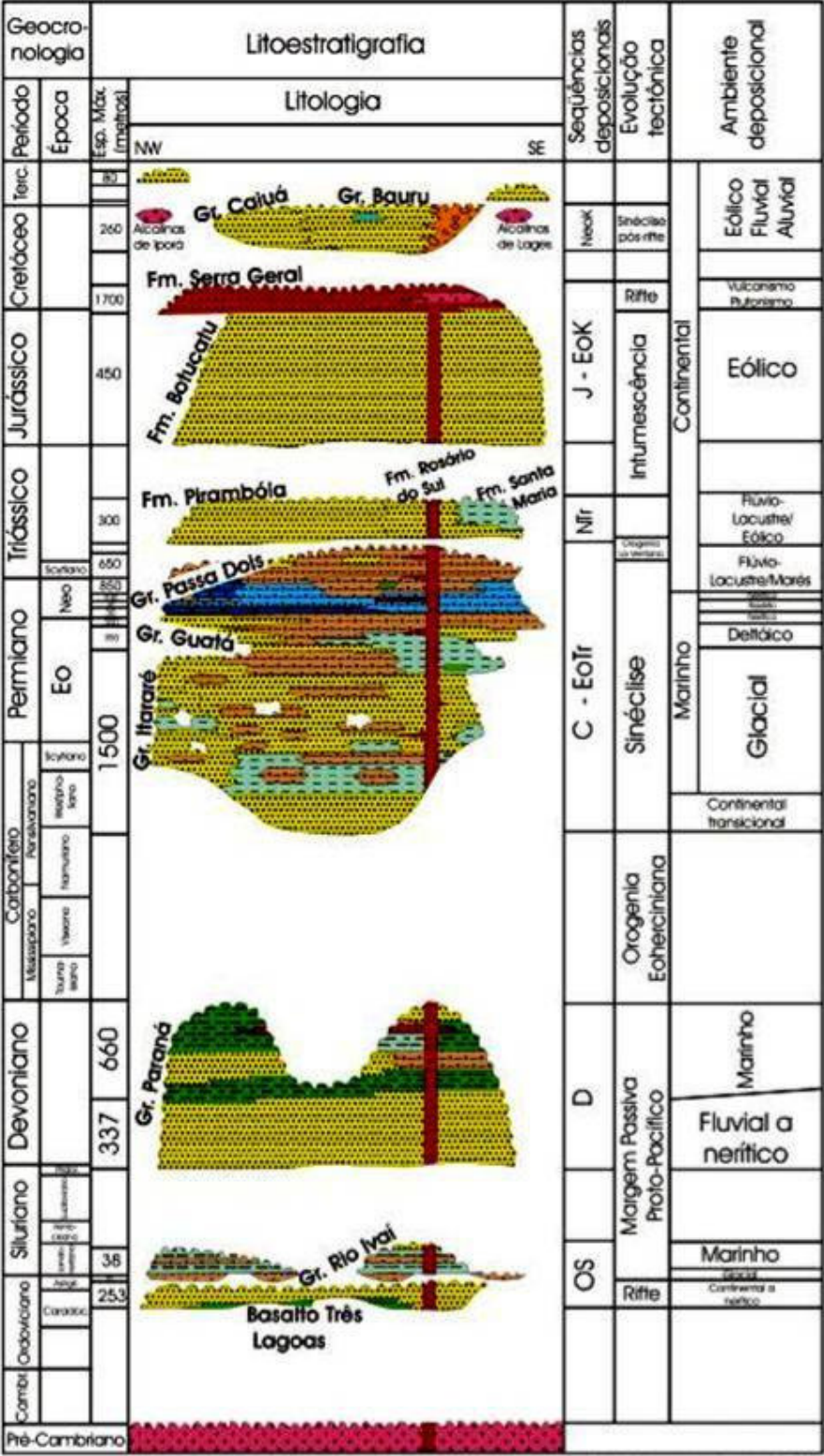


Figura 3-11: Carta estratigráfica da bacia do Paraná
Fonte: Modificado de Milani et al. (1997 apud CPRM, 2006)

Quadro 3-3: Coluna estratigráfica da bacia do Paraná.

Cronoestratigrafia					Litoestratigrafia	Descrição sumária	Ambiente provável					
Era	Período	Série	Andar	Grupo	Formação							
Cenozóico 65 m.a.	Quart 18 m.a.				sem denominação	Areias e aluviões mal consolidados	Aluvião, coluvião e aluvião					
	Terc. 65 m.a.				sem denominação	Sedimentos areno-argilosos vermelhos						
Mesozóico 250 m.a.	Cretáceo 145 m.a.	Sup.		Bauru	Marília Adamantina Santo Anastácio	Arenitos, Siltitos localmente calcíferos, cor marrom avermelhada c/ fósseis de vertebrados calcário no topo	Continental, fluvial e lacustre					
		Inf.			Caiuá	Arenito vermelho com estratificação cruzada	Continental eólico					
	Jurássico 210 m.a.		São Bento	Serra Geral Botucatu Pirambóia Rosário do Sul (Rio Grande do Sul)	Derrames de basalto toleítico c/ inúmeras intercalações de arenito eólico róseo amarelado	Vulcanismo de fissura em clima árido						
					Arenito róseo amarelado fino a médio bem arredondado com estratificação cruzada, localmente conglomerática	Continental eólico, localmente fluvial						
	Triássico 250 m.a.				Sup. Méd	Arenito e Siltito argiloso vermelho muito fino com estratificação cruzada	Continental eólico fluvial lacustre e fluvial					
					Inf.							
	Paleozóico 590 m.a.	Permiano 290 m.a.	Sup.	Kazanian.	Passa Dois	Rio do Rastro	Arenito, Folhelho e Siltito	Continental fluvial				
						Estrada Nova	Arenito e Siltito	Transicional				
Irati						Calcário; Siltito	Planície de mares; Mar raso					
Méd.			Kungur.	Tubarão	Argilito	Folhelho e Argilito	Marinho restrito ?					
					Palerno	Siltito arenoso	Marinho nerítico					
					R. Bonito	Arenito; Siltito arenoso; Arenito	Mar Transg; Cont., Plan de mares; Deltáico; Marinho regres.					
Carbonífero 360 m.a.		Sup.	Artinsk. Sakmar. Stephan. Westphal. Namur.		Itararé	Siltito; Ritmitos; Folhelhos Arenitos; Folhelho várvido	Planícies de mares; Marinho Influência. glacial					
					Aquidauana	Folhelhos	Marinho c/ turbiditos					
		Arenitos e siltito	Continental fluvial e lacustre									
Devoniano 408 m.a.		Inf.	Dinant.	?	Paraná	Ponta Grossa ?	Siltito e Folhelho Folhelho Siltito	Marinho nerítico Marinho intranerítico Continental nerítico				
						Furnas ?	Arenito	Continental fluvial marinho cost.				
						Sil. 438 m.a.					Sedimentos Vila Maria MT	
						Ord. 505 m.a.						
Camb. 505 m.a.												
Pré-cambriano					Embasamento metamórfico ou cristalino							

Fonte: Modificado de Northfleet et al. (apud PETRI; FÚLFARO, 1983, p. 31)

A Figura 3-12 e a Figura 3-13 ilustram a frente – ou borda – da Cuesta de Botucatu, que constitui-se em um dos melhores locais, na parte paulista da bacia do Paraná, para observação de determinadas feições que caracterizam os antigos desertos formadores do Aquífero Guarani em sua zona de afloramento (JORNADA ESTADUAL AQUIFERO GUARANI, 2006, p. 30-31).

Na Figura 3-12 observa-se o contato entre os dois sistemas deposicionais distintos: sedimentos avermelhados do arenito da formação Botucatu e o arenito vermelho-esbranquiçado da formação Pirambóia.



Figura 3-12: Arenito Botucatu, coloração avermelhada e arenito Pirambóia, coloração vermelho-esbranquiçado

A Figura 3-13 evidencia as formações Botucatu e Pirambóia recobertas por basaltos da formação Serra Geral na zona de afloramento do Aquífero Guarani na Cuesta de Botucatu no Estado de São Paulo.

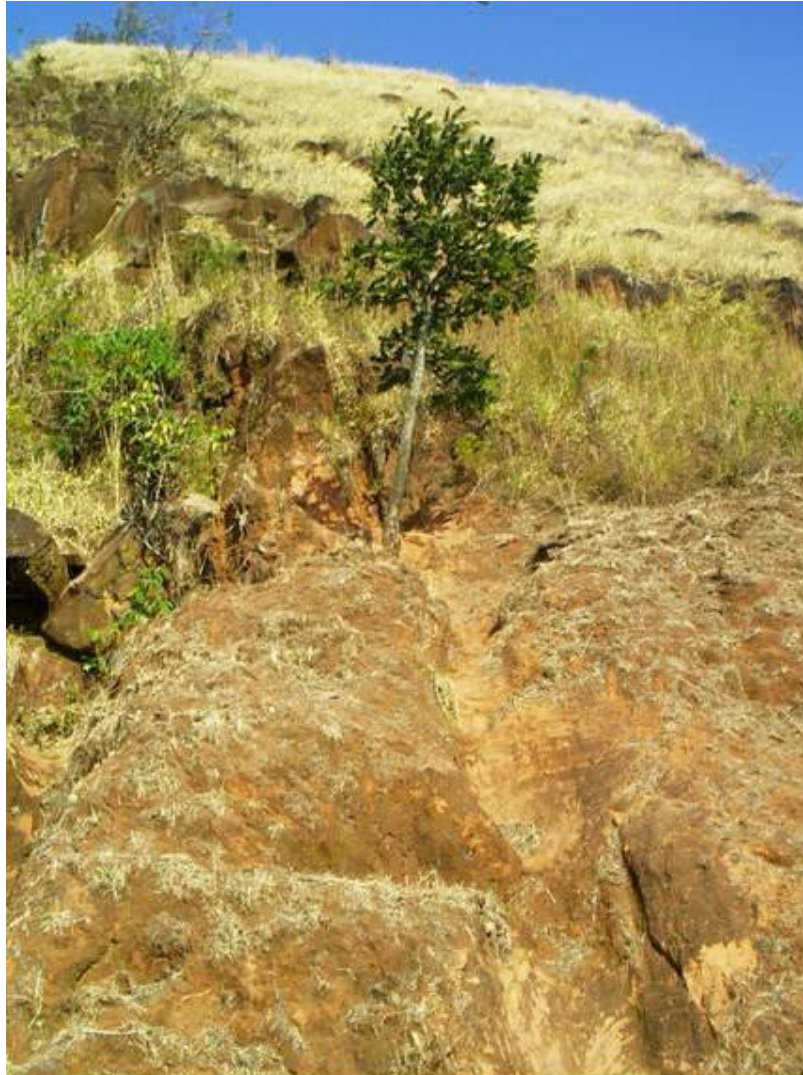


Figura 3-13: Arenitos Botucatu e Pirambóia recobertos por basaltos da formação Serra Geral na Cuesta de Botucatu

Enquanto os arenitos apresentam consistência arenosa – extremamente frágil do ponto de vista da resistência à erosão – as rochas basálticas da formação Serra Geral mostram-se mais resistentes à erosão e sustentam a Cuesta de Botucatu (JORNADA ESTADUAL AQÜÍFERO GUARANI, 2006, p. 37).

A Figura 3-14 demonstra as diferenciações litológicas entre o basalto da formação Serra Geral e os arenitos Botucatu e Pirambóia, respectivamente, em amostras recolhidas *in loco* na Cuesta de Botucatu – zona de afloramento e de recarga do Aquífero.



Figura 3-14: Amostras de basalto da formação Serra Geral, dos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia, respectivamente, identificados na Cuesta de Botucatu, zona de afloramento e de recarga do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo

Em resumo, tem-se que a estrutura física atual do Aquífero Guarani é resultante dos derrames de basaltos sobre a massa depositada dos arenitos, da ativação de falhamentos e arqueamentos regionais, bem como do soerguimento das bordas. Rocha (1995, p. 193) descreve que na subsuperfície há uma profunda calha central de direção nordeste-sudoeste,

praticamente coincidente com os atuais cursos dos rios Paraná e baixo Uruguai, para onde mergulham as camadas de arenitos advindas das bordas leste e oeste.

A Figura 3-15 exemplifica o arcabouço estrutural do Aquífero Guarani e as espessuras das formações mesozóicas em duas seções geológicas de direções distintas: AB (Argentina - Minas Gerais/Goiás) e CD (Campo Grande - São Paulo). As seções citadas encontram-se discriminadas esquematicamente no mapa territorial locado no canto direito inferior da Figura 3-15.

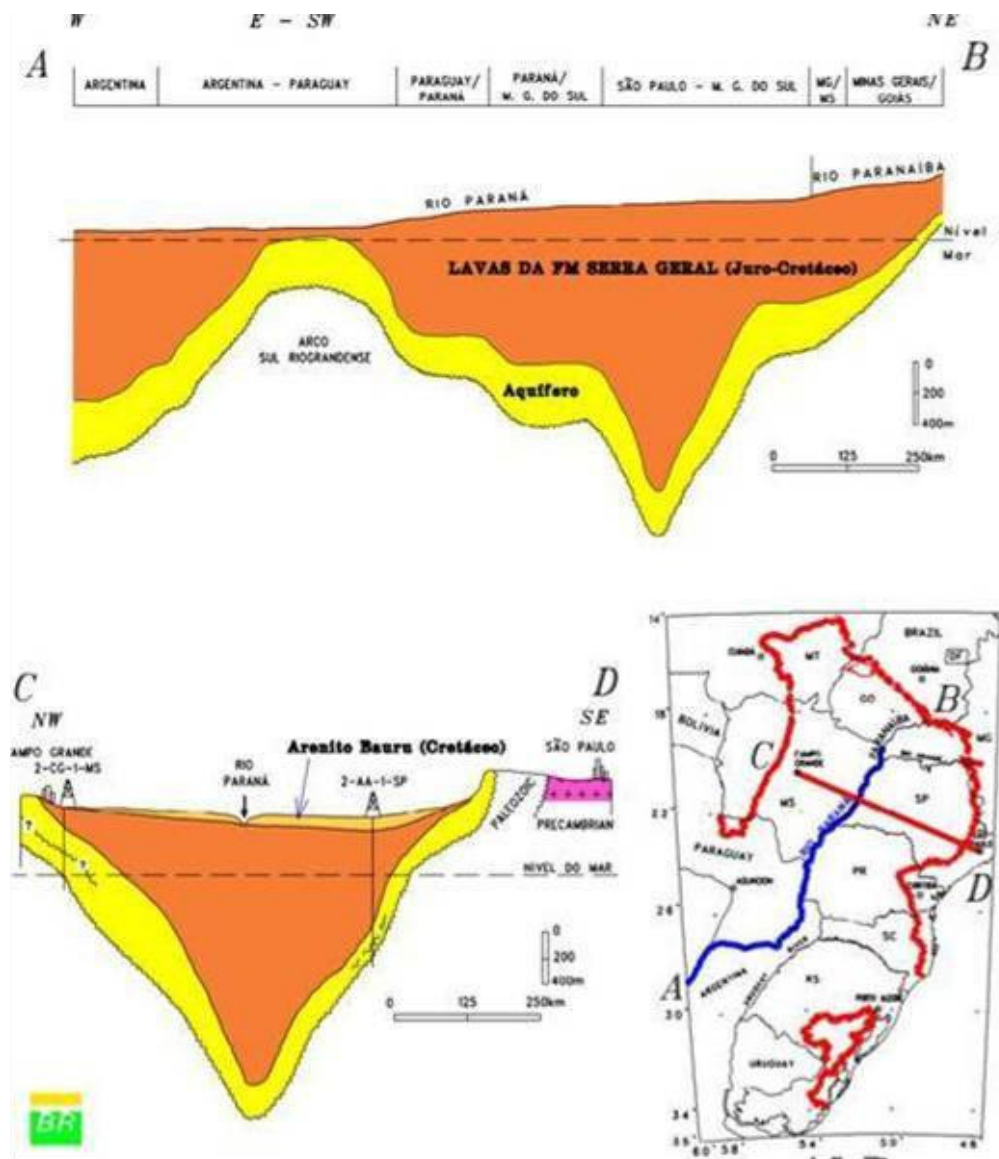


Figura 3-15: Seções geológicas representando o Aquífero Guarani

Fonte: Araújo, França e Potter (1995)

3.5.4 Arcabouço hidrogeológico

O arcabouço hidrogeológico das rochas sedimentares em questão desenvolveu-se a partir do período Cretáceo. Estima-se que os fluxos gravitacionais meteóricos tenham iniciado a percolação há mais de 100 milhões de anos. As características hidrogeológicas do Aquífero Guarani variam significativamente no interior da gigantesca bacia intracratônica do Paraná. Tais diferenciações advêm da mudança do ambiente de deposição, da evolução estrutural e do tempo de residência das águas (ARAÚJO; FRANÇA; POTTER, 1995).

Dados hidroquímicos possibilitam indicar que pode ocorrer uma interconexão hidráulica entre o Aquífero Guarani e os aquíferos sobrepostos, em especial com o Serra Geral (BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 145).

No Paraná a maior parte das águas do Aquífero Guarani, em poços próximos da faixa de afloramento, possuem características físico-químicas das águas dos basaltos da formação Serra Geral. Esse fato indica que os basaltos permitem a passagem de água através de fraturamentos, desde a superfície até o Aquífero Guarani (ROSA FILHO et al, 1998 apud STRUGALE, 2002, p. 89).

Dados hidroquímicos confirmam, por exemplo, que na região central do Arco de Ponta Grossa, Paraná, as águas do aquífero Serra Geral são resultantes de conexão hidráulica com o Aquífero Guarani, evidenciando a mistura das águas (PORTELA, 2003, p. 117).

Segundo Araújo, França e Potter (1995), quando o contato da porção inferior do Aquífero Guarani é com o Aquítarde – rochas de baixa permeabilidade – Permo-triássico, saturado por águas doce e salobra, nas regiões mais confinadas do Aquífero – localizadas na calha central da bacia do Paraná – e nas áreas de menor circulação efetiva de águas meteóricas, pode ocorrer contaminação por meio de águas mais salinas provenientes desse Aquítarde, inviabilizando a potabilidade da água. Além disso, a potabilidade, conforme esses autores, pode ser afetada por enriquecimento de certos íons considerados nocivos à saúde. Ao descrever o Aquífero Guarani como portador de água excelente para consumo humano em maior parte da bacia, esses autores indicam que, localmente, pode ocorrer alteração na qualidade em função do aumento da salinidade e do conteúdo de flúor.

Araújo, França e Potter (1995) descrevem que os estratos eólicos do Jurássico constituem-se em bons aquíferos em praticamente toda bacia, enquanto os estratos flúvio-lacustre/eólico do Triássico, afetados por altos níveis de argilosidade, comprometem substancialmente a eficiência hidráulica em determinadas áreas.

O teor de argila constitui-se o principal meio de distinção entre essas duas unidades, conforme exposto no Quadro 3-2. A mudança faciológica, causada por diferentes ambientes deposicionais, controlou a permeabilidade dos estratos. Os estratos jurássicos são, em geral, pobremente cimentados, com porosidade média de 17% e condutividade hidráulica da ordem de 0,2 a 4,6 m/dia, de boa maturidade textural e com arcabouço constituído por grãos de quartzo bem arredondados e selecionados. Os estratos do Triássico, de modo geral, apresentam menor maturidade textural e maior quantidade de argilas nos poros, com porosidade média de 16% e condutividade hidráulica inferior a 0,01 até 4,6m/dia (ARAÚJO; FRANÇA; POTTER, 1995).

O Quadro 3-4 demonstra determinadas estimativas volumétricas de reservas – permanente e ativa – e potencial explotável para o Aquífero Guarani, segundo os autores Rebouças (1976 apud CHANG, 2001, p. 7), Rocha (1995 apud CHANG, 2001, p. 7) e Chang (2001, p. 7)

De acordo com visto no Capítulo 3, item 3.1, as reservas estáticas ou permanentes, convencionalmente, incluem águas subterrâneas cujos períodos completos de renovação prolongam-se por muitos anos, décadas ou milênios.

Para a estimativa da reserva permanente – produto obtido pela multiplicação da área total de abrangência do Aquífero Guarani, tanto por uma espessura saturada média quanto por uma porosidade eficaz – Rebouças (1976 apud CHANG, 2001, p. 7) e Rocha (1995 apud CHANG, 2001, p. 7) alcançaram resultados diferenciados por adotarem parâmetros distintos, valores estes discriminados no Quadro 3-4.

Conforme mencionado no Capítulo 3, item 3.1, as reservas renováveis, ativas ou reguladores são aquelas com ciclo de recarga anual.

Para compor o Quadro 3-4, Rebouças (1976 apud CHANG, 2001, p. 7) estimou a reserva ativa ao somar a contribuição da infiltração direta e indireta. Para a infiltração direta

considerou uma recarga equivalente a 15% da pluviometria média anual de 1.500 mm em uma área de recarga de 87.000 km². Para a avaliação da infiltração indireta, o autor utilizou os parâmetros: condutividade hidráulica de 5.10^{-8} m/s, valor médio de diferença de potencial de 100 m e espessura média de camada infiltrante de 400 m.

Rocha (1995 apud CHANG, 2001, p. 7) estimou a reserva ativa ao utilizar os parâmetros: pluviometria média anual de 1.500 mm, área de recarga de 150.000 km² e coeficiente de armazenamento de 10^{-4} . Esse autor avaliou ainda o potencial explotável, em km³ por ano, em 25% da reserva ativa por ele obtida, observar dados no Quadro 3-4.

Chang (2001, p. 7) estimou somente a reserva ativa referente à recarga direta através das áreas aflorantes, em km³ por ano. O autor adotou um valor médio de recarga de 4%, área aflorante de 89.936 km² e pluviometria anual variando entre 1.300 e 1.500 mm, observar dados no Quadro 3-4.

Quadro 3-4: Estimativas volumétricas de reserva permanente, reserva ativa e potencial e potencial explotável para o Aquífero Guarani

Parâmetro		Rebouças (1976 apud CHANG, 2001, p. 7)	Chang (2001, p. 7)	Rocha (1995 apud CHANG, 2001, p. 7)
Área total km²		800.000	—	1.000.000
Porosidade efetiva %		20	—	15
Espessura média m		300	—	250
Reserva permanente km³		48.021	—	37.000
Reserva ativa km³/ano	infiltração direta	22	5,2	—
	infiltração indireta	138	—	—
	total	160	—	160
	(inf. direta + inf. indireta)			
Potencial explotável	km³/ano	—	—	40

Fonte: Modificado de Chang (2001, p. 7)

3.5.5 Especificidades hidrogeológicas

Machado (2005, p. 1) propõe uma reavaliação das potencialidades do Aquífero Guarani e fundamenta sua visão com estudos que demonstram que o mesmo está compartimentado em vários blocos e apresenta ser diversos aquíferos compondo um sistema, o *Sistema Aquífero Guarani* – SAG, com potencialidades muito diversas.

Montaño et al (2004) consideram que o SAG não constitui um sistema homogêneo e a aparente homogeneidade apresentada em muitas publicações deve-se simplesmente a zonas com falta de dados ou de estudos detalhados.

Rosa Filho (2004) descreve que, para o avanço do conhecimento do SAG, é fundamental aprofundar as pesquisas. O autor descreve como resultados parciais as seguintes considerações:

- a continuidade do fluxo da água subterrânea não pode ser estendida a todo o SAG;
- a compartimentação – por falhamentos geológicos expressivos e por intrusões de rochas – funciona como barreira hidráulica local, segmenta o sistema e afeta o fluxo e a qualidade da água;
- a potencialidade é relacionada à espessura do reservatório e, como a mesma varia, a capacidade de produção é alterada com as características de cada compartimento;
- a água de qualidade não adequada para consumo humano, em função da salinidade ou da presença de substâncias nocivas à saúde humana, pode ser utilizada em atividades diversas, por exemplo, turismo termal/terapêutico e agroindústria,
- ainda que as formações geológicas ocorram em todos os quatro países, sob o ponto de vista hidráulico, o SAG não é transfronteiriço em toda a sua área de ocorrência.

A Figura 3-16 ilustra uma compartimentação do SAG por rochas basálticas, onde essas rochas funcionam como barreira hidráulica e segmentam o sistema e o fluxo de água. A Figura também exemplifica, esquematicamente, um poço profundo explorador nesse bloco individualizado do SAG.

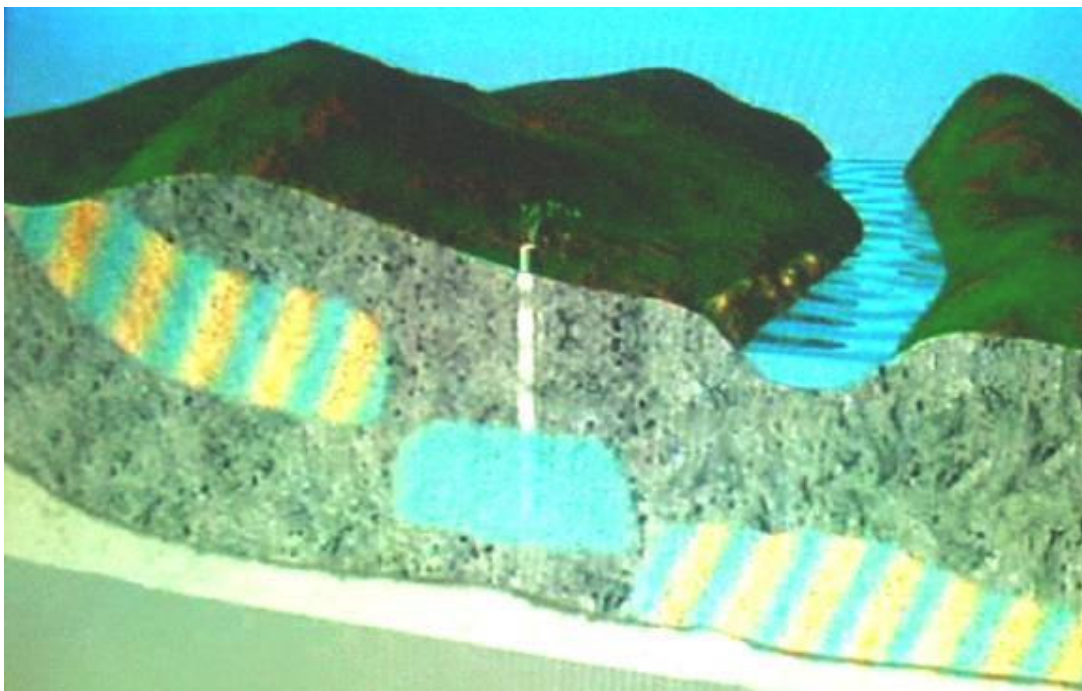


Figura 3-16: Exemplo esquemático de compartimentação local no Sistema Aquífero Guarani e de poço profundo explorador nesse bloco individualizado

Fonte: Modificado de O Magnífico Aquífero Guarani (2004)

3.5.6 Uso e potencial geotérmico

Segundo Boscardin Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2004, p. 153), no Aquífero Guarani a ocorrência de água termal não se dá devido à existência de câmaras magmáticas, mas sim em função do acréscimo de temperatura com a profundidade, no sentido superfície - centro da Terra. Esse acréscimo é denominado gradiente geotérmico – expresso normalmente em °C/m ou em °C/km.

O valor médio do gradiente geotérmico terrestre é cerca de 1°C/34m, ou seja, a temperatura da água aumenta 1°C a cada 34 metros de profundidade, ou similarmente, a 29°C/km, que corresponde a um acréscimo de 29°C a cada quilômetro perfurado .

Conforme Teissedre e Barner (1981 apud BOSCARDIN BORGHETTI, BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 153), a relação entre a temperatura da água em função da profundidade, pode ser expressa conforme a Equação 3.1:

$$T = 0,0282.P + 22 \quad (3.1)$$

Em que, na Equação (3.1):

- T é a temperatura, em °C, na saída do poço $[θ]$;
- P é a profundidade do topo do aquífero, em metros $[L]$;
- 22 é a temperatura média anual, em °C, da região considerada $[θ]$.

Neste contexto, cabe comentar acerca do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, elaborado com recursos financeiros fornecidos por meio do *Global Environment Facility* – GEF, que tem o Banco Mundial como agência implementadora e a Organização dos Estados Americanos – OEA, como agência executora internacional. Esse Projeto inclui, dentre outros estudos, o Relatório Final, que descreve o uso atual e potencial do Aquífero Guarani (SISTEMA AQUÍFERO GUARANI, 2006b).

O Relatório Final citado, intitulado *Uso atual e potencial do Aquífero Guarani*, traça um cenário do SAG e destaca a presença de águas com teores anômalos de flúor e salinidade. Chang (2001, p. 21-22) considera essas águas, com teores anômalos de flúor e salinidade, embora restritivas para consumo humano, como utilizáveis em atividades de lazer e limpeza em geral. Em termos de aproveitamento térmico, o mencionado autor, mostra diversas aplicações: secagem e armazenamento de grãos, secagem de madeiras, evisceração e limpeza de aves, utilização em centros de lazer e hidroterápicos, além de indicar o uso na produção de metano, cuja produção é intermediada por bactérias – que necessitam da manutenção de temperatura na faixa de 30 a 50°C –, o metano pode ser obtido em locais onde a criação de aves e suínos produz grande quantidade de rejeitos orgânicos.

Chang (2001, p. 32-33) expõe que as áreas do SAG favoráveis à ocorrência de águas termais superiores a 38°C chegam a aproximadamente 380.000 km² – o equivalente a 45% da área de ocorrência do Aquífero Guarani no Brasil – e apresenta o sistema geotérmico como sendo de baixa entalpia, ou seja, possuidor de valores energéticos relativamente baixos, em função da predominância de águas situadas na faixa de temperatura entre 30 e 60°C. O autor relata, além disso, o aproveitamento um tanto marginal em relação ao potencial hidrogeotermal e sugere mais estudos de viabilidade técnica e econômica, iniciando-se por usos normalmente citados como potenciais. Ainda que restritas a determinadas áreas geográficas, as perspectivas para a energia geotérmica podem ser promissoras, segundo esse autor.

No Capítulo 5, item 5.2, que tem por referência o Estudo de Caso na cidade de Cachoeira Dourada, é demonstrado o uso do termalismo do Aquífero Guarani em uma simulação de aproveitamento energético para pré-aquecimento de água superficial.

Na sequência dessa Dissertação, os Capítulos 4 e 5 têm como objetivo contribuir para um maior conhecimento acerca do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro e na cidade de Cachoeira Dourada.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este Capítulo mostra os resultados do estudo teórico e da Pesquisa exploratória acerca do uso e exploração, bem como das potencialidades do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro. Apresenta mapas e quadros elaborados com os dados obtidos, fotografias dos poços tubulares profundos exploradores e o conjunto de novos conhecimentos acerca do Aquífero Guarani na região delimitada.

4.1 Área de abrangência da Pesquisa

Conforme descrito no Capítulo 2, que trata da metodologia utilizada nesta Dissertação, o Triângulo Mineiro está inserido, de acordo com o mapa de divisões territoriais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba do Estado de Minas Gerais.

Em função da grande extensão territorial da mesorregião considerada, a área representativa do Alto Paranaíba não foi inserida nessa Pesquisa. Cabe a sugestão, para um maior reconhecimento acerca do Aquífero Guarani em Minas Gerais, de um estudo em áreas sobrejacentes aos arenitos externamente à porção do Triângulo Mineiro, incluindo tanto o Alto Paranaíba quanto fração da mesorregião Sul-Sudoeste de Minas. Esta Pesquisa, embora haja delimitação do espaço físico, ainda assim, abrange a maior extensão do Aquífero Guarani no Estado de Minas Gerais.

Ressalta-se que o município de Sacramento – no Alto Paranaíba – tem localização privilegiada em relação ao Aquífero Guarani, estrategicamente posicionado sobre a área potencial de recarga direta, apresenta o afloramento dos arenitos e constitui-se, portanto, em um local expressivo para o estudo do Aquífero em Minas Gerais.

De acordo com Chang (2001, p. 13-14), poços exploratórios localizados na região de Sacramento e em porções extrapoladoras do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba, conforme mostrado na Figura 4-1, foram reconhecidos em seu Relatório Final *Uso atual e potencial do Aquífero Guarani*, Relatório já citado no Capítulo 3, subitem 3.5.6

A Figura 4-1 aponta a localização de 930 poços cadastrados no SAG, segundo Chang (2001, p. 13). Cabe comentar a grande densidade dos mesmos próximos e junto à faixa de afloramento – delimitada por linhas vermelhas na ilustração da Figura citada.

O mapa da Figura 4-1, publicado em 2001, não incluiu todos os poços exploradores existentes no Triângulo Mineiro, com exceção do poços de Uberaba e Frutal. A inclusão, neste trabalho, dos nove poços exploradores de Cachoeira Dourada, dos dois poços de Conceição das Alagoas e do uso atual dos três poços de Uberaba e do poço de Frutal, ampliam o conhecimento acerca da exploração no Triângulo Mineiro.

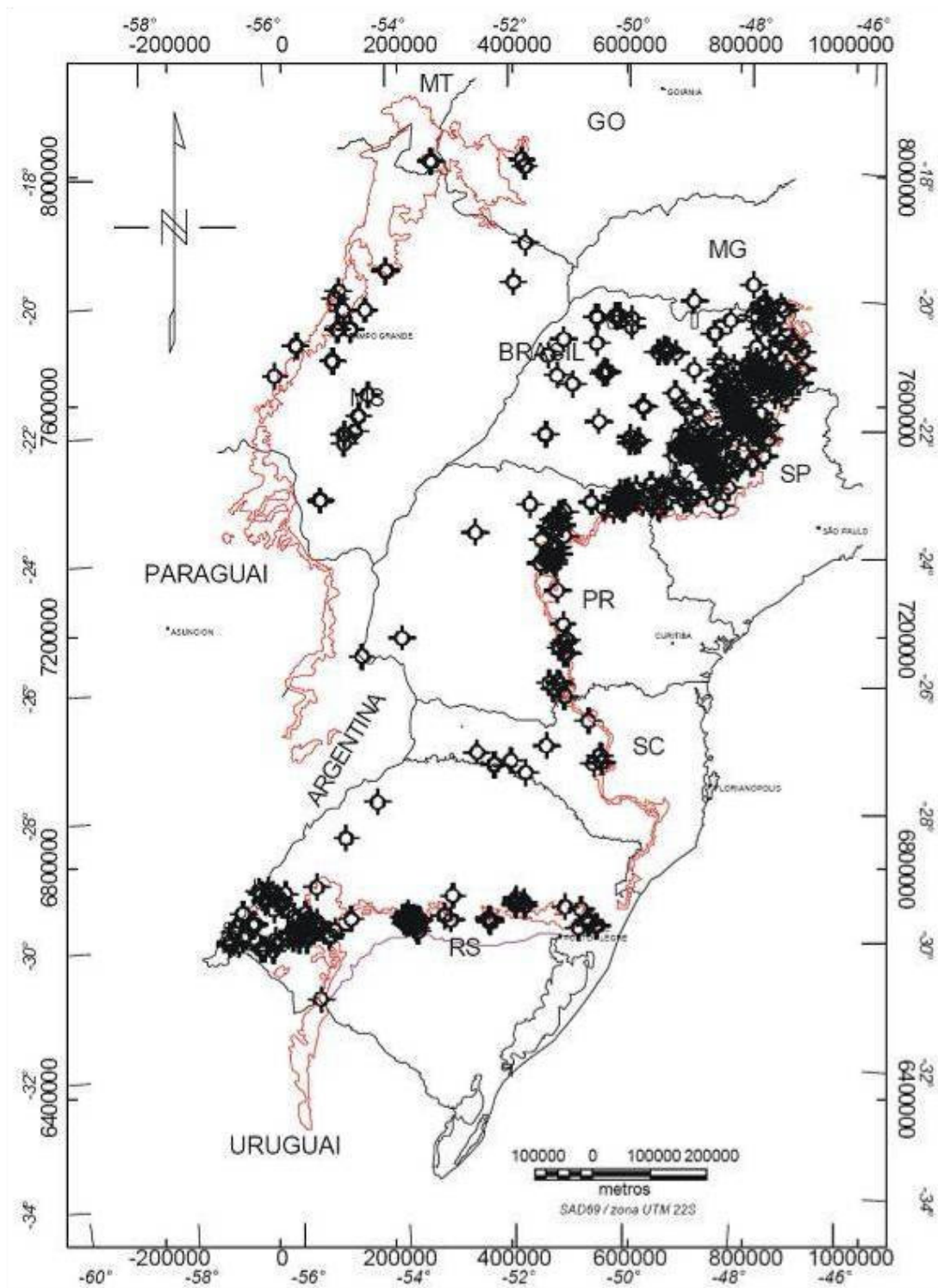


Figura 4-1: Localização de 930 poços exploradores do SAG de acordo com o Relatório Final do *Uso atual e potencial do Aquífero Guarani* publicado em 2001

Fonte: Chang, 2001, p. 13

4.2 Resultados da Pesquisa exploratória

A metodologia empregada baseou-se em pesquisa dos locais onde há, efetivamente, poços exploradores do Aquífero Guarani. A Pesquisa iniciou-se por meio de questionamentos em órgãos e entidades comprometidos com o meio ambiente ou que abordem, em seus mecanismos institucionais, as águas do Aquífero Guarani, tanto como recurso hídrico quanto como recurso mineral.

A AMVAP e o CISAM, ambos com sede em Uberlândia, e com abrangência em parte do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, auxiliaram a Pesquisa como fonte de consulta. O IGAM, o DNPM, a COPASA, as Secretarias Municipais de Água e Esgoto e os Comitês de Bacias Hidrográficas foram consultados para o levantamento de informações. Ressalta-se que resultados consistentes foram obtidos com auxílio da AMVAP, do CISAM, da COPASA, das Secretarias Municipais e dos Comitês de Bacias Hidrográficas, excluindo-se, neste caso, o DNPM e o IGAM.

O IGAM, órgão estadual responsável pela promoção e execução da Política Estadual de Recursos Hídricos e que coordena a chamada Agenda Azul do Estado de Minas Gerais em temas relacionados à Gestão de Recursos Hídricos, tais como outorga, ao ser consultado e solicitado a auxiliar a esta Pesquisa, mostrou-se interessado. Entretanto, o órgão não tem oficialmente dados estaduais, até então, sistematizados e disponíveis, referentes ao Aquífero Guarani, embora contribua em programas relativos ao mesmo como, por exemplo, o Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, mencionado no Capítulo 3, subitem 3.5.6.

Em comunicação oral, durante o I Simpósio Latino-Americano de Monitoramento das Águas Subterrâneas, realizado em Belo Horizonte, Minas Gerais, entre 23 e 26 de abril de 2006, a chefe da divisão de regulação e controle do IGAM – Maria Luiza Silva Ramos – alegou que um dos motivos da, ainda, não sistematização de dados referentes ao Aquífero Guarani no IGAM, deve-se ao fato de que, no passado, ao exigir o preenchimento do Formulário de Caracterização do Empreendimento – FCE – necessário para o requerimento de outorga de direito de uso das águas subterrâneas no Estado, esse Instituto não incluía referências completas acerca do aquífero a ser explorado, situação atualmente alterada. A

chefe da Divisão, além disso, informou que FCEs antigos, até então, não se encontram digitalizados, o que dificulta as consultas ao acervo de dados desse órgão.

Atualmente o FCE disponível na internet insere questionamentos acerca do aquífero a ser explorado. O Formulário atual tem como opção, para a exploração do Aquífero Guarani, em suas tabelas complementares anexas, a unidade geológica correspondente – os arenitos jurássico e cretáceo da formação Botucatu (IGAM, 2006).

Em síntese, o IGAM ainda não dispõe de uma lista completa e disponível referente aos poços mineiros exploradores do Aquífero Guarani.

Após consulta ao sítio do IGAM na internet verificou-se que, no Requerimento de Renovação de Outorga disponibilizado, não há a inclusão dos novos questionamentos presentes no atual FCE (IGAM, 2006). Pode-se sugerir a esse Instituto, como sugestão, a inserção de quesitos para a especificação do Aquífero Guarani, de modo que se tenha com as renovações de outorgas, um cadastro dos poços exploradores do Aquífero Guarani nesse órgão estadual de gestão das águas. Ressalta-se a provável dificuldade de reconhecimento do perfil estratigráfico do poço recadastrado, seja por insuficiência de dados relativos à perfuração ou por troca de proprietário, ou ainda, devido ao tempo decorrido, dentre outras possíveis causas.

O DNPM, por meio de sua Portaria nº 378 de 21, de agosto de 2002, criou o Comitê Permanente de Estudos do Aquífero Guarani com o objetivo de prover esse Departamento de conhecimentos técnicos (BRASIL, 2002). Consultado oralmente, em outubro de 2006, em relação à possibilidade de disponibilizar dados para esta Dissertação, o geólogo José Antonio Menezes de Paiva, Gestor de Fiscalização do 3º Distrito do DNPM/MG, alegou a necessidade de uma autorização prévia, a ser fornecida pelo titular da mineração responsável pela exploração da água mineral em questão, para que o DNPM proporcionasse o apoio solicitado. Em função dessa exigência, o órgão gestor da produção mineral não pôde contribuir diretamente para a Pesquisa.

Os seguintes Comitês de Bacias Hidrográficas, com competência no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e com áreas de atuação sobrejacentes ao Aquífero Guarani, foram convidados a contribuir com informações para a Pesquisa: CBH dos afluentes mineiros do Baixo Paranaíba – PN3, CBH dos afluentes mineiros do Baixo rio Grande – GD8 e CBH

do rio Araguari – PN2. O CBH do rio Dourados – PN1 não foi consultado, em função da ausência ou de uma presença inexpressiva dos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia, em sua área de planejamento. O CBH dos afluentes mineiros do Médio rio Grande – GD7, não foi consultado, por situar-se externo à região do Triângulo Mineiro. O CBH GD7 é evidenciado por abranger fração pequena do Alto Paranaíba e por englobar o significativo município de Sacramento, conforme citado no item 4.1.

O tema desta Dissertação, *Exploração e Uso do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro*, discutido em reuniões formais dos referidos Comitês consultados, despertou interesse referente aos resultados desta Pesquisa. Mas esses Comitês alegaram, como resposta à solicitação de auxílio, que não possuíam dados relativos à exploração do Aquífero Guarani, mesmo tendo como objetivo a gestão dos recursos hídricos. Cabe lembrar que os Comitês de Bacias Hidrográficas não têm inferência quando a água subterrânea é explorada como recurso mineral, conforme disposto no Capítulo 3, subitem 3.4.3, que trata das águas subterrâneas no Código de Águas Minerais de 1945.

Embora não haja informações cadastradas acerca da exploração do Aquífero Guarani nos CBHs consultados, os membros participantes contribuíram com a discussão de localidades onde há exploração do mesmo. Os Comitês questionados, visando à promoção dos usos múltiplos da água e à integração de ações, manifestaram apoio a esta Dissertação e têm intenção de a utilizarem no debate de questões relacionadas à gestão da água subterrânea, quando essa for explorada como recurso hídrico.

Os Comitês de Bacias Hidrográficas presentes no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba foram assim identificados (IGAM, 2006):

GD7 – CBH dos afluentes mineiros do Médio rio Grande – Comitê estadual

GD8 – CBH dos afluentes mineiros do Baixo rio Grande – Comitê estadual

PN1 – CBH do rio Dourados – Comitê estadual

PN2 – CBH do rio Araguari – Comitê estadual

PN3 – CBH dos afluentes mineiros do Baixo Paranaíba – Comitê estadual

A Figura 4-2 ilustra o mapa das divisões dos Comitês de Bacias Hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Da figura citada, têm-se que os CBHs PN1, PN2 e PN3 referem-se ao lado mineiro da Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba, e que os CBHs GD7 e GD8 abrangem o lado mineiro da Bacia Hidrográfica do rio Grande.



Figura 4-2: Comitês de Bacias Hidrográficas em Minas Gerais

Fonte: IGAM (2006)

É interessante lembrar que os Comitês de Bacias Hidrográficas – também conhecidos como *parlamento das águas* – têm a atribuição de promover o debate acerca de questões relacionadas aos recursos hídricos. Esses parlamentos podem unicamente acompanhar a exploração das águas, quando essas são enquadradas como recurso mineral, não mais para arbitrar, mas sim para intentar compartilhar as responsabilidades e as políticas de gestão do elemento natural *água*. Salienta-se que esta integração, até então, inexistia no Triângulo Mineiro.

O Quadro 4-1 contém, resumidamente, dados dos poços exploradores do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro e as denominações atribuídas a estes nesta Dissertação. O Quadro apresenta, também, o município, o CBH, o enquadramento quanto ao tipo de recurso – hídrico/mineral – e o órgão responsável pela outorga de direito de uso da água subterrânea exploradas nos citados poços.

Quadro 4-1: Poços exploradores do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro

Município	Denominação nesta Pesquisa	CBH recurso hídrico	Recurso hídrico/ Recurso mineral	Outorgante
Cachoeira Dourada	P1	PN3	recurso mineral	DNPM
	P2			
	P3			
	P4			
	P5			
	P6			
	P7			
	P8			
	da Ilha	não disponível	não disponível	não disponível
Uberaba	R6	GD8	recurso hídrico	IGAM
	R10			
	R11			
Frutal	Frutal	GD8	recurso hídrico	IGAM
Conceição das Alagoas	Ubatã 1	GD8	recurso hídrico	IGAM
	Ubatã 2	GD8	recurso mineral	DNPM

A Figura 4-3 ilustra o mapa da localização dos poços exploradores do Aquífero Guarani nos municípios do Triângulo Mineiro, de acordo com os resultados desta Pesquisa, bem como os limites de atuação dos Comitê de Bacia Hidrográfica presentes na área.

Ressalta-se que o poço da Ilha localiza-se em ilha fluvial no rio Paranaíba e, nesta Pesquisa, foi admitido como pertencente ao município de Cachoeira Dourada. Este trabalho não aprofundou a questão desse enquadramento, pois o mesmo pode suscitar dúvidas, visto que o poço, além de situar-se em rio de domínio da União posiciona-se entre a divisa dos Estados de Minas Gerais e Goiás.

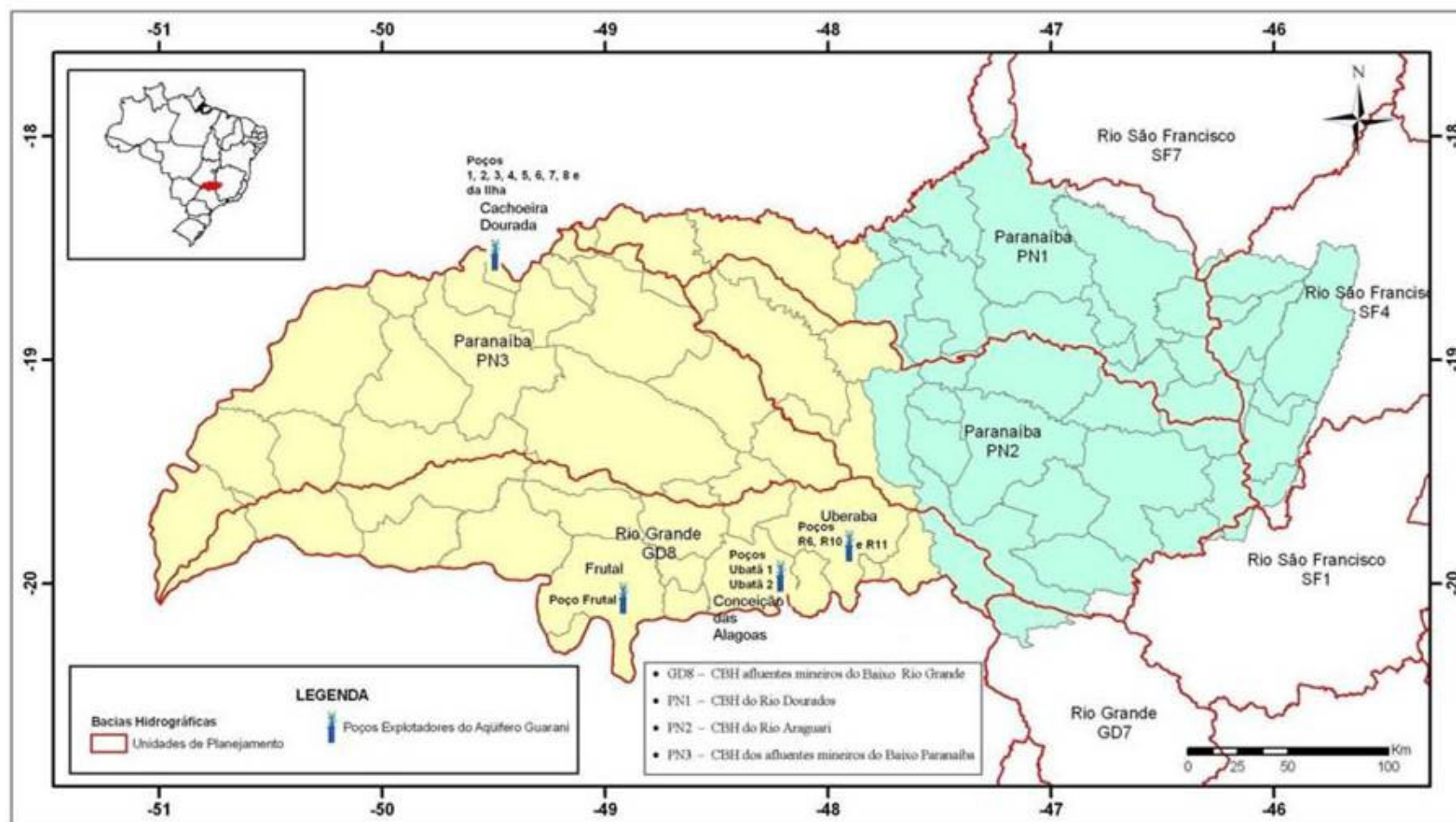


Figura 4-3: Mapa da localização dos poços exploradores do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro identificados nesta Pesquisa

Fonte: Modificado de IBGE (2006b) e IGAM (2006)

4.3 Aquífero Guarani e os municípios do Triângulo Mineiro exploradores por meio de poços tubulares profundos.

De acordo com Chang (2001, p. 27-28), o cadastro de poços exploradores do Aquífero Guarani deve conter os itens e as informações discriminados a seguir:

- Identificação e localização:

Região administrativa, bacia hidrográfica, município, proprietário, endereço, coordenada e cota altimétrica.

- Características técnicas do poço:

Data de perfuração e operação, tipo de poço, profundidade total e do topo, perfis geofísicos, diâmetro da perfuração, revestimento, filtro, pré-filtro e acabamentos, tubo de saída e cimentação.

- Exploração:

Equipamentos como bomba e compressor, vazão e período de operação, consumo, número de pessoas abastecidas, número de animais abastecidos, área irrigada, dentre outros.

- Parâmetros hidráulicos:

Nível estático, nível dinâmico e vazão mensurada.

- Qualidade da água:

Temperatura do ar e da água, pH, condutividade elétrica, odor e turbidez.

- Condições sanitárias:

Fontes reais e/ou potenciais de poluição e atividades e formas de ocupação do solo nos arredores.

O levantamento de dados na área delimitada para estudo nesta Dissertação procurou abranger os itens citados.

A obtenção das informações, incluídas no Quadro 4-2 e no Quadro 4-3, foi realizada por meio de questionamentos direcionados aos proprietários dos poços. Os dados do poço da Ilha foram adquiridos utilizando-se a investigação indireta, modalidade em que a fonte prefere o anonimato. O motivo alegado recai acerca do objetivo deste estudo, não bastou a afirmação de realização de estudo técnico para afastar o receio de uma fiscalização.

As águas do Aquífero Guarani, explotadas nos 15 poços mencionados no Quadro 4-1, são captadas artificialmente por meio de poços tubulares profundos. Esses poços – obras de engenharia para acessar a água subterrânea – foram executados com sonda perfuratriz mediante perfuração vertical.

O fenômeno do artesianismo foi constatado no local dos 15 poços exploradores identificados na Pesquisa. O artesianismo, característica do aquífero confinado e não do poço, é responsável tanto por poços de águas jorrantes ou surgentes – chamados popularmente de *artesianos* – quanto por poços de águas não jorrantes – chamados popularmente de *semi-artesianos*. Os poços artesianos não jorrantes necessitam de sistema elevatório – materiais e equipamentos – que são utilizados para a retirada a água subterrânea dos poços exploradores.

A água em um aquífero confinado, ao percolar em direção a profundidades crescentes, sofre pressão hidrostática da coluna de água entre a zona de recarga e o ponto considerado. Um poço perfurado em aquífero confinado permite a ascensão da água através do interior do furo, que procura o equilíbrio hidrostático pelo princípio dos vasos comunicantes. Quando a superfície do terreno localiza-se abaixo da superfície potenciométrica, a água jorra na perspectiva de atingir o nível de água da zona de recarga. Caso a superfície do terreno esteja posicionada acima da superfície potenciométrica do aquífero, a água no interior do poço, embora com cota altimétrica superior à cota altimétrica de topo do aquífero confinado nesse local, necessita de conjunto elevatório para ser extraída.

Em Cachoeira Dourada o Aquífero Guarani sendo confinado, a pressão da água no interior desse aquífero possibilita que a água explotada por meio dos poços profundos ultrapasse a superfície do terreno e permite, desse modo, que os poços artesianos identificados, sejam jorrantes ou surgentes – poços nos quais há produção espontânea de água subterrânea. Nas demais cidades apontadas no Quadro 4-1, embora os poços exploradores nessas localidades

sejam artesianos, há necessidade de uso de conjunto elevatório para a retirada da água subterrânea do interior destes.

A Figura 4-4 ilustra as situações citadas quanto ao artesianismo e demonstra o esquema de um aquífero confinado com sua superfície potenciométrica demarcada. Exemplifica tanto um poço artesiano não jorrante quanto um poço artesiano jorrante ou surgente. Em função da perda de carga hidráulica ao longo do fluxo, verifica-se um rebaixamento do nível de água, representado pelo ponto C, em relação ao nível de água da zona de recarga, representado pelo ponto B. O desnível B-C cresce conforme aumenta a distância em relação à área de recarga (KARMANN, I., 2000, p. 126-127).

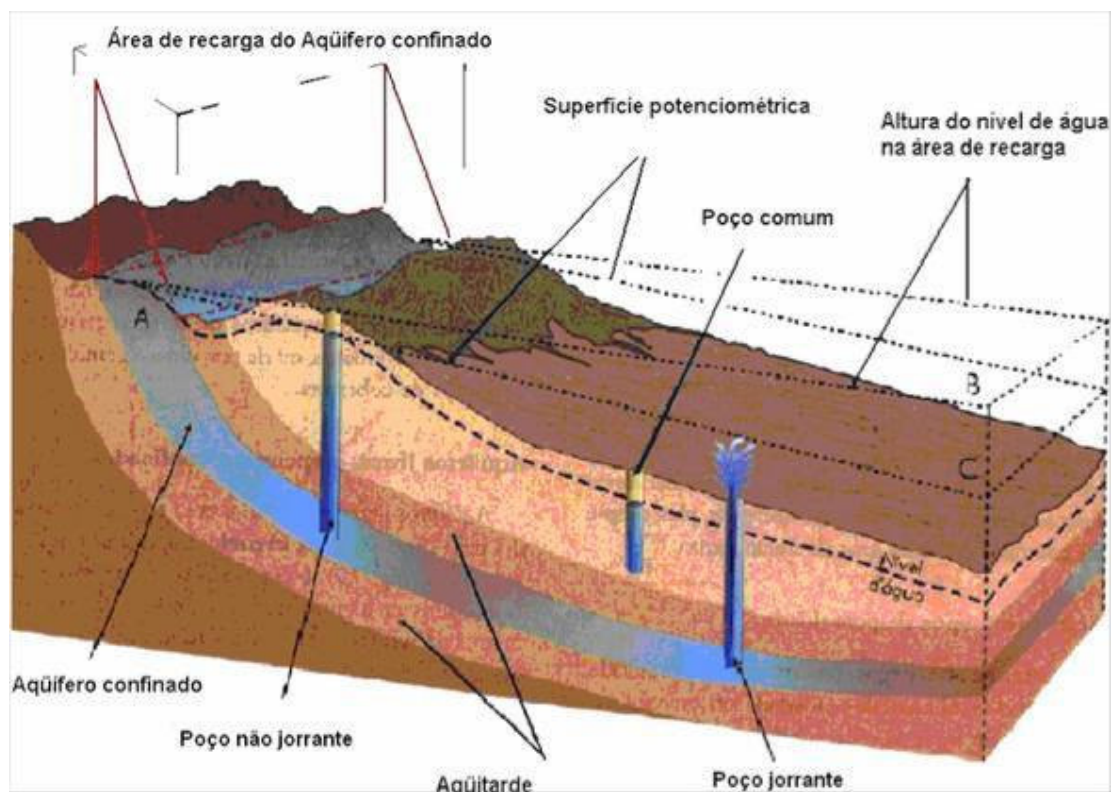


Figura 4-4: Esquema de poços exploradores do Aquífero Guarani quanto ao artesianismo

Fonte: Modificado de Karmann (2000, p. 126)

O Quadro 4-2, elaborado com os resultados da Pesquisa exploratória, informa dados dos 15 poços identificados nesta Pesquisa.

Quadro 4-2: Dados dos poços exploradores

Município	Poço	Proprietário	Localização Coordenadas UTM Coordenada geográficas Longitude/Latitude		Ano início exploração	Vazão explorada L/s	Uso atual ou previsto
Cachoeira Dourada	P1	Mineração Sal Nascente Ltda.	E 658.493	N 7.951.976	1997	5,978	Balneário turístico
	P2	Mineração Sal Nascente Ltda.	E 658.188	N 7.951.863	1997	4,065	Balneário turístico
	P3	Mineração Sal Nascente Ltda.	E 658.181	N 7.951.574	1998	9,615	Balneário turístico
	P4	Mineração Sal Nascente Ltda.	E 658.346	N 7.951.139	2001	3,014	Balneário turístico
	P5	Mineração Sal Nascente Ltda.	E 658.244	N 7.952.470	2002	5,208	Balneário turístico
	P6	Mineração Sal Nascente Ltda.	E 658.241	N 7.950.377	2001	2,839	Balneário turístico
	P7	Mineração Sal Nascente Ltda.	E 658.302	N 7.950.244	2001	0,833	Balneário turístico
	P8	Mineração Sal Nascente Ltda.	S 18°32'10,38"	W 49°30'06,53"	2005	0,833	Balneário turístico
Conceição das Alagoas	da Ilha	—	S 18°32'33,71"	W 49°33'17,48"	—	3,333	Balneário particular/ lazer privativo
	Ubatã 1	Ubatã Termas Parque Hotel Ltda.	S 20°01'07"	W 48°09'58"	2001	8,33 (15 h/dia)	Balneário turístico
Uberaba	Ubatã 2	Ubatã Termas Parque Hotel Ltda.	S 20°01'18,1"	W 48°08'28,8"	—	não disponível	Engarrafamento
	Frutal	COPASA	R. Wenceslau Brás nº 13. Centro		—	93 teste bom-beamento	Abastecimento Público
	R10	CODAU	E 0193,928	N 7.812.288	2007	60	Abastecimento Público
	R6	CODAU	E 0189,334	N 7.813.353	2002	60	Abastecimento Público
Uberaba	R11	CODAU	Av. Djalma Castro Alves nº 450 Conjunto Uberaba 1		previsão para 2008	80 previsão	Abastecimento Público

Fonte: Mineração Sal Nascente Ltda., Ubatã Termas Parque Hotel Ltda., COPASA (2006) e CODAU (2006)

O Quadro 4-3 traz dados complementares de cada poço: temperatura da água na fonte; cota altimétrica, profundidade total perfurada; espessura sobrejacente à formação Serra Geral, profundidade perfurada no basalto, profundidade de topo do Aquífero Guarani e tipo do poço – surgente ou não surgente.

Quadro 4-3: Dados dos poços exploradores – complementação do Quadro 4-2

Legenda: ? dado insuficiente ou não disponível

* espessura do manto de alteração - arenitos do grupo Bauru

Município	P o ç o	T á g u a f o n t e °C	Cota altimét. metros	Profund. perfur. metros	Espessura sobrejacente à formação Serra Geral* metros	Espessura basalto metros	Profund. Perfur. Aquífero Guarani metros	Profund. topo Aquífero Guarani metros	Tipo surgente/ não surgente
Cachoeira Dourada	P1	37,5	459	407	2	353	52	355	surgente
	P2	38,9	472	450	15	345	90	360	surgente
	P3	39	477	470	15	370	85	385	surgente
	P4	37,6	456	446	5	365	76	370	surgente
	P5	37	451	380	10	330	40	340	surgente
	P6	38,7	473	526	10	370	140	380	surgente
	P7	37	470	445	15	380	50	395	surgente
	P8	37	474	440	10	395	35	405	surgente
	da Ilha	38	423	350	8	270	72	278	surgente
Conceição das Alagoas	Ubatã 1	36,4	518	343	19	322	2	341	não surgente
	Ubatã 2	36,4	538	363	7	350	6	357	não surgente
Frutal	Frutal	?	?	1166	9,5	975,5	178	985	não surgente
Uberaba	R10	?	816	584	?	?	?	?	não surgente
	R6	?	?	602	71	463	62	534	não surgente
	R11	?	?	1.163	?	?	?	?	não surgente

Fonte: Mineração Sal Nascente Ltda., Ubatã Termas Parque Hotel Ltda., COPASA (2006), CODAU (2006) e Melo (2002)

Cita-se que, para completar os Quadro 4-2 e Quadro 4-3, as informações relativas ao nível dinâmico e ao nível estático, somente foram identificadas para o poço R6 e poço Frutal. Esses dados podem ser verificados por meio da Figura 4-6 e da Figura 4-11, respectivamente.

Nota-se, por análise das vazões apresentadas no Quadro 4-2, que os poços exploradores na cidade de Uberaba – R6, R10 e R11 – têm grande produção de água quando comparados aos demais poços identificados e citados no referido quadro.

Ressalta-se que, de acordo com os dados apresentados no Quadro 4-3, o poço P6, em Cachoeira Dourada, o poço Frutal e o poço R6, ambos em Uberaba, ultrapassam a camada dos arenitos do Aquífero Guarani em, respectivamente, 6, 3 e 6 metros. Os demais poços têm as perfurações finalizadas ainda no interior dos arenitos mesozóicos.

4.4 Cenário de uso atual das águas do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro

4.4.1 Uberaba

Segundo IBGE (2006a), Uberaba tem população estimada, referente ao ano 2005, de 280.060 habitantes. O município situa-se na microrregião de Uberaba, conforme os mapas da Figura 2-1 e da Figura 2-2, apresentadas no Capítulo 2, que trata da metodologia empregada. A cidade conta com o Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba – CODAU como autarquia municipal dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Conforme apresentado no Capítulo 3, subitem 3.4.4, que trata da outorga de direito de uso das águas subterrâneas, o órgão gestor estadual responsável pela concessão de direito de uso da água subterrânea em Uberaba, explorada como recurso hídrico, é o IGAM.

O incremento na demanda de água potável na cidade, em função do crescimento populacional, provocou o consumo das águas subterrâneas profundas concomitantemente à utilização das águas superficiais. Anteriormente ao ano 2002, o abastecimento público em Uberaba, em relação às águas superficiais, era resultante do sistema rio Uberaba.

Desde 2002, o CODAU realiza a exploração das águas subterrâneas do Aquífero Guarani na zona urbana de Uberaba. Esse Centro possui três poços, sendo que dois – R6 e R10 – participam normalmente do sistema de abastecimento e o terceiro – R11 –, ainda que perfurado, necessita de ajustes em seu conjunto elevatório para iniciar sua contribuição ao sistema (CODAU, 2006).

A excelência das águas subterrâneas está relacionada à qualidade das mesmas. Explotadas, por meio de poços tubulares profundos, as águas subterrâneas historicamente possuem maior proteção frente aos agentes contaminantes e poluidores, se comparadas às águas superficiais.

Como o CODAU afirmou, em comunicação oral, que periodicamente e de acordo com o estabelecido na Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, realiza ensaios laboratoriais para garantir a potabilidade da água de sua produção, entendeu-se, nesta Pesquisa que, no caso dos poços R6 e R10, a água explotada e misturada à água advinda da estação de tratamento de água, é considerada potável ao ser fornecida à população. Esta conclusão deve-se ao fato de que foi constatado, *in loco*, que as águas explotadas dos dois poços são direcionadas para distribuição à população. O CODAU informou, também em comunicação oral, ter análises laboratoriais das águas subterrâneas explotadas, mas não as disponibilizou para esta Pesquisa, mesmo ao ser solicitado.

As principais vantagens identificadas nesta Pesquisa para o uso das águas subterrâneas no abastecimento público em Uberaba, e mesmo em outras cidades – em comparação ao uso das águas superficiais – estão no custo inferior da exploração e na condição favorável da qualidade das mesmas.

Outro benefício a ser destacado, que propicia a exploração em Uberaba e também em outras localidades, considerando-se a potencialidade de extrapolação dos benefícios reconhecidos, é o tempo despendido para a perfuração de um poço tubular profundo, em relação ao tempo necessário para adequar as infra-estruturas existentes para o aumento da vazão necessária.

Determinadas empresas especialistas dominam a tecnologia de perfuração de poços profundos. Com os maquinários adequados e as experiências adquiridas pode-se construir um poço tubular profundo em poucos meses, sem utilização de grande espaço físico para a

execução do serviço, basta uma área adequada para acesso de um caminhão e para montagem dos equipamentos de perfuração. A obra fica restrita a um espaço físico delimitado e pré-determinado. Há, evidentemente, necessidade de elaboração de estudos hidrogeológicos prévios para análise da viabilidade da exploração na região considerada.

Os valores de implantação e custos operacionais para obtenção das águas subterrâneas tornaram-se interessantes para o CODAU, quando confrontados com custos de aumento da vazão da água superficial tratada para atender os bairros carentes de água potável, nos quais os poços identificados se localizam.

Um incremento do volume da água pode significar alteração na captação superficial e na estação de tratamento de água, bem como melhorias das redes adutoras e de distribuição. Nesses casos, obras onerosas de engenharia civil tornam-se necessárias para dar suporte a essa mudança de situação. Muitas intervenções, ao serem realizadas em zona urbana, interferem no cotidiano da população e causam transtornos no trânsito, uma vez que, usualmente, as redes de tubulações hidráulicas localizam-se sob a malha viária da cidade.

Um outro fator favorável detectado, em termos de gestão pública, é a facilidade de montagem de processo de licitação pública para a perfuração de um poço tubular profundo. Um poço tubular profundo é uma obra de engenharia cujo projeto tem detalhamento e especificações relativamente simples. Em contrapartida, as obras de infra-estruturas normalmente utilizadas para o aumento da oferta de água exigem projetos executivos com muitas variáveis e com maior área superficial de abrangência dos impactos ambientais, bem como necessitam de diversos projetos complementares e, devido às especificidades construtivas, podem ser mais suscetíveis a alterações durante a execução. Cita-se, novamente, serem imprescindíveis estudos hidrogeológicos prévios para avaliar-se a potencialidade da exploração.

O abastecimento da população tende a ser o principal objetivo no uso das águas subterrâneas do Aquífero Guarani, considerado seu destino mais nobre. As vantagens em relação às águas superficiais, além das mencionadas, têm na quantidade assegurada de vazão ao longo do tempo, sem variação por causas climáticas, um atributo benéfico a ser considerado. Por sua vez, a flexibilidade de escalonamento de perfuração de novos poços, com a evolução da demanda por água, colabora para a satisfação das concessionárias de água, que se aproveitam desse reservatório subterrâneo (ROCHA, 1997).

A exploração do Aquífero Guarani representa um aporte considerável de água potável no abastecimento público em Uberaba. Os três poços existentes – R6, R10 e R11 – localizam-se em áreas de propriedade do CODAU e são estrategicamente posicionados ao lado de centros de reservação de água tratada.

Segundo comunicação oral com o departamento técnico do CODAU, a locação dos poços tubulares profundos, ao lado de centros de reservação pré-existent, foi determinada para que as águas explotadas subsidiem o abastecimento advindo da estação de tratamento de água e utilizem as obras civis edificadas – portaria, reservatórios, cercamento, dentre outras – e mesmo dos operários desses setores. Os centros de reservação, construídos anteriormente às perfurações, serviam primeiramente para armazenamento da água superficial tratada.

Nota-se que a água subterrânea do poço R6, situado ao lado do centro de reservação R6, não é aduzida diretamente ao reservatório elevado de distribuição. O conjunto elevatório utilizado na captação da água do poço recalca-a para um tanque de 250.000 litros, que serve tanto para resfriamento da água termal explotada quanto para reservação. O reservatório elevado, depois de abastecido, garante a pressão hidrostática necessária para o escoamento por gravidade, nas redes hidráulicas de distribuição nos bairros atendidos. A população atendida utiliza as águas subterrâneas explotadas concomitantemente às águas superficiais, em uma união não dissociável.

O poço R6 explota desde julho de 2002 e, conforme relato do operador do conjunto elevatório, para evitar o desabastecimento público, em tempos de menor oferta de água superficial tratada, o poço R6 tem bombeamento contínuo de 24 horas. Esse poço estabiliza, dessa maneira, a demanda nos bairros de alcance das tubulações hidráulicas interligadas ao centro de reservação R6. As informações acerca do poço R6 ressaltam o potencial do Aquífero Guarani para o abastecimento público. Com vazão de 60 L/s, ou seja, 216 m³/h, e ao funcionar 24 h/dia, este poderia abastecer uma população de aproximadamente 17.280 habitantes com consumo de 300 L/(dia.hab). Nota-se que a maioria dos municípios do Triângulo Mineiro ainda não têm essa população.

A Figura 4-5 exhibe fotos do conjunto elevatório do poço R6. Cabe comentar o pequeno espaço físico que ocupa essa captação subterrânea.

A foto (a) da Figura 4-5 ilustra a torre metálica, parte integrante da captação subterrânea. A torre faz-se necessária para uma eventual manutenção e pode ser utilizada para a retirada da tubulação, filtros e conjunto elevatório do poço R6. Desse modo, agiliza o serviço caso haja necessidade de reparo ou substituição de peças. Percebe-se na foto (b) a tubulação de saída da captação o registro de gaveta para manejo de operações.

(a)



(b)



Figura 4-5: Foto do conjunto elevatório do poço R6 (a) e foto (b) da torre para manutenção

Ressalta-se que, conforme comunicação oral com o departamento técnico do CODAU, o poço R6 foi perfurado pela COPASA por meio da empresa Constroli Poços Artesianos, em 1998. Essa Companhia repassou a posse do mesmo para o CODAU, que iniciou a exploração em 2002. Um dos pretextos da COPASA, ao realizar essa obra, foi o interesse dessa Companhia em ingressar no sistema de abastecimento urbano em Uberaba, que preferiu continuar com os serviços de saneamento realizados por sua autarquia municipal.

A Constroli Poços Artesianos, responsável pela perfuração, ao executar o teste de bombeamento no poço R6, obteve para a vazão de 42,7 L/s, durante um período contínuo de 16 horas, as seguintes profundidades: nível estático em 223,5 metros e nível dinâmico em 295,6 metros. O rebaixamento entre os níveis citados foi de 72,17 metros (MELO, 2002). Cabe comentar que os valores mencionados representam profundidades relativas ao topo do poço e não à cota altimétrica em relação ao nível do mar. A empresa perfuratriz utilizou o método de perfuração roto-pneumático no poço R6.

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS em seu dicionário de termos hidrogeológicos, traz as seguintes definições para os termos nível dinâmico e nível estático

Nível Dinâmico: é a altura que se estabelece a água por ação de uma obra hidráulica; ex.: bombeamento em um poço (ABAS, 2006b).

Nível Estático: é a altura que se estabelece a água quando não influenciada por bombeamento (ABAS, 2006b).

Para a simulação de interferências de cones de depressão em sistemas de poços, o nível dinâmico constitui-se em uma importante variável. Nesse caso, o nível dinâmico serve para estabelecer uma condição inicial quando deseja-se prever os efeitos da introdução de novos poços na vizinhança.

A Figura 4-6 ilustra as características construtivas e hidrogeológicas do poço R6 e o Quadro 4-4 complementa essas informações.

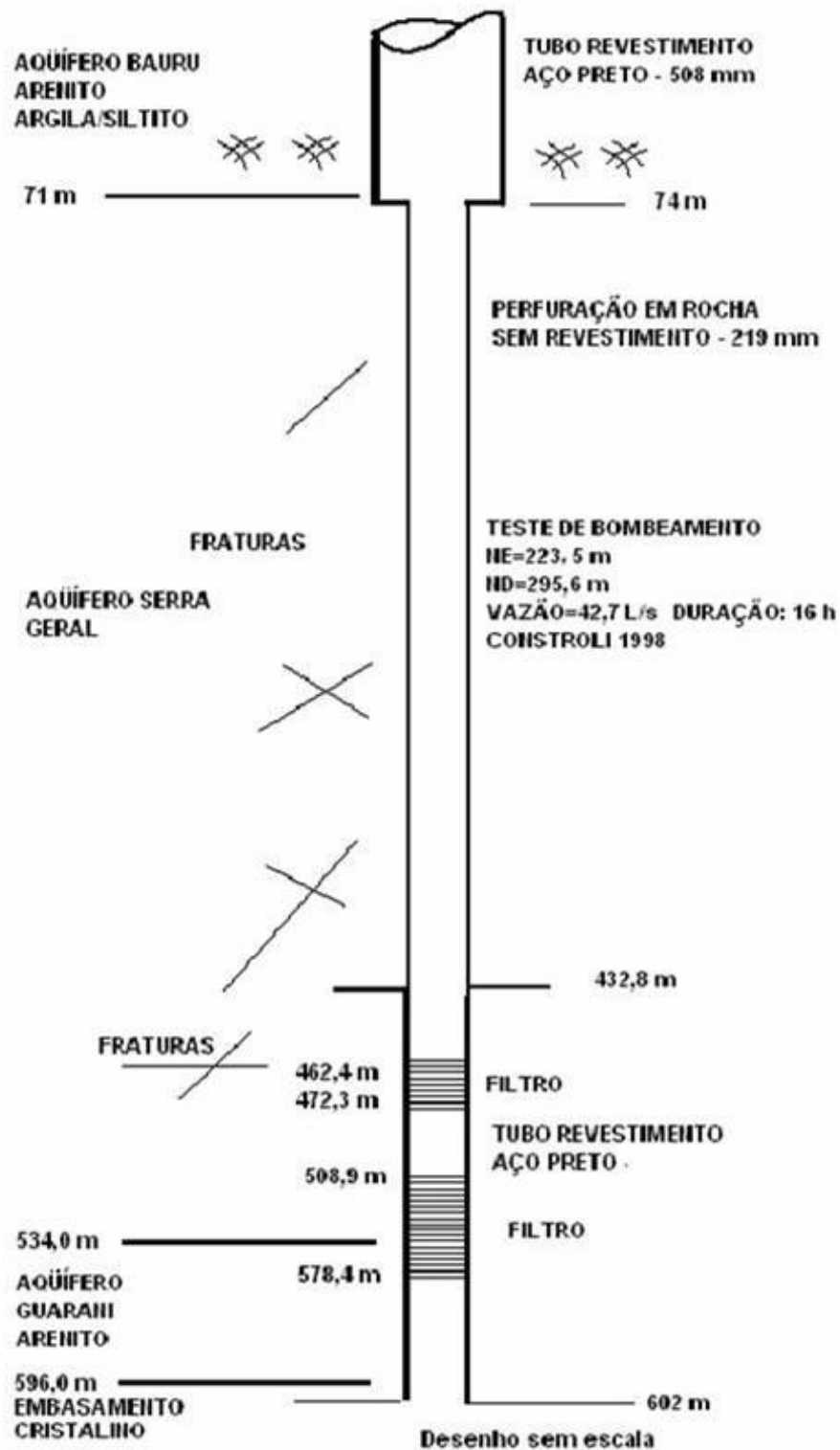


Figura 4-6: Características construtivas e hidrogeológicas do poço R6

Fonte: Modificado de Melo (2002)

Observa-se, por meio do perfil das características construtivas apresentadas na Figura 4-6 e das informações contidas no Quadro 4-4, que as camadas sobrejacentes aos arenitos do Aquífero Guarani perfazem 534 metros de profundidade. Os arenitos das formações Botucatu e Pirambóia alcançam, localmente, a espessura de 62 metros. A perfuração ultrapassou os arenitos mencionados e entrou, em cerca de 6 metros, no embasamento cristalino. No total foram 602 metros perfurados.

Nota-se, além disso, a captação de água nas fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral entre as profundidades 462,4 e 472,3 metros em relação ao topo do poço.

De acordo com o exposto, conclui-se que o poço R6 não produz água exclusivamente proveniente do Aquífero Guarani. Há contribuição de água mais superficial, em relação à água captada no Aquífero Guarani, advinda de fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral. Portanto, distintamente do comumente divulgado pelo CODAU e pela mídia em geral, o poço R6 não explora *águas do Aquífero Guarani*, mas sim, águas subterrâneas procedentes desse Aquífero bem como do aquífero Serra Geral sotoposto a este. As análises laboratoriais das águas produzidas na saída do poço, portanto, não se referem exclusivamente ao Aquífero Guarani, mas, conforme exposto, à mistura de águas dos aquíferos citados.

Em vista disso, a água da saída do centro de reservação R6, distribuída para 10 bairros da região noroeste da cidade, atende aproximadamente 30 mil pessoas (CODAU, 2006), que utilizam a mistura das águas subterrâneas do Aquífero Guarani e do aquífero Serra Geral, conjuntamente com a água superficial tratada resultante do sistema rio Uberaba. Cabe aqui comentar que, conforme já visto, o poço R6 poderia, se bombeado por 24 horas/dia, atender 17.280 habitantes/dia. Nota-se que há o acréscimo da água superficial, advinda da estação de tratamento de água, à vazão explotada, para suprir as necessidades das 30 mil pessoas atendidas com a união das águas, subterrânea e superficial.

O Quadro 4-4 resume as características construtivas e hidrogeológicas do poço R6.

Quadro 4-4: Características construtivas do poço R6

Perfil litológico	000 - 071 m	Cretáceo grupo Bauru Arenito/Argila/ Siltito	
	071 - 500 m	Juras-Cret. formação Serra Geral Basalto	
	500 - 516 m	Intertrape	
	516 - 534 m	Juras-Cret. formação Serra Geral Basalto	
	534 - 574 m	Juras-Cret. formação Botucatu Arenito	
	574 - 596 m	Juras-Cret. formação Pirambóia Arenito	
	596 - 602 m	Pre-cam. assoc. gnaisses granitos Embasamento Cristalino	
Diâmetros de Perfuração	000 - 008 m	36"	914 mm
	008 - 075 m	30"	762 mm
	75 - 602 m	17 ½"	445 mm
Revestimentos lisos - diâmetros	000,00 - 075,00 m	20"	508 mm Tubo Aço Preto
	432,89 - 462,45 m	8 5/8"	219 mm Tubo Aço Preto
	472,35 - 578,95 m	8 5/8"	219 mm Tubo Aço Preto
	578,45 - 597,00 m	8 5/8"	219 mm Tubo Aço Preto
Filtros espiralados hiper reforçados diâmetros	462,45 - 472,35 m	8 5/8"	219 mm Filtro Nol Inox
	508,95 - 578,45 m	8 5/8"	219 mm Filtro Nol Inox
Cimentação dos tubos lisos	0 - 008 m, 1,6 m ³		
	0 - 75 m, 19 m ³		
Informações dos testes de bombeamento	Nível estático	223,50 m	
	Nível dinâmico	295,67 m	
	Vazão: duração 16 hs	153,90 m ³ /h ou 42,7 L/s	
	Rebaixamento	72,17 m	
Características hidráulicas	B16h (m ³ /h)	Nível dinâmico (m)	
	200	331,30	
	250	368,50	
	300	409,80	

Fonte: COPASA (2006)

O segundo poço perfurado em Uberaba – R10 – localiza-se próximo ao centro de reservação R10. Esse poço apresenta similaridades com o poço R6. As águas subterrâneas explotadas são encaminhadas para o centro de reservação, no qual são misturadas às águas provenientes da estação de tratamento de água (CODAU, 2006).

Nota-se nas fotos da Figura 4-7, a torre metálica que, de forma semelhante ao poço R6, presta-se para manutenção em caso de necessidade do conjunto elevatório e do poço.



Figura 4-7: Fotos do conjunto elevatório do poço R10

O CODAU, solicitado a fornecer as características construtivas do poço R10, não auxiliou esta Pesquisa e não apresentou justificativa para sua decisão. Mas, de modo semelhante ao

poço R6, pode haver aporte de água estranha ao Aquífero Guarani, advinda de fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral. O perfil das características construtivas do poço R10 auxiliaria a elucidar a origem da água produzida.

Segundo CODAU (2006), cerca de 30 mil pessoas são beneficiadas com o abastecimento das águas do centro de reservação R10, em que, analogamente ao centro de reservação R6, conforme citado, a população abastecida consome a mistura indissociável das águas superficial e subterrânea.

O terceiro poço – R11 –, em fase de ajuste de seu conjunto elevatório, encontra-se perfurado ao lado do centro de reservação R11, no conjunto Uberaba I. A estimativa de vazão a ser explotada é de 80 L/s, mas o CODAU, quando solicitado, não informou a duração prevista para funcionamento dessa captação subterrânea.

Segundo comunicação oral do departamento técnico do CODAU, esse poço é uma obra financiada pela Ferrovia Centro-Atlântica S.A. – FCA, por meio de Termo de Ajustamento de Conduta – TAC assinado com o Ministério Público Estadual em seguida ao acidente tóxico ocorrido no córrego Congonhas, afluente do rio Uberaba, em junho de 2003. O acidente obrigou o CODAU a suspender a captação de água do sistema rio Uberaba por cerca de dez dias, o que causou desabastecimento de água tratada para toda a cidade. A FCA, em seguida ao descarrilamento de 18 vagões de sua composição férrea, assumiu o compromisso de propiciar uma compensação em relação ao passivo ambiental causado e, desse modo, foi firmado o acordo para a construção da captação subterrânea, já que, o CODAU mostrava-se satisfeito com os resultados dos poços R6 e R10.

O CODAU não forneceu as características construtivas e hidrogeológicas do poço R11 ao ser consultado e legou, como justificativa, que até a data da realização desta Pesquisa, a Ferrovia não havia repassado a posse do mesmo.

A Figura 4-8 ilustra o posicionamento do poço R11 ao lado do centro de reservação R11 e, além disso, confirma o exíguo espaço físico da obra. É imprescindível um pátio para manobras, pois deve ser prevista em caso de manutenção, a entrada de um guincho hidráulico e um caminhão.

(a)



(b)



Figura 4-8: Foto (a) instalação do conjunto elevatório do poço R11 e foto (b) conjunto elevatório, torre de manutenção e o centro de reservação R11

Fonte: CODAU (2006)

4.4.2 Frutal

Segundo IBGE (2006a), Frutal tem uma população estimada de 49.788 habitantes, referente ao ano 2005. O município está situado na microrregião de Frutal, conforme

indicado nos mapas da Figura 2-1 e da Figura 2-2, inseridas no Capítulo 2, que trata da metodologia empregada nesta Pesquisa. A cidade conta com a COPASA como responsável pelos serviços de abastecimento urbano de água e esgotamento sanitário.

Conforme Melo (2002), nas regiões de atuação da COPASA, cabe a essa Companhia destacar o tipo de sistema operacional e eleger o sistema de captação para abastecer o município. A escolha é determinada, conforme estudos da COPASA, de acordo com a disponibilidade hídrica de cada local.

A COPASA atua em 22 municípios na região do Triângulo Mineiro entre sistemas operados com concessão de água e sistemas operados com concessão de água e esgoto (COPASA, 2006).

A Figura 4-9 indica os 22 municípios do Triângulo Mineiro sob a atuação da COPASA e os sistemas de abastecimento concebidos.



Figura 4-9: Municípios do Triângulo Mineiro sob atuação da COPASA

Fonte: Modificado de Melo (2002)

Neste contexto, acrescenta-se que a cidade de Araguari, com uma população estimada, referente ao ano 2005, de 108.672 habitantes, segundo IBGE (2006a), não faz parte dos municípios sob atuação da COPASA, conforme pode ser verificado no mapa da Figura 4-9. A cidade, por meio da Superintendência de Água e Esgoto – SAE, autarquia municipal responsável pelo fornecimento de água necessária para o abastecimento público, explora as águas dos aquíferos Serra Geral e Bauru e atende 100% da zona urbana de Araguari com essas águas e, dessa forma, consolida a importância das águas subterrâneas para abastecimento público no Triângulo Mineiro.

Dos 22 municípios operados no Triângulo Mineiro pela COPASA, sete são sistemas abastecidos com água superficial, oito são sistemas que utilizam água subterrânea e sete são mistos, e utilizam tanto captação superficial quanto subterrânea. Portanto, são 13 os municípios do Triângulo Mineiro, sob atuação da COPASA, nos quais as águas subterrâneas, efetivamente, contribuem para o abastecimento da população.

A Figura 4-10 mostra os aquíferos explorados nas áreas de atuação da COPASA no Triângulo Mineiro.



Figura 4-10: Mapa dos aquíferos explorados nas áreas de atuação da COPASA no Triângulo Mineiro

Fonte: Melo (2002)

Ressalta-se que a COPASA dirigiu-se ao órgão gestor estadual IGAM para outorgar os seus poços subterrâneos e as suas captações superficiais e explora, dessa forma, a água subterrânea do Aquífero Guarani, em Frutal, como recurso hídrico.

A COPASA, ao perfurar o poço tubular profundo na cidade de Frutal, tem a possibilidade de utilizar as águas subterrâneas do Aquífero Guarani nesse município. Nas atuais captações subterrâneas, excluindo-se a de Frutal, em área de atuação da COPASA no Triângulo Mineiro, não há registro de outro poço explorador desse Aquífero.

Salienta-se que o poço tubular profundo, localizado em Frutal, ainda não foi utilizado pela COPASA para o abastecimento urbano. O motivo apresentado, por meio de consulta ao seu gerente local, deve-se ao fato de que a capacidade hídrica do manancial provedor da captação superficial, o Ribeirão Frutal, é, até então, suficiente para suprir as necessidades da população da cidade, atendendo-a em termos qualitativos e quantitativos.

A COPASA, de acordo com o gerente local consultado, realiza, desde 1988, a gestão da bacia hidrográfica do Ribeirão Frutal, e visa tanto à recuperação de áreas degradadas quanto à recuperação das matas ciliares, além de buscar fazer um trabalho de conscientização ambiental constante junto aos proprietários do entorno dessa bacia. Como resultado deste trabalho, o programa tem permitido a manutenção da disponibilidade hídrica do manancial.

A Companhia considera a utilização de seu poço tubular profundo – poço Frutal – uma opção. Esse poço somente será utilizado em função de uma demanda que extrapole os limites permitidos pela outorga atual de captação superficial no Ribeirão Frutal. Ressalta-se que, conforme salientou o gerente local, a vazão explotável do manancial encontra-se no limite da vazão outorgada pelo IGAM.

Seguem-se os dados informados pelo gerente local para o sistema superficial de abastecimento de água de Frutal:

- Capacidade mínima teórica considerada para o Ribeirão Frutal: 460 L/s
- Vazão média mensal de água produzida: 158 L/s – 238.896 m³/mês – para um tempo de funcionamento médio diário de 14 horas

- Consumo de água potável da cidade, média em 2006: 194.482 m³/mês
- População atendida: 43.416 habitantes

Segundo apresentado, o valor da capacidade mínima teórica considerada para o manancial de captação – Ribeirão Frutal – é de 460 L/s, vazão esta admitida, nesta Pesquisa, como a mínima anual de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos – representada simbolicamente por $Q^{7,10}$.

Segundo IGAM (2006) o limite máximo para outorga no Estado de Minas Gerais, a fio d'água, é de 30% do valor de $Q^{7,10}$. Ao adotar-se o valor de 460 L/s para a vazão $Q^{7,10}$ obtém-se a vazão de 138 L/s como o limite máximo para outorga. A COPASA para produzir 158 L/s de água tratada em 14 horas, tem que, obrigatoriamente, captar no Ribeirão Frutal uma vazão igual ou inferior a 138 L/s, durante um período adequado para suprir as suas necessidades sem ultrapassar a vazão $Q^{7,10}$. Conforme relato do gerente local da COPASA, caso haja incremento da demanda, aliado ao não aumento da vazão do Ribeirão Frutal, a contribuição da água explotada do Aquífero Guarani poderá ser iniciada.

A COPASA terceirizou a perfuração e o teste de bombeamento do poço tubular profundo em Frutal. A responsável pela perfuração do poço, a empresa Hidrogesp, utilizou o método rotativo (MELO, 2002). Segundo ABAS (2006b) esse método consiste em uma tecnologia que implica no corte do material rochoso por uma broca trituradora rotacional e na retirada hidráulica do material.

A Hidrogesp, ao executar o teste de bombeamento no poço Frutal, obteve, para uma vazão de 93 L/s, durante um período contínuo de 24 horas, as seguintes profundidades: nível estático em 11,8 metros e nível dinâmico em 79,6 metros. O rebaixamento entre os níveis citados foi de 67,8 metros (MELO, 2002). Cabe comentar que os valores mencionados representam profundidades relativas ao topo do poço e não à cota altimétrica em relação ao nível do mar. Nota-se que o poço é quase jorrante, pois somente 11,8 metros separam o topo do poço e o nível estático da água no interior do tubo.

A Figura 4-11 ilustra as características construtivas e hidrogeológicas do poço Frutal e o Quadro 4-5 completa as informações para uma melhor caracterização do mesmo.

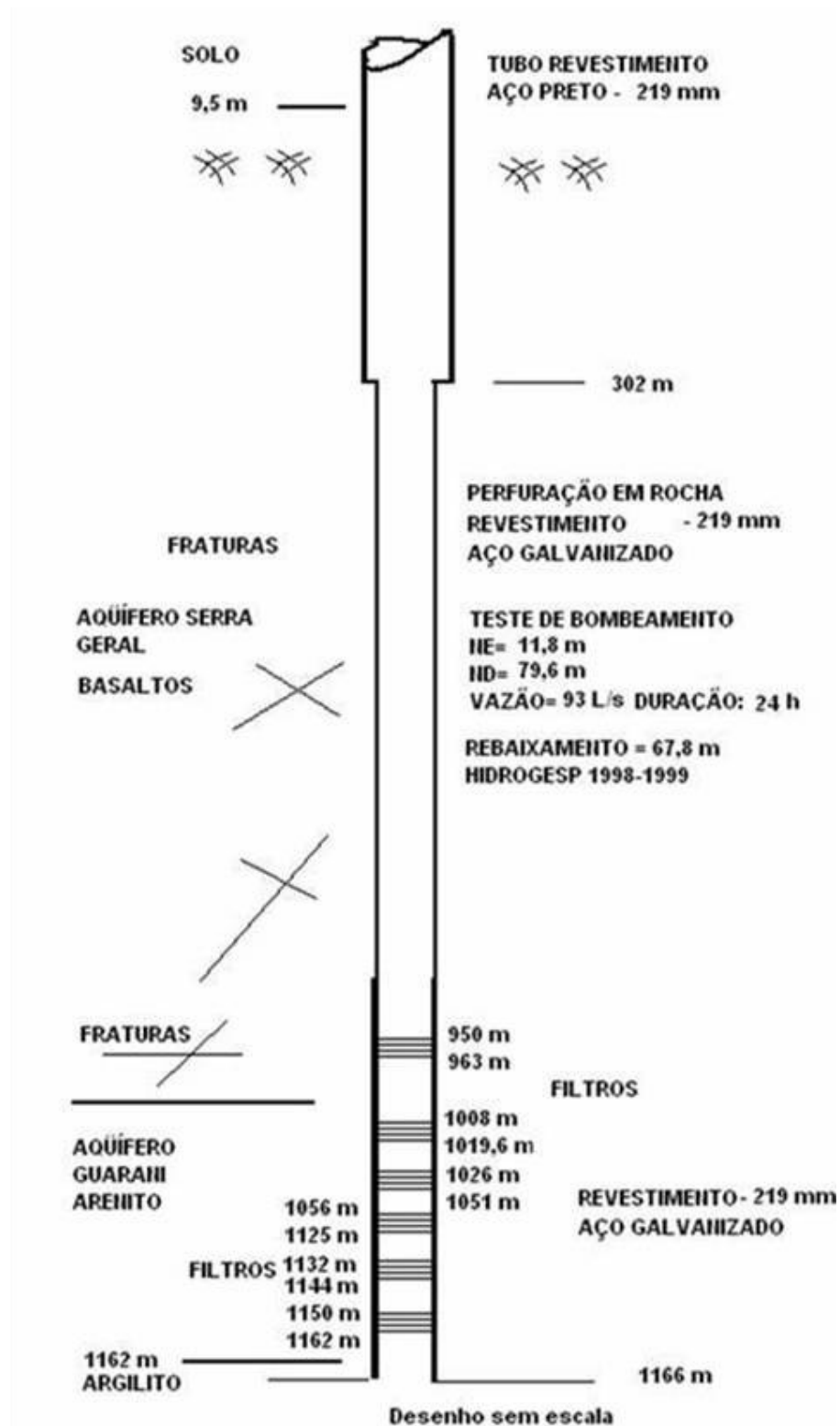


Figura 4-11: Características construtivas e hidrogeológicas do poço Frutal

Fonte: Modificado de Melo (2002)

Quadro 4-5: Características construtivas e hidrogeológicas do poço Frutal

Perfil litológico	000,0 - 009,5 m	Cretáceo grupo Bauru Arenito
	009,5 - 364,0 m	Juras-Cret. formação Serra Geral Basalto
	364,0 - 368,0 m	Alterado
	368,0 - 371,0 m	Juras-Cret. formação Serra Geral Basalto
	371,0 - 391,0 m	Alterado
	391,0 - 985,0 m	Juras-Cret. formação Serra Geral Basalto
	985,0 - 1163,0 m	Juras-Cret. Arenito
	1163,0 - 1166,0 m	Argilito
Diâmetros de Perfuração	000,0 - 1163 m	Não identificado
Revestimentos lisos - diâmetros	000,0 - 302,0 m	8 5/8" 219 mm
	302,0 - 950,0 m	8 5/8" 219 mm
	963,4 - 1008,8 m	8 5/8" 219 mm
	1019,6 - 1026,0 m	8 5/8" 219 mm
	1051,0 - 1056,0 m	8 5/8" 219 mm
	1125,0 - 1132,0 m	8 5/8" 219 mm
	1144,0 - 1150,0 m	8 5/8" 219 mm
	1162,0 - 1163,0 m	8 5/8" 219 mm
Filtros espiralados hiper reforçados diâmetros	950,0 - 963,0 m	8 5/8" 219 mm
	1008,8 - 1019,6 m	8 5/8" 219 mm
	1026,0 - 1051,0 m	8 5/8" 219 mm
	1056,0 - 1125,0 m	8 5/8" 219 mm
	1132,0 - 1144,0 m	8 5/8" 219 mm
	1150,0 - 1162,0 m	8 5/8" 219 mm
Cimentação dos tubos lisos	Informação não disponível	
Pré-filtro diâmetro de 1 a 2 mm	Informação não disponível	
Informações dos testes de bombeamento	Nível estático	11,80 m
	Nível dinâmico	79,60 m
	Rebaixamento	67,8 m
	Vazão:	93 L/s durante 24 horas

Fonte: COPASA (2006)

Observa-se, por meio do perfil das características construtivas apresentado na Figura 4-11 e complementado pelas informações contidas no Quadro 4-5, que as camadas sobrejacentes aos arenitos do Aquífero Guarani perfazem 985 metros de profundidade. Os arenitos da formação Botucatu e Pirambóia alcançam, localmente, a espessura de 178 metros. A perfuração ultrapassou os arenitos mesozóicos citados em cerca de 3 metros e no finalizou nos 1.166 metros de profundidade em relação ao topo do poço.

Nota-se, conforme apresentado, a captação de água nas fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral entre as profundidades 950 e 963 metros abaixo do topo do poço.

De acordo com o exposto, conclui-se, de forma semelhante ao ocorrido no poço R6 localizado em Uberaba, que o poço Frutal não produz água unicamente explotada do Aquífero Guarani. Há contribuição, mais superficial, de água advinda de fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral.

A Figura 4-12 ilustra fotos do poço explotador do Aquífero Guarani na cidade de Frutal. É interessante notar que, até então, não há um conjunto elevatório instalado e que o poço tubular profundo permanece lacrado.

De acordo com o Manual de Perfuração de Poços Tubulares para Investigação e Captação de Água Subterrânea no Sistema Aquífero Guarani (ABAS, 2006a, p. 71), a proteção sanitária, em poços tubulares, consiste de certos procedimentos para evitar a poluição e a contaminação das águas subterrâneas. O Manual indica a edificação de uma coluna de revestimento excedente aproximadamente 0,60 metros acima do solo e a necessidade da construção de uma laje de proteção, que pode ser armada, com dimensões laterais mínimas de 1,75 m e 15 cm de espessura. Além disso, ao considerar os riscos locais, recomenda-se que a área em torno do poço, com 10 metros de raio, seja protegida por um alambrado de tela e uma cobertura de brita no solo.

Segundo detectado por meio da Figura 4-12, o poço Frutal atende as recomendações do Manual quanto à edificação de proteção da coluna de revestimento, mas não há o isolamento proporcionado por um alambrado de tela. A laje externa de proteção existente apresenta ter dimensões menores que as recomendadas. Percebe-se que o poço conserva-se lacrado, com uma tampa metálica na coluna de produção. Essa tampa constitui-se um esquema de proteção contra atos de vandalismo, passíveis de ocorrerem nesse tipo de obra.



Figura 4-12: Fotos do poço Frutal
Fotos de Leonel Varanda – gerente local da COPASA em Frutal

Recomenda-se, nesta Pesquisa, que o poço Frutal seja permanentemente monitorado, bem como outras unidades de captação de água. O fato do local do poço ocupar pequenas dimensões físicas, e conseqüentemente poder passar incógnito, pode aumentar as probabilidades de risco de contaminação. Cita-se, por exemplo, aporte de combustível, defensivo agrícola, dentre outros possíveis agentes poluidores (ABAS, 2006a, p. 77).

As águas subterrâneas têm uso preferencial para o abastecimento das populações, mas a valorização dos recursos naturais do Aquífero Guarani pode ser conseguida com uso diversificado do consumo humano. Os exemplos a seguir, de explorações em Conceição das Alagoas e em Cachoeira Dourada, confirmam a possibilidade de usos múltiplos das águas subterrâneas.

4.4.3 Conceição das Alagoas

O empreendimento Ubatã Termas Parque Hotel Ltda. está localizado na margem direita da represa de Volta Grande, na zona rural do município de Conceição das Alagoas. O local tem grande potencial turístico. O represamento das águas do rio Grande, que proporciona várias opções para lazer, e a qualidade da água subterrânea explorada, utilizada em balneabilidade, atraem turistas interessados no turismo de água e sol e no conforto proporcionado pelo hidrotermalismo natural utilizado nas piscinas disponíveis.

A possibilidade de encontrar águas termais levou o Ubatã Termas Parque Hotel Ltda. a perfurar um poço tubular profundo – poço Ubatã 1. A excelência da água subterrânea permitiu a perfuração do poço – Ubatã 2 – e este pode ser destinado a abastecer uma indústria de envase de água mineral.

Relembra-se que, no Plano Nacional de Turismo, os recursos hídricos constam como atrativo principal de diversas práticas turísticas (BRASIL, 2006d, p. 43), conforme apresentado no Capítulo 3, subitem 3.4.1. Portanto, o elemento natural *água* contribui para o desenvolvimento socioeconômico do município de Conceição das Alagoas, tanto como recurso hídrico como recurso mineral.

A Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM executa a política de proteção, conservação e melhoria da qualidade ambiental no que concerne à prevenção, correção da poluição ou degradação ambiental provocada por atividades industriais, minerárias e de infra-estruturas. A FEAM pode exigir, em seu licenciamento ambiental, medidas mitigadoras e compensatórias para a liberação da atividade minerária. Adquire-se a Licença Ambiental após o cumprimento dos termos condicionantes a ela vinculados (FEAM, 2006). Portanto, a mineração responsável pelo poço Ubatã 2 necessita de Licença Ambiental, expedida pela FEAM e de concessão de Portaria de Lavra, por meio do

Ministro de Estado de Minas e Energia da Portaria de Lavra, para liberação de sua atividade minerária.

Ressalta-se que a água subterrânea do poço Ubatã 1, explotada como recurso hídrico, é passível de outorga pelo IGAM.

Os dados obtidos com a Pesquisa exploratória para os poços Ubatã 1 e Ubatã 2 encontram-se discriminados no Quadro 4-2 e no Quadro 4-3 já apresentados.

A Figura 4-13 ilustra a utilização da água subterrânea do Aquífero Guarani no turismo hidrotermal em Conceição das Alagoas.



Figura 4-13: Foto área do Ubatã Termas Parque Hotel Ltda.

Fonte: Google Earth (2006)

4.4.4 Cachoeira Dourada

O município de Cachoeira Dourada, com 2.305 habitantes de acordo com o censo do ano 2000 realizado pelo IBGE (IBGE, 2006a), localiza-se na região do Triângulo Mineiro, conforme indicado nos mapas da Figura 2-1 e da Figura 2-2, inseridas no Capítulo 2, que trata da metodologia empregada nesta Pesquisa. O município situa-se na margem esquerda do rio Paranaíba, na divisa entre os Estados de Minas Gerais e Goiás.

A cidade, de pequeno porte, conta com a Secretaria Municipal de Água e Esgoto como responsável pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. A captação superficial de água bruta faz-se por meio do lago artificial de Cachoeira Dourada, formado com o represamento do rio Paranaíba. Esse é o único manancial disponível, já que o aquífero Serra Geral que, até 2004, produzia água para a cidade por meio de três poços exploradores, foi preterido. Iniciou-se o tratamento das águas superficiais do rio Paranaíba ao ser inaugurada, em 2004, a estação municipal de tratamento de água.

É interessante comentar a presença de uma cidade homônima, localizada na margem direita do rio Paranaíba, portanto no Estado de Goiás. Constata-se que a cidade goiana, Cachoeira Dourada, possui poços exploradores do Aquífero Guarani, mas esses, evidentemente, não se enquadram na área delimitada para a Pesquisa, cabendo como sugestão para trabalhos futuros um estudo na área.

Atenta-se que o poço da Ilha localiza-se em ilha fluvial do rio Paranaíba e foi nesta Pesquisa admitido como pertencente ao município de Cachoeira Dourada. Este trabalho não entrou no mérito para essa opção, pois a mesma pode suscitar dúvidas, visto que o poço, além de situar-se em rio de domínio da União, posiciona-se entre a divisa dos Estados de Minas Gerais e Goiás, segundo mencionado no Capítulo 4, item 4.2, que trata dos resultados desta Pesquisa.

A Figura 4-14 ilustra tanto a localização da cidade de Cachoeira Dourada, na qual situam-se os oito poços de propriedade da Mineração Sal Nascente Ltda., quanto o poço da Ilha, situado em ilha fluvial do rio Paranaíba – poços esses identificados nesta Pesquisa conforme indicado no Quadro 4-1.



Figura 4-14: Vista aérea da cidade de Cachoeira Dourada

Fonte: Google Earth (2006)

Diversamente de Uberaba e Frutal, a zona urbana da cidade de Cachoeira Dourada não necessita da contribuição das águas subterrâneas do Aquífero Guarani, visto que as águas do rio Paranaíba satisfazem qualitativamente e quantitativamente as necessidades para consumo humano, depois de tratadas no sistema de tratamento municipal. Ainda que a cidade atinja índices inesperados de crescimento populacional, o rio Paranaíba é capaz de suprir sua demanda por água, em razão da grande disponibilidade hídrica presente nesse manancial. Em Cachoeira Dourada, a exploração das águas subterrâneas tem origem unicamente no interesse do desenvolvimento turístico.

De acordo com a Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) e a Resolução CNRH nº 16 (BRASIL, 2001b), o consumo humano e dessedentação de animais são considerados prioritários para outorga de direito de uso das águas prevalecendo esse uso sobre os demais. A Agência Nacional de Águas é a outorgante responsável pelo acesso ao recurso

hídrico superficial em questão, conforme citado no Capítulo 3, subitem 3.4.2, que trata acerca da dominialidade, já que o rio Paranaíba é um rio de domínio da União.

A Figura 4-15 ilustra o uso da água subterrânea explotada para balneabilidade em um empreendimento turístico na cidade de Cachoeira Dourada.



Figura 4-15: Uso da água subterrânea do Aquífero Guarani em Cachoeira Dourada

Historicamente, as águas subterrâneas provenientes do aquífero Serra Geral, no município de Cachoeira Dourada, apresentam teor elevado de sais. Como esses índices podem afetar a qualidade da saúde da população e são parâmetros de difícil remoção com o emprego das tecnologias normalmente utilizadas no tratamento de águas de abastecimento, a Prefeitura de Cachoeira Dourada optou por efetuar tratamento das águas superficiais da represa.

Após a realização de ensaios de tratabilidade, em amostras recolhidas no lago artificial, verificou-se que, com a utilização da tecnologia da dupla filtração, seguida de cloração e

fluoretação, as águas superficiais atenderiam o padrão de potabilidade especificado na Portaria 518 de 2004 do Ministério da Saúde. Portaria essa que estabelece os procedimentos e responsabilidades em relação ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e ao seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2004).

A Figura 4-16 mostra por meio da foto (a) a utilização, em forma de chafariz ornamental, da água explotada do Aquífero Guarani em Cachoeira Dourada e, por meio da foto (b), percebe-se a presença de sal residual após a evaporação da água, o que indica o alto teor de sais presente na composição hidroquímica da mesma.

(a)



(b)



Figura 4-16: Foto (a) utilização da água explotada do Aquífero guarani em cachoeira Dourada, e foto (b), no detalhe, sal residual após evaporação da água respingada

Segundo a Portaria 518 de 2004, em seu artigo 3º do Capítulo primeiro, que trata das Disposições Preliminares, essa norma não se destina às águas envasadas, cujos usos e padrões de qualidade são estabelecidos em legislação específica (BRASIL, 2004). Portanto, essa Portaria não se aplica às águas explotadas em Cachoeira Dourada, que, enquadradas como recurso mineral, regem-se conforme o Código de Águas Minerais de 1945, conforme visto no Capítulo 3, subitem 3.4.3 e subitem 3.4.4. Esse Código, ao enquadrar as águas de Cachoeira Dourada, não as dissociam da destinação estabelecida para as mesmas – a balneabilidade.

No prosseguimento deste subitem, descreve-se como as águas de Cachoeira Dourada – não destinadas para o consumo humano – enquadram-se como águas minerais de acordo o Código de Águas Minerais.

O Quadro 4-6 mostra parâmetros referentes a análises químicas, físico-químicas e bacteriológicas realizadas nos poços P1, P2, P3, P4 de Cachoeira Dourada, pelo Laboratório de Análises Minerais da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – LAMIN/CPRM, e traz o padrão referência da Portaria 518/04 para determinados parâmetros. Haja vista a abrangência dessa norma, a comparação é meramente ilustrativa. Entretanto, o confronto hipotético colabora para ressaltar as especificidades hidroquímicas das águas do Aquífero Guarani apresentadas frente a uma norma de referência e de reconhecimento nacional.

Se, como hipótese, as águas subterrâneas explotadas por meio dos poços tubulares profundos, em Cachoeira Dourada, fossem consideradas como recurso hídrico e não como recurso mineral, e, portanto sujeitas à submissão da Portaria 518/04, os valores dos parâmetros apresentados, como resultados das análises realizadas pelo laboratório LAMIN/CPRM, a inviabilizariam para o consumo humano direto. A tecnologia de tratamento, utilizada na mencionada estação municipal de tratamento de água, seria insuficiente para a remoção do elevado teor de sais apresentado.

Como consequência da comparação entre os resultados do laboratório LAMIN/CPRM e a Portaria 518/04 e sob as condicionantes da hipótese considerada, as águas explotadas do Aquífero Guarani na cidade seriam consideradas não potáveis.

Ressalta-se que as águas subterrâneas de Cachoeira Dourada – não enquadradas na Portaria 518/04, inseridas no contexto do Código de Águas Minerais e não utilizadas para o consumo humano – têm como destino a balneabilidade. Nesse contexto, a ação medicamentosa da composição química e das propriedades físicas ou físico-químicas das águas subterrâneas explotadas, deve ser comprovada para diferenciação dessas com as águas subterrâneas comuns, levando-se em consideração o provável uso em hidroterapia e hidrotermoterapia.

O principal intuito da inclusão do debate referente a potabilidade é evidenciar como uma água mineral não destinada ao consumo humano pode ter aplicabilidade no hidroturismo, não desqualificando a potencialidade do Aquífero Guarani na região. Essa inadequação para o abastecimento humano, considerado aparentemente um fator adverso de qualidade, em função do alto teor de sais minerais presente na composição química dessas águas, transforma-se em um atrativo para o Aquífero Guarani em Cachoeira Dourada, com a utilização dessas águas em piscinas inseridas no contexto do lazer e em hidrotermoterapia, considerando suas prováveis propriedades terapêuticas.

Evidencia-se que, com a divulgação dos resultados das análises realizadas pelo laboratório LAMIN/CPRM por meio deste trabalho, esses dados podem gerar estudos técnico-científicos e contribuir para a expansão dos conhecimentos acerca do Aquífero Guarani na região estudada.

Segue-se a apresentação do Quadro 4-6 que contém os parâmetros referentes a análises químicas, físico-químicas e bacteriológicas realizadas nos poços P1, P2, P3 e P4 de Cachoeira Dourada pelo laboratório LAMIN/CPRM e, também, o padrão referência da Portaria 518 de 2004 para determinados parâmetros.

Acrescenta-se que, para se ter uma análise completa da Portaria 518/04, para poços explotadores de águas subterrâneas – comuns e sem cloração – nos poços listados no Quadro 4-6, faltam os ensaios laboratoriais para os seguintes parâmetros que, obviamente, não foram realizados pelo LAMIN/CPRM: antimônio, cianeto, mercúrio, etilbenzeno, monoclorobenzeno, gosto, sulfeto de hidrogênio, surfactantes, tolueno, xileno e todos os parâmetros orgânicos e agrotóxicos, listados na Tabela 3 da Portaria 518/04.

Quadro 4-6: Dados das análises químicas, físico-químicas e microbiológicas dos poços P1, P2, P3, P4 e Padrão Referência constante na Portaria 518/04

Legenda:					
VMP Valor máximo permitido	* menor que 0,05 dil 1/500 mg/L				
— sem referência na Portaria 518/04	** menor que 0,02 dil 1/500 mg/L				
# valor > que VMP referência Portaria 518/04	< menor que				
Laboratório LAMIN/CPRM – data análise/ coleta: 26/07/2004					
Cachoeira Dourada	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4	Padrão Referência Portaria 518/04 VMP
Parâmetros físico-químicos					
Aspecto natural	límpido	límpido	límpido	límpido	—
Odor a frio	inodoro	inodoro	inodoro	inodoro	não objetável
Sólidos em suspensão mg/L	< 5	< 5	< 5	< 5	—
Odor a quente	inodoro	inodoro	inodoro	inodoro	não objetável
Aspecto após fervura	límpido	límpido	límpido	límpido	—
Cor aparente u Hazen	0	0	0	0	15 ¹
Cor real u Hazen	0	0	0	0	—
Turbidez uT	0,3	0,3	0,7	0,5	1 ²
pH	7,91	7,76	7,80	8,17	entre 6 e 9,5
Condutividade a 25°C µS/cm	9730	12700	13060	11520	—
Pressão osmótica mm de Hg a 25°C	407,26	553,81	570,85	503,54	—
Abaixamento crioscópico °C	403,27	548,39	565,26	498,61	—
Sólidos dissolvidos totais mg/L	não realizado	não realizado	não realizado	não realizado	1.000 ¹
Resíduo de evaporação a 110°C, calculado mg/L	7324,17	9977,40	10351,73	9070,12	—
Resíduo de evaporação a 180°C, calculado mg/L	7317,67	9968,90	10343,73	9060,62	—
Dureza total em CaCO ₃ mg/L	290,00	510,00 #	535,00 #	420,00	500 ¹
Dureza permanente em CaCO ₃ mg/L	285,00	505,00	520,00	390,00	—
Dureza temporária em CaCO ₃ mg/L	5,00	5,00	15,00	30,00	—
Oxigênio consumido meio ácido	1,30	1,7	1,6	1,9	—
Oxigênio consumido meio alcalino	0,00	0,30	0,3	0,4	—
Nitrogênio amoniacal mg/L NH ₃	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	1,5 ¹
Nitrogênio albuminóide mg/L NH ₃	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	—
Nitrito mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	1 ⁴
Nitrato mg/L	15,3 #	6,2	6,7	7,0	10 ⁴
Sulfato mg/L	3702,3 #	5130,2 #	5348,6 #	4600,2 #	250 ¹
Carbonato mg/L	0,00	0,00	0,00	3,21	—
Fluoreto mg/L	0,75	0,70	0,70	0,73	1,5 ⁴
Brometo mg/L	*	*	*	*	—
Cloreto mg/L	896,30 #	1287,91 #	1433,82 #	1256,54 #	250 ¹
Fosfato mg/L	**	**	**	**	—
Bicarbonato mg/L	329,77	261,20	261,20	244,38	—
Alumínio mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2 ¹
Arsênio	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01 ⁴
Bário	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,7 ⁴

Continua

Continuação do Quadro 4-6:

Laboratório LAMIN/CPRM – data análise/ coleta: 26/07/2004					Padrão Referência Portaria 518/04 VMP	
Cachoeira Dourada	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4		
Parâmetros físico-químicos						
Berílio mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	—	
Boro mg/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	—	
Cádmio mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,005 ⁴	
Cálcio mg/L	74,14	136,27	146,29	94,18	—	
Chumbo mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01 ⁴	
Cobalto mg/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	—	
Cobre mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	2 ⁴	
Cromo mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,05 ⁴	
Estrôncio mg/L	10,000	14,000	14,000	12,00	—	
Ferro Total mg/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,3 ¹	
Lítio mg/L	1,200	1,700	1,700	1,390	—	
Magnésio mg/L	25,52	41,32	41,32	44,97	—	
Manganês mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1 ¹	
Molibdênio mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	—	
Níquel mg/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	—	
Potássio mg/L	20,00	20,00	20,00	18,00	—	
Selênio mg/L	< 0,02 [#]	< 0,02 [#]	< 0,02 [#]	< 0,02 [#]	0,01 ⁴	
Silício mg/L	3,40	< 0,01	< 0,01	< 0,01	—	
Sódio mg/L	2400,00	3200,00	3200,00	2900,21	200 ¹	
Titânio mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	—	
Vanádio mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	—	
Zinco mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	5 ¹	
Parâmetros microbiológicos						
Coliformes Totais	<1/100 ml	<1/100 ml	<1/100 ml	<1/100 ml	ausência em 100 ml ⁵	
Coliformes Fecais	<1/100 ml	<1/100 ml	<1/100 ml	<1/100 ml	ausência em 100 ml ⁵	
Estreptococos fecais	<1/100 ml	<1/100 ml	<1/100 ml	<1/100 ml	—	
Pseudomonas aeruginosa	<1/100 ml	<1/100 ml	<1/100 ml	<1/100 ml	—	
Clostrídios perfringens	<1/100 ml	<1/100 ml	<1/100 ml	<1/100 ml	—	
N ° UFC/ml	< 1	< 1	< 80	< 2	até 500 UFC	
Estudo <i>in loco</i>						
Radioatividade na fonte a 20°C e 760 mmHg:	Maches	0,53	0,26	0,18	1,21	—
	nCi/L	0,19	0,09	0,07	0,44	—
	Bq/L	7,10 [#]	3,44 [#]	2,41 [#]	16,29 [#]	alfa global = 0,1 ⁶ beta total = 1,0 ⁶
Bicarbonato mg/L	348,00	262,64	262,64	265,92	—	
Carbonato mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	—	
Gás carbônico	29,00	24,16	19,00	31,41	—	
Amônio mg/L	< que 0,025	< que 0,025	< que 0,025	< que 0,025	1,5 ⁵	
Nitrito mg/L	< que 0,005	< que 0,005	< que 0,005	< que 0,005	1 ³	
Gás sulfídrico mg/L	< que 0,02	< que 0,02	< que 0,02	< que 0,02	—	

Fonte: Mineração Sal Nascente Ltda. e Portaria 518/04 (BRASIL, 2004)

A seguir, são discriminadas notas referentes ao padrão de potabilidade da Portaria 518/04. Estas notas auxiliam a esclarecer os valores listados como Padrão Referência, ou seja, o Valor Máximo Permitido – VMP, citados no Quadro 4-6.

¹ Padrão de aceitação para consumo humano.

² Padrão turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.

³ Valor máximo permitido para turbidez.

⁴ VMP no padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.

⁵ Padrão microbiológico para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras.

⁶ Padrão de radioatividade para água potável. Se os valores encontrados forem superiores aos VMP, deverá ser feita a identificação dos radionuclídeos presentes e a medida das concentrações respectivas. Nesses casos, deverão ser aplicados, para os radionuclídeos encontrados, os valores estabelecidos pela legislação pertinente da Comissão Nacional de Energia Nuclear, para se concluir sobre a potabilidade da água (BRASIL, 2004).

As análises laboratoriais, tabuladas no Quadro 4-6, para os parâmetros – resíduos de evaporação, calculados a 110°C e a 180°C – que, em média, para os quatros poços, resultaram nos valores 9.180,86 e 9.172,73 mg/L, respectivamente, evidenciam a quantidade expressiva, em miligramas por litro, do teor de sais minerais presente na água explotada. Os valores apresentados referem-se à massa conjunta de diferentes tipos de sais minerais.

Para um paralelo entre resultados laboratoriais cita-se, por meio do Quadro 4-7, determinadas águas minerais envasadas e seus resíduos de evaporação calculados a 180°C, bem como, os resultados obtidos para as águas explotadas em Cachoeira Dourada.

No Quadro 4-7, embora as águas listadas sejam todas minerais, essas apresentam duas destinações distintas: balneabilidade e consumo humano. Salienta-se que todas as análises foram realizadas pelo mesmo laboratório – LAMIN/CPRM.

Quadro 4-7: Resíduo de evaporação calculado a 180°C

Água mineral	Resíduo de evaporação	
	calculado a 180°C	Destinação
	LAMIN/CPRM	
Valor médio dos poços P1, P2, P3 e P4 de Cachoeira Dourada	9.172,73 mg/L	balneabilidade
Água Mineral Passa Quatro	67,60 mg/L	envase
Água Mineral Serra Negra Vida	144,00 mg/L	envase
Água Mineral Prata do Vale	23,00 mg/L	envase
Água Mineral Natural DaFlora	77,78 mg/L	envase
Água Mineral Natural Água Fria de Serra Negra	132,16 mg/L	envase

Fonte: Mineração Sal Nascente Ltda., Mineração Água Padre Miguel, Água Mineral Serra Negra Vida, Água Mineral Prata do Vale, Água Mineral Natural DaFlora e Água Mineral Natural Água Fria de Serra Negra

Para o estabelecimento de relações entre as águas minerais listadas constata-se que, para uso em balneabilidade, as águas explotadas em Cachoeira Dourada têm, em média, quantidade de sais minerais – mensurada por meio dos resíduos resultantes após evaporação a 180°C – cerca de 100 vezes maior que a quantidade dos resíduos resultantes das águas listadas para consumo humano, observar resultados no Quadro 4-7.

O DNPM estabelece, de acordo com a sua Portaria nº 117/72, instruções acerca dos estudos *in loco* de fontes de águas minerais ou potáveis de mesa como condição indispensável à aprovação do processo de outorga de direito de uso da água mineral, independentemente da utilização, seja para consumo humano ou para fins de balneabilidade (BRASIL, 1972).

A Portaria 117/72/DNPM estabelece, em seu artigo 2º do Capítulo XVII, que o interessado em classificar uma água subterrânea como mineral solicitará e pagará diretamente à CPRM a execução de serviços realizados pelo LAMIN, e esse laboratório encaminhará ao Distrito do DNPM correspondente, por meio de laudos, os resultados obtidos (BRASIL, 1972).

Conforme citado, a classificação das águas subterrâneas minerais será resultante das condições contidas no Código de Águas Minerais de 1945.

Análises físico-químicas e bacteriológicas não realizadas pelo LAMIN/CPRM não são válidas perante o DNPM. Explica-se, desse modo, o intuito dos resultados apresentados no Quadro 4-7 serem todos do LAMIN/CPRM, o que evidencia a importância desse laboratório no processo para a obtenção da outorga de Portaria de Lavra. O DNPM recomenda uma análise prévia da água sob pesquisa, no mencionado laboratório de referência, para evitar expectativas inócuas caso essa não se enquadre como mineral de acordo com os preceitos estabelecidos no Código de Águas Minerais de 1945 (BRASIL, 2006a).

Relembra-se que, conforme descrito no Capítulo 3, subitem 3.4.3, que trata das águas subterrâneas no Código de Águas Minerais de 1945, esse Código assim define

Águas minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuem composição química, propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes conferem uma ação medicamentosa (BRASIL, 1945).

As águas subterrâneas, mesmo sem atingir os limites da classificação estabelecida nos Capítulos VII e VIII do Código de Águas Minerais de 1945, podem ser, também, classificadas como minerais, de acordo com o Capítulo primeiro do citado Código.

Cita-se que os Capítulos VII e VIII mencionados tratam, respectivamente, da classificação química das águas minerais e da classificação das fontes de água mineral e, além disso, estabelecem as características de composição e propriedades para a classificação como água mineral pela imediata atribuição de ação medicamentosa.

O Capítulo primeiro do Código de Águas Minerais de 1945, que trata das disposições preliminares, detalha esse possível enquadramento

§ 2º - Poderão ser, também, classificadas como minerais, águas que, mesmo sem atingir os limites da classificação estabelecida nos Capítulos VII e VIII, possuam inconteste e comprovada ação medicamentosa.

§ 3º - A ação medicamentosa referida no parágrafo anterior das águas que não atinjam os limites da classificação estabelecida nos Capítulos VII e VIII deverá ser comprovada no local, mediante observações repetidas, estatísticas completas, documentos de ordem clínica e de laboratório, a cargo de médicos crenologistas, sujeitas às observações à fiscalização e aprovação da Comissão Permanente de Crenologia definida no Art. 2º desta Lei.

Art. 2º - Para colaborar no fiel cumprimento desta Lei fica criada a Comissão Permanente de Crenologia, diretamente subordinada ao Ministro das Minas e Energia (BRASIL, 1945).

Em síntese, as águas do Aquífero Guarani, para serem enquadradas como mineral, têm que, depois de analisadas pelo laboratório de referência – LAMIN/CPRM –, atenderem os preceitos do Código de Águas Minerais de 1945 de possuírem características que lhes confirmem uma ação medicamentosa e serem classificadas por meio do DNPM – Brasília (BRASIL, 2006a).

A identificação das prováveis propriedades terapêuticas e/ou ação medicamentosa da composição química diferenciada, das águas minerais produzidas em Cachoeira Dourada, pode ser obtida por meio de pesquisas crenológicas.

O DNPM dispõe de uma Comissão Permanente de Crenologia, subordinada ao Ministério de Minas e Energia, mas lotada nesse Departamento. Essa Comissão foi criada com a instituição do Código de Águas Minerais em 1945. Tem como competência o estabelecimento de condições, sob o ponto de vista médico, para os regulamentos, implantações e coordenação das atividades crenológicas em todo território nacional. Tem também a prerrogativa de emitir pareceres acerca das potencialidades e dos indicadores que possam comprovar a caracterização das águas como coadjuvantes terapêuticos, além de classificar as estâncias hidrominerais segundo as características terapêuticas de suas águas, bem como eventuais contra-indicações, dentre outras atribuições. A Portaria nº 52, de 02 de fevereiro de 2005 (BRASIL, 2005a), aprova o regimento interno da Comissão Permanente de Crenologia do Ministério de Minas e Energia.

Como um dos resultados parciais desta Dissertação acerca do uso, exploração e das potencialidades do Aquífero Guarani na cidade de Cachoeira Dourada, cita-se a não classificação, nos preceitos do Código de Águas Minerais de 1945, até o momento da realização desta Pesquisa, das águas dos poços P1, P2, P3 e P4, em função das especificidades presentes nas análises químicas e físico-químicas da água subterrânea dessa região, expostas por meio do Quadro 4-6. Relata-se que a classificação é competência do DNPM-Brasília.

A Mineração Sal Nascente Ltda. aguarda a outorga de Portaria de Lavra, a ser publicada no Diário Oficial da União – DOU, para iniciar a exploração comercial da água mineral para uso em balneário hidrotermal e hidroterapêutico.

A relevância da classificação oficial dos atributos minerais das águas, a ser divulgado pela Comissão de Crenologia, por meio do DNPM - Brasília, colaborará para expandir as potencialidades do Aquífero Guarani, em função dos múltiplos usos de suas águas e das qualidades regionais específicas e diferenciadas que o mesmo apresenta.

Os demais poços da Mineração Sal Nascente Ltda., poços P5, P6, P7 e P8, possuem características semelhantes aos mencionados poços P1, P2, P3 e P4. O poço da Ilha, do mesmo modo, apresenta conformidades com os poços tubulares profundos explorados pela mencionada Mineração. Evidentemente, somente resultados oficiais do LAMIN/CPRM subsidiarão a divulgação, pelo DNPM-Brasília, da classificação oficial dessas águas subterrâneas e poderão comprovar as semelhanças hidroquímicas do Aquífero Guarani nas águas exploradas em Cachoeira Dourada.

Cabe mencionar que a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que trata da classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições de lançamento de efluentes, não pode ser utilizada para classificar as águas subterrâneas do Aquífero Guarani, em Cachoeira Dourada ou em outra localidade. O artigo primeiro da referida legislação diz que a mesma pode dispor sobre **corpos de água superficiais** (BRASIL, 2005b, destaque nosso). Desse modo, excluem-se, do alcance dessa Resolução, as águas subterrâneas do Aquífero Guarani, sejam essas águas consideradas recursos hídricos ou minerais.

Observa-se que a Resolução nº 357/05, ao classificar as águas superficiais, adota as seguintes nomenclaturas em seu artigo 2º do Capítulo primeiro: águas doces, águas salobras e águas salinas. Conforme descrito, as águas subterrâneas, por não serem, evidentemente, superficiais, não recebem essas terminologias (BRASIL, 2005b).

Conhecedores das águas subterrâneas de Cachoeira Dourada designam popularmente as mesmas como salgadas ou salobras devido à quantidade de sais presentes em sua composição hidroquímica. Mas, segundo exposto, esse enquadramento tecnicamente é inadequado, por isso não utilizado nesta Dissertação como referência a essas águas, adotando-se a titulação *águas com alto teor de sais*.

Também, conforme disposto, o DNPM - Brasília, de posse das análises do LAMIN/CPRM, não divulgou, até a data desta Pesquisa, a classificação das águas dos poços P1, P2, P3 e P4, evidentemente de acordo com o Código de Águas Minerais de 1945. Destaca-se que o Código de Águas Minerais de 1945 não contempla as terminologias salgadas e salobras em seu artigo 35 do Capítulo VII, que trata da classificação química das águas minerais (BRASIL, 1945).

Acrescenta-se que, posteriormente a serem empregadas para fins balneários, as águas minerais explotadas, transformam-se em efluentes dos empreendimentos turísticos e, como efluentes, enquadram-se na Resolução nº 357 do CONAMA que, em seu artigo 24 do Capítulo IV, intitulado *Das condições e padrões de lançamento de efluentes*, traz

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta resolução e em outras normas aplicáveis (BRASIL, 2005b).

Os empreendimentos usuários de água mineral para fins de balneabilidade devem, nesse caso, atender a Resolução nº 357 em relação ao lançamento de seus efluentes, incluindo aqui o descarte das águas minerais utilizadas em hidroterapia e hidrotermoterapia.

Na cidade de Cachoeira Dourada, a única opção para lançamento de efluentes resultantes dos balneários é a represa de Cachoeira Dourada. Acrescenta-se que a cidade possui uma estação de tratamento de esgoto para águas residuárias e, evidentemente, devido ao volume apresentado, as águas provenientes de balneabilidade e hidrotermoterapia devem ser encaminhadas diretamente à represa. A outorga para esse procedimento deve ser solicitada à ANA. O rio Paranaíba, formador da represa, representa um bem da União e essa Agência é a outorgante para captação e lançamentos de efluentes em bens da União. Ressalta-se que o balneário turístico da cidade não apresentou laudos referentes aos seus efluentes, pois o mesmo, até então, não se encontra em funcionamento, portanto, não gera amostras consistentes para análises de efluentes.

A atividade da Mineração Sal Nascente Ltda., obviamente, é considerada atividade minerária, desse modo, torna-se passível de autorização ambiental para funcionamento em esfera estadual, expedida pela FEAM. Essa Fundação pode exigir, em seu licenciamento ambiental, medidas mitigadoras e compensatórias para a liberação da atividade minerária. A Licença Ambiental pode ser adquirida depois do cumprimento dos termos condicionantes vinculados a essa liberação, dentre outros requisitos.

A presença expressiva de sais minerais nas águas subterrâneas do Aquífero Guarani, presente nos poços exploradores em Cachoeira Dourada, intriga os conhecedores e usuários dessas águas, principalmente ao considerar-se que essas características químicas não ocorrem em todo o Aquífero. O Referencial Teórico da Pesquisa apresentado no Capítulo 3, subitem 3.5.5, que trata das especificidades hidrogeológicas, inclui um panorama das possíveis causas dessas especificidades na composição hidrogeoquímica, em termos gerais do Aquífero Guarani e não especificamente à Cachoeira Dourada. A seguir, apresenta-se resumidamente o descrito no Capítulo 3, subitem 3.5.5.

Machado (2005, p. 1) aponta que estudos demonstram o Aquífero Guarani compartimentado em vários blocos compondo um sistema, o *Sistema Aquífero Guarani – SAG*, com potencialidades muito diversas. Montañó et al (2004) consideram que o SAG não se constitui em um sistema homogêneo e a aparente homogeneidade, apresentada em muitas publicações, deve-se simplesmente a zonas com falta de dados ou de estudos detalhados. Rosa Filho (2004) descreve que a continuidade do fluxo da água subterrânea não pode ser estendida a todo o SAG e, ainda, que a compartimentação por falhamentos

geológicos expressivos e por intrusões de rochas funciona como barreiras hidráulicas, segmenta o sistema e afeta o fluxo.

Cabe comentar, das descrições anteriores, que os autores apresentados concordam em um ponto: o Aquífero Guarani não é homogêneo e sim heterogêneo. Essa dessemelhança – também representada pela diferenciada e expressiva composição hidrogeoquímica das águas explotadas na cidade de Cachoeira Dourada – em relação, por exemplo, às explorações de Uberaba e Frutal, pode ter origem, de acordo com as descrições vistas, em um bloco dos arenitos mesozóicos confinado, ou compartimentado na região, devido aos seguidos derrames de basaltos. A Figura 3-16, inserida no Capítulo 3, ilustra um possível caso dessa situação.

Um outro ponto a ser destacado é a variação nas concentrações dos diversos sais encontrados entre as águas explotadas dos poços P1, P2, P3 e P4, conforme demonstrado no Quadro 4-6. Segundo comunicação oral, a Mineração Sal Nascente Ltda. informou que a distância média entre os poços de sua propriedade situa-se no intervalo de 400 e 500 metros. Uma possível hipótese para essa inconstância no teor de sais pode ser o aporte de águas subterrâneas mais superficiais, provenientes de fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral, acrescidas às águas do Aquífero Guarani por meio de infiltrações localizadas nas paredes dos poços tubulares profundos explotadores.

O fluxo subterrâneo na região de Cachoeira Dourada, se existente, pode ser descontínuo em relação ao conjunto do SAG, conforme analisado. Há possibilidade de se ter inúmeras variáveis compondo a equação do movimento dessa corrente de água subterrânea e uma dessas variáveis faculta ser o tempo de permanência da água nos arenitos formadores do Aquífero Guarani. Um grande tempo de residência implica em um fluxo praticamente estacionário em uma determinada escala temporal. Uma das possíveis hipóteses envolve se a sucessão de anos necessária para dar continuidade ao fluxo pode ser a responsável pela alta concentração de sais residuais na água subterrânea ao relacionar a interação água-arenito com o teor de sais apresentado.

Nesse contexto, seria interessante efetuar técnicas disponíveis na atualidade para estimar a idade da água em questão, ou seja, seu tempo de permanência no Aquífero Guarani e, com os resultados, inferir as interpretações cabíveis.

A aplicação de técnicas nucleares em meio ambiente é utilizada mundialmente, inclusive no Brasil, para execução de trabalhos em hidrogeologia subterrânea. O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN, pertencente à Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, autarquia federal diretamente ligada ao Ministério da Ciência e Tecnologia, tem capacitação para realizar determinadas técnicas nucleares (CDTN, 2007).

O CDTN coordenou a componente isotópica dos estudos desenvolvidos no Projeto Avaliação dos Recursos Hídricos do Sistema Aquífero Guarani no Município de Araguari, integrante do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (SISTEMA AQUÍFERO GUARANI, 2006a).

Os isótopos ambientais transformaram-se em um componente essencial da hidrogeologia nos estudos de águas subterrâneas e de seus contaminantes. As transformações ocorridas nos processos físico-químicos do ciclo hidrológico modificam a composição isotópica estável da água, dando às águas, em seus diversos reservatórios, uma assinatura isotópica específica. Essa assinatura serve como um traçador ambiental natural para a origem das águas subterrâneas. A deterioração dos radioisótopos fornece uma estimativa do tempo da circulação e, conseqüentemente, da recarga do aquífero. Os isótopos ambientais podem fornecer mais que indicações da proveniência e da idade da água subterrânea, com eles pode-se inferir acerca da qualidade; da evolução geoquímica; dos processos de recarga; da interação rocha-água, da origem da salinidade e dos processos contaminantes (CLARK; ARAVENA, 2005).

Nesta Dissertação não foi prevista a realização de análises isotópicas nas águas subterrâneas produzidas nos poços de Cachoeira Dourada, mas essas são consideradas uma opção para o possível entendimento do alto teor de sais apresentado pelas mesmas. Com a utilização dos isótopos ambientais, pode-se inferir características e idade das águas do reservatório Aquífero Guarani subjacente à cidade de Cachoeira Dourada, bem como das águas dos aquíferos Bauru e Serra Geral e, desse modo, subsidiar uma avaliação da origem das águas exploradas.

Pode-se, em teoria, também avaliar, por análises isotópicas, a possibilidade de ocorrência de mistura entre a água subterrânea do Aquífero Guarani, com maior tempo de residência, e a água superficial da represa de Cachoeira Dourada, considerada mais jovem no tempo de renovação proporcionado pelo ciclo hidrológico.

Para se verificar um hipotético fluxo ascendente registra-se a dificuldade de coleta de amostras de águas representativas e consistentes, originárias do Aquífero Guarani e entrantes na represa, devido ao grande volume armazenado na represa e a profundidade desta. E a análise do fluxo inverso – da contribuição da água superficial armazenada na represa para o Aquífero Guarani – caso seja possível, igualmente constata-se a dificuldade na coleta de amostra representativa, pois conforme citado, o aporte de águas mais recentes pode ocorrer por meio de infiltrações nas paredes dos poços – provenientes de fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral – que comprometem o processo de avaliação de resultados. Registra-se que a construção de um poço para observação, totalmente tubulado, poderia auxiliar o estudo hidrogeológico da região.

A hipótese de recarga do Aquífero Guarani por águas mais superficiais, provenientes da represa de Cachoeira Dourada, contraria as informações apresentadas na Figura 3-10, que ilustra o mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani. Segundo esse mapa, o entorno do rio Paranaíba e rio Grande, localiza-se em áreas descritas como potenciais de descarga. Em outros termos, conforme Sistema Aquífero Guarani (2006b), havendo descarga, o Aquífero Guarani contribuiria para os incrementos de vazão no rio Paranaíba, rio Grande, afluentes e, conseqüentemente, para as represas desses corpos hídricos.

No contexto da hidrologia e da hidrogeologia, os isótopos ambientais mais comumente utilizados são os (^2H), (^3H) e (^{18}O), pois esses átomos constituem a própria molécula da água (H_2O).

O Quadro 4-8 lista a relação dos isótopos ambientais mais comumente utilizados como traçadores ambientais.

Quadro 4-8: Isótopos ambientais comumente utilizados

Isótopos			elementos químicos
^1H	^2H deutério	^3H trítio	Hidrogênio
^{12}C	^{13}C	^{14}C	Carbono
^{14}N	^{15}N		Nitrogênio
^{16}O	^{18}O		Oxigênio
^{32}S	^{34}S		Enxofre

Fonte: Modificado de Clark e Aravena (2005)

Conforme CDTN (2007), para a datação de águas muito antigas, pode-se requerer a análise de diversos elementos, os quais cobrem determinadas faixas de idade. Com o Trítio – ^3H – o mais pesado isótopo do hidrogênio, por exemplo, pode-se datar águas de até 300 anos. Com o Carbono 14 pode-se chegar até 30.000 anos. Com os gases nobres consegue-se cobrir várias faixas – em média, de cerca de 250.000 anos. O Cloro 36 e a razão Urânio 234/Urânio 238 permitem datar águas de três milhões de anos e o Hélio 4, águas de 100 milhões de anos. As técnicas disponíveis comumente no mercado brasileiro referem-se ao Trítio, cujo valor unitário da análise é de cerca de 150 U\$ e ao Carbono 14, cujo valor unitário é de 450 U\$. As demais, técnicas especiais, realizadas por poucos laboratórios, são de difícil previsão em termos de custo. Por princípio, seria aconselhável iniciar análises isotópicas, nas águas subterrâneas explotadas em Cachoeira Dourada, com o Trítio e com o Carbono 14, até mesmo para se tentar averiguar se há mistura ou contaminação com águas mais recentes.

A importância do estudo isotópico mencionado justifica-se e constitui-se em uma significativa ferramenta para uma nova abordagem, além de pretender uma melhor caracterização regional do Aquífero Guarani em relação à trajetória das águas subterrâneas, ao tempo de renovação e à definição referentes a misturas advindas de conexões hidráulicas com o aquífero sobrejacente, Serra Geral.

Como determinados questionamentos acerca das águas subterrâneas do Aquífero Guarani em Cachoeira Dourada provavelmente permitem ser avaliados por meio de análises isotópicas, apresenta-se no Quadro 4-9 custos financeiros para a realização dessas análises. Esses estudos podem ser executados inicialmente no CDTN, localizado em Belo Horizonte, Minas Gerais, e, posteriormente, se necessário for, seriam encaminhadas amostras coletadas a um laboratório com tecnologia nuclear capaz de realizar as análises isotópicas inexequíveis no CDTN. Ressalta-se que os valores apresentados não incluem coleta e transporte das amostras coletadas.

Quadro 4-9: Análises isotópicas e custos financeiros

Legenda: U\$ valor em dólar

Isótopos	Data até a idade de	Valor da análise	Laboratório
Trítio – ^3H	300 anos	150 U\$	CDTN
Carbono 14	30.000 anos	450 U\$	CDTN
Gases nobres	250.000 anos	não disponível	—
Cloro-36; Urânio-234, Urânio -238	3 milhões de anos	não disponível	—
Hélio 4	100 milhões de anos	não disponível	—

Fonte: CDTN (2007)

A Mineração Sal Nascente Ltda. utilizou, nos oito poços de sua propriedade na cidade de Cachoeira Dourada, Perfuratriz percussora, marca Prominas, modelo P-350. Distingue-se, em duas fotos apresentadas na Figura 4-17, o maquinário empregado.

Segundo comunicação oral, a Mineração Sal Nascente Ltda. informou que a perfuração pelo método de percussão a cabo, utilizado em suas prospecções, possibilita a execução de orifício tubular vertical mediante a suspensão e queda de ferramental pesado na abertura do furo. O peso rompe ou esmaga a rocha dura – no caso, a rocha basáltica – e converte-a em pequenos fragmentos. A ação de *ida e vinda* das ferramentas no interior do orifício mistura as porções trituradas de rocha com a água e forma uma pasta fluida, ou lama. A água para

formar essa lama é introduzida no poço, caso a mesma não exista na formação rochosa perfurada, a pasta formada, quando em excesso, é retirada do interior do orifício por meio de uma peça denominada caçamba. O conjunto de ferramental necessário para a perfuração inclui, dentre outras peças, uma haste, um trépano, cabos de aço e uma caçamba. A torre metálica, combinada com um motor movido a óleo diesel, permite a elevação do cabo de aço, da haste, do trépano e demais peças. A altura alcançada, aliada ao peso do ferramental elevado, fornece a energia necessária para os golpes, imprescindíveis à perfuração pelo método de percussão a cabo.

O processo de perfuração utilizado inviabilizou a obtenção de amostras indeformáveis das rochas – basálticas e sedimentares – presentes na estratigrafia local e prejudicou possíveis análises laboratoriais para determinação de parâmetros que auxiliariam a caracterização regional do Aquífero Guarani.

A Figura 4-17 expõe fotos e detalhes dos poços tubulares profundos, de propriedade da Mineração Sal Nascente Ltda., localizados na cidade de Cachoeira Dourada.



Poço 1: Casa de proteção



Poço 2: Técnico do LAMIN/CPRM



Poço 3: Manômetro, hidrômetro e torneira



Poço 4: Manômetro



Poço 5: Casa de proteção



Poço 6: Casa de proteção



Poço 7: Maquinário para a perfuração



Poço 8: Maquinário para a perfuração

Figura 4-17: Exploração do Aquífero Guarani em Cachoeira Dourada

Percebe-se, por meio das fotos da Figura 4-17, a edificação de casas de proteção, modelo padrão DNPM, para abrigo da captação das águas minerais produzidas sem sistema de bombeamento. As janelas com tela e os pisos e paredes, no interior dessas construções, com revestimentos cerâmicos, auxiliam a proteção sanitária referente à qualidade e integridade das águas produzidas.

Registra-se a foto da realização de análises *in loco* por técnico do LAMIN/CPRM no Poço 2, estudo esse realizado na fonte, conforme descrito, e indispensável à obtenção de outorga de água mineral.

Também por meio das fotos da Figura 4-17, visualiza-se o posicionamento de hidrômetros e manômetros instalados, respectivamente, para controle de vazão e de pressão da água no poço explorador. Identifica-se torneira para a coleta de amostras de água na fonte e para mensuração de temperatura na saída do poço.

Conforme comunicação oral com a Mineração Sal Nascente Ltda., ressalta-se que, por meio dos hidrômetros e manômetros instalados, as pressões e vazões mensuradas na fonte pretendem compor uma série histórica para se identificar possíveis interferências, devido às extrações, entre os poços. O DNPM exige relatório mensal, elaborado pela Mineração e encaminhado a esse Departamento, acerca dos resultados semanal da mensuração da temperatura, da vazão e da pressão, referentes à água explotada em cada poço. Acrescenta-se que há, também, um cadastro da temperatura ambiente.

A Figura 4-18 representa, resumidamente, o esquema estratigráfico dos poços tubulares profundos exploradores do Aquífero Guarani em Cachoeira Dourada, ilustra as características construtivas dos mesmos e indica as espessuras das camadas perfuradas no manto de alteração – solo superficial –, na formação Serra Geral, bem como nos arenitos do Aquífero Guarani.

A Figura citada mostra os dois tubos utilizados – tubo geomecânico em PVC e tubo em aço preto – posicionados na camada do solo sobrejacente à rocha. Essas tubulações visam a auxiliar a preservação da qualidade da água explotada e à proteção mecânica e sanitária dos poços, quando esses atravessam a camada superficial de solo. As cimentações nos espaços anelares entre o tubo geomecânico e o tubo de aço preto e entre esse último e o manto de alteração contribuem para isolar os poços de possíveis interferências externas.

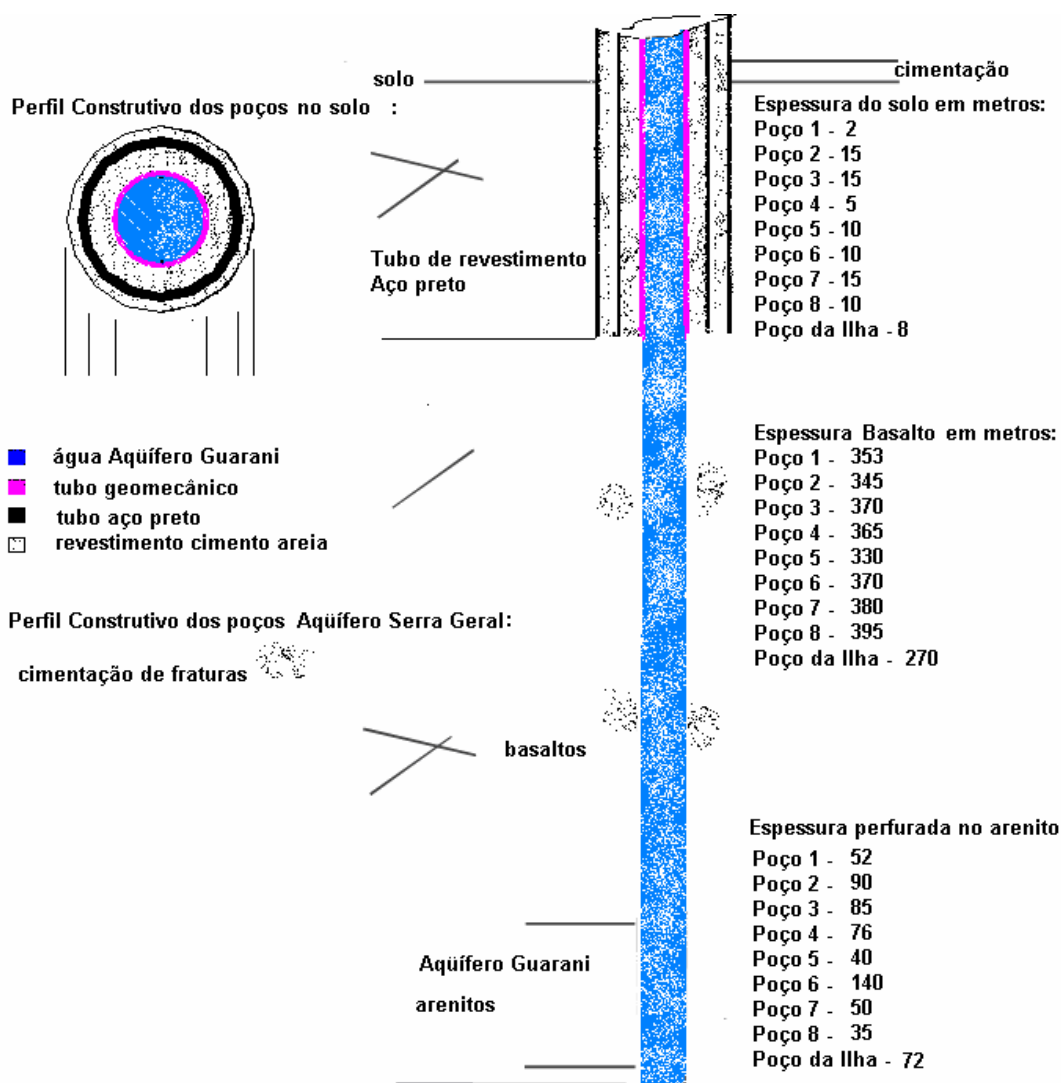


Figura 4-18: Características construtivas dos poços tubulares profundos em Cachoeira Dourada

Fonte: Mineração Sal Nascente Ltda.

Conforme comunicação oral com a Mineração Sal Nascente Ltda., o sondador – profissional diretamente ligado à perfuração – ao perceber a existência de fenda ou fratura portadora de água nos basaltos da formação Serra Geral, prossegue a perfuração, até ultrapassar essa interferência. Em seguida à desobstrução do poço, faz-se a cimentação, operação em que uma massa de cimento e areia é introduzida no furo. Preenche-se com essa argamassa o espaço anterior e posterior à fenda, com cerca de um metro acima e um

metro abaixo da mesma. Após a cura do cimento integrante da massa, reinicia-se o processo de perfuração e ultrapassa-se a extensão cimentada com o conjunto de ferramental, promovendo o rompimento desta. Com a execução de cimentação, conforme descrita, tentou-se impedir a entrada, nas paredes laterais dos furos, de água superficial presente em fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral.

Ressalta-se que, o método descrito e utilizado na perfuração dos poços de Cachoeira Dourada, não garante completo impedimento às infiltrações laterais nas paredes dos mesmos. Uma indicação possível para solucionar as possíveis infiltrações seria a tubulação completa do orifício.

O Quadro 4-10 resume as características construtivas e a estratigrafia dos poços de Cachoeira Dourada. Apresenta as camadas no sentido da perfuração, ou seja, do manto de alteração em direção ao embasamento do cristalino. Aponta-se para a não existência de filtros ou pré-filtros nesses poços.

Quadro 4-10: Estratigrafia dos poços de Cachoeira Dourada

Perfil litológico	Estratigrafia – em metros perfurados								Poço da ilha
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
Cretáceo									
Grupo Bauru	2	15	15	5	10	10	15	10	8
Arenito/Argila/ Siltito									
Jurássico cretáceo									
Formação Serra Geral	353	345	370	365	330	370	380	395	270
Basalto									
Jurássico cretáceo									
Formação Botucatu –									
Arenito	52	90	85	76	40	140	50	35	72
Formação Pirambóia –									
Arenito									
Cretáceo									
Formação Serra Geral	—	—	—	—	—	6	—	—	—
Basalto									
Diâmetro de Perfuração	Metros perfurados do manto de alteração em direção ao embasamento cristalino								
10"	2	15	15	5	10	10	15	10	8
6"	405	435	455	441	370	516	430	430	342
Filtros/pré-filtros	inexistente	inexistente	inexistente	inexistente	inexistente	inexistente	inexistente	inexistente	inexistente

Fonte: Mineração Sal Nascente Ltda.

Ressalta-se, como resultado da análise do Quadro 4-10, que oito dos nove poços perfurados em Cachoeira Dourada não ultrapassaram os arenitos do Aquífero Guarani para encontrarem as rochas do embasamento cristalino. Não foi possível, desse modo, estimar a espessura dessa camada reservatória na região dos poços perfurados.

O poço P6, como exceção, na profundidade de 520 metros, encontrou novamente o basalto da formação Serra Geral, depois de ultrapassar 140 metros de arenitos. Nota-se que esse poço, dentre os nove poços localizados em Cachoeira Dourada, foi o que mais penetrou nas litologias do Aquífero Guarani.

4.5 Panorama do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro

Esse item empreende registrar os mapas do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro e, por meio de estudos realizados por distintos autores, demonstrar o panorama existente de conhecimento do referido Aquífero na área delimitada para estudo nesta Pesquisa.

4.5.1 Mapa apresentado no Workshop Aquífero Guarani: Potencialidades para o Estado de Minas Gerais

No Workshop *Aquífero Guarani: Potencialidades para o Estado de Minas Gerais*, realizado na cidade de Uberlândia em novembro do ano 2001, apresentou-se o mapa de locação do Aquífero Guarani para a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (NISHIYAMA, 2001). Para elaboração do mesmo, o geólogo e professor doutor Luiz Nishiyama, da Universidade Federal de Uberlândia, agregou ao seu conhecimento técnico-científico as experiências práticas geológicas vivenciadas em quase 25 anos de reconhecimento da região referenciada para o estudo desta Dissertação.

Esse citado mapa do Aquífero Guarani, originalmente demonstrado no citado Workshop, ilustra a presença dos arenitos mesozóicos na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, sem demarcações das divisões territoriais municipais. Para a adaptação apresentada nesta Dissertação, incluiu-se os limites territoriais dos municípios dessa mesoregião.

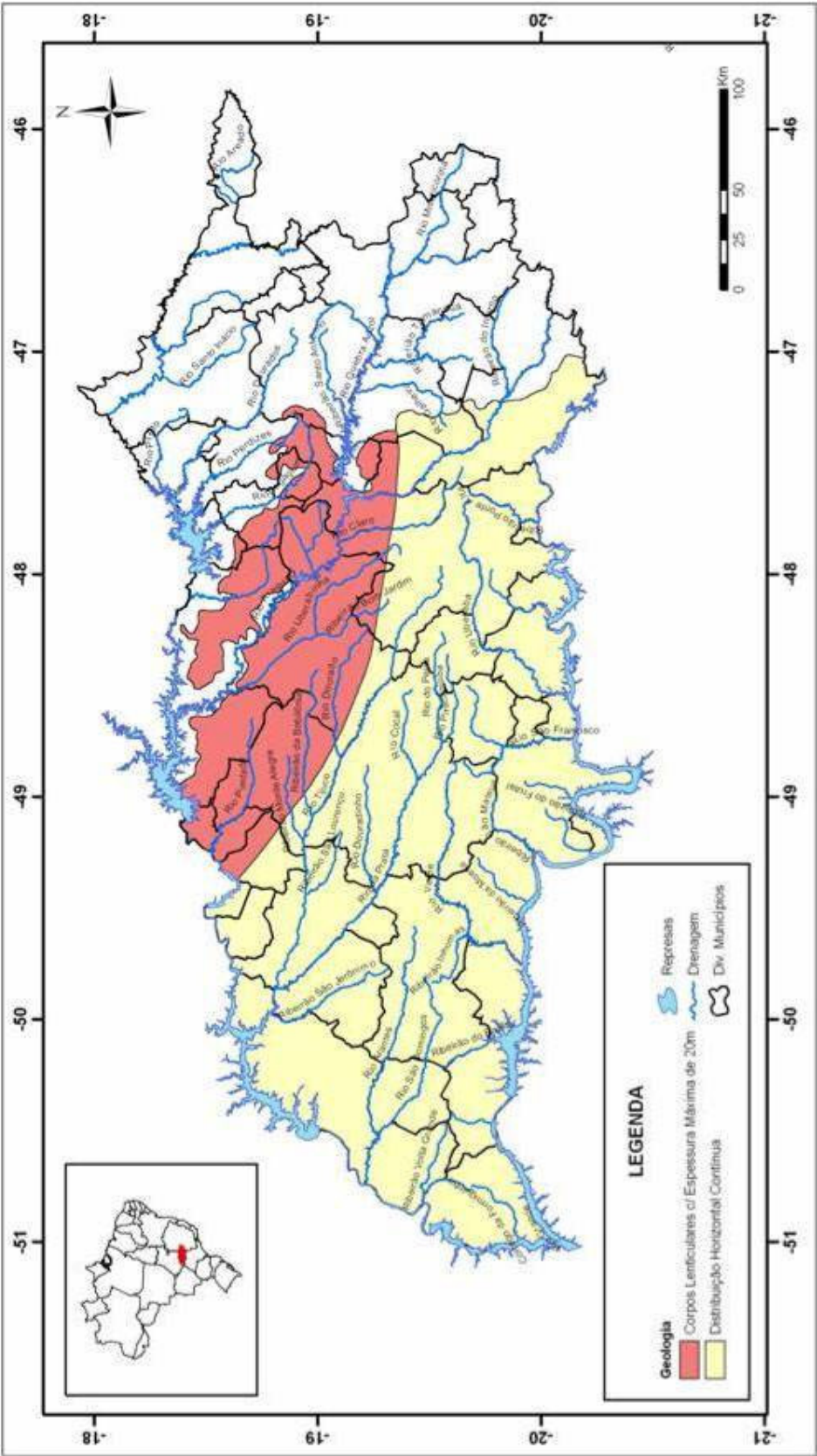


Figura 4-19: Mapa esquemático do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Fonte: Modificado de Nishiyama (2001) e IBGE (2006)

Na Figura 4-19 observa-se a presença dos arenitos formadores das unidades geológicas Botucatu e Pirambóia, em parte do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Uma porção dessas unidades geológicas, representada pela coloração vermelha, não chega a constituir um aquífero consistente devido às limitações das características geométricas predominantes nessas ocorrências, indicadas como corpos lenticulares com espessura máxima de 20 metros. Nishiyama (2001), por meio de comunicação oral, considera esses corpos lenticulares descontínuos e inexpressíveis para potencial exploração.

O mapa apresentado na Figura 4-20, baseado no mapeamento ilustrado na Figura 4-19, adiciona as denominações dos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

O mapa da Figura 4-19, se analisado conjuntamente com os dados apresentados na Figura 4-3, que traz as divisões geográficas dos Comitês de Bacias Hidrográficas para a mesorregião em questão, pode auxiliar a gestão participativa e integradora de ações entre os CBHs em relação à presença do Aquífero Guarani: PN3 – dos afluentes mineiros do Baixo Paranaíba, PN2 – do rio Araguari –, GD7 – dos afluentes mineiros do Médio rio Grande – e GD8 – dos afluentes mineiros do Baixo rio Grande.

Além disso, o mapa da Figura 4-19 pode ampliar a percepção ambiental concernente à existência do Aquífero Guarani para a população dos municípios sobrejacentes a esse no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

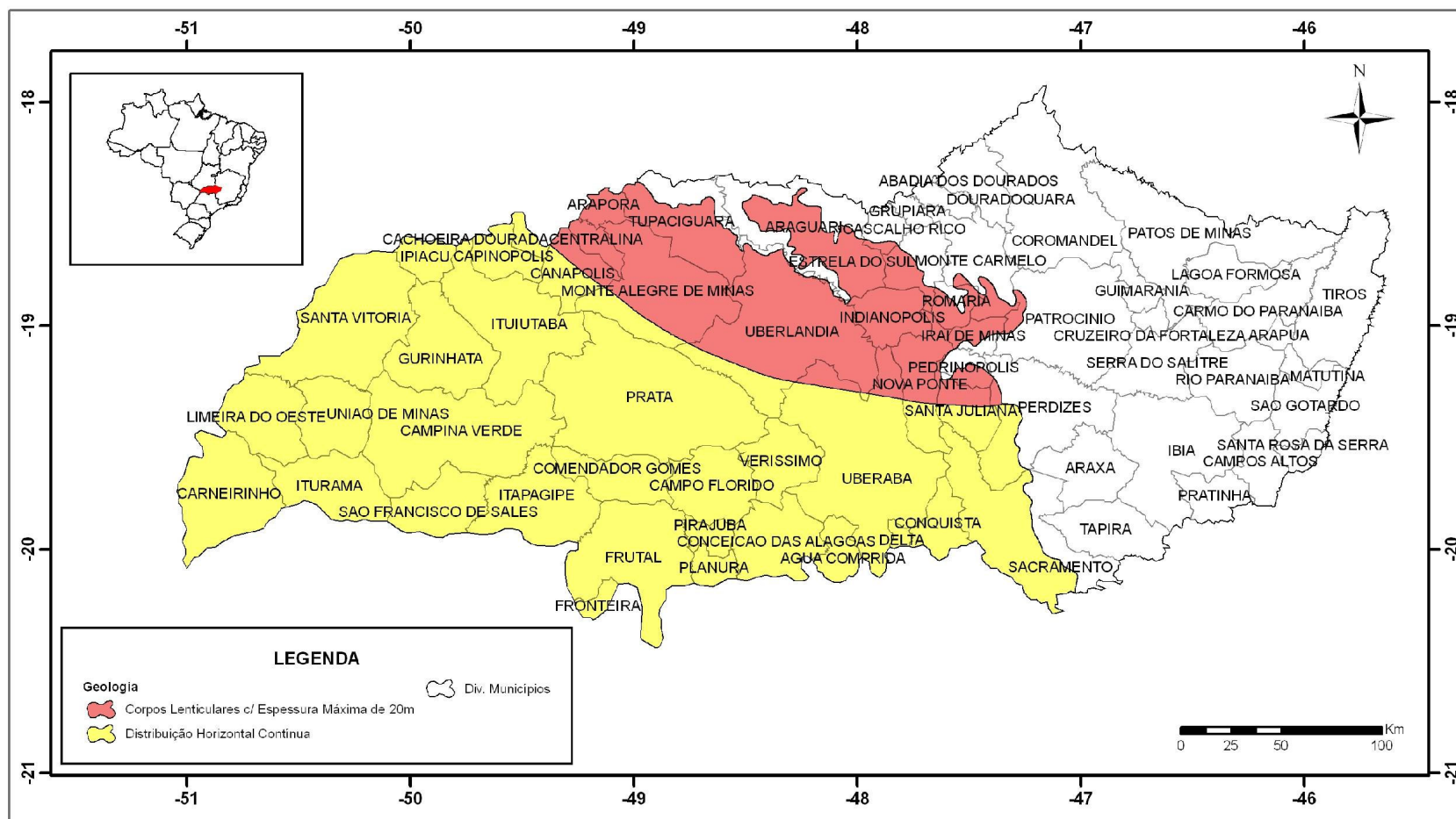


Figura 4-20: Mapa esquemático Aquífero Guarani nos municípios do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Fonte: Modificado de Nishiyama (2001) e IBGE (2006)

4.5.2 Mapa do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani – Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

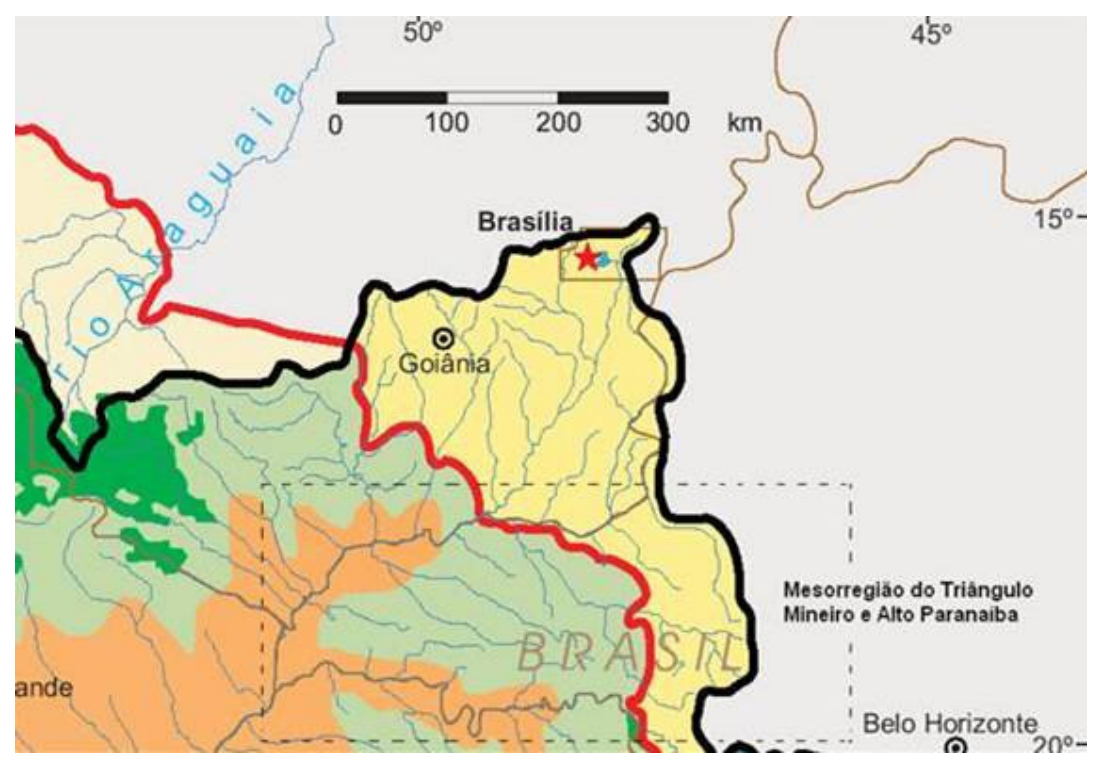
A Figura 4-21 ilustra uma porção do mapa apresentado na Figura 3-10 e particulariza o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. O mapa original, no qual constam as fontes consultadas para sua confecção, foi elaborado baseado em distintos estudos relevantes e expressivos em relação ao Aquífero Guarani e faz parte integrante do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (SISTEMA AQUÍFERO GUARANI, 2006b), Projeto citado no Capítulo 3, subitem 3.5.6.

O mapa da Figura 4-21 traz a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba como portadora de área potencial de recarga indireta e direta e de área potencial de descarga.

Observa-se que a área potencial de recarga indireta – a partir da drenagem superficial – é localizada entre o limite externo da bacia sedimentar do Paraná e o limite interno da bacia hidrográfica do Prata, enquanto a área potencial de recarga direta – regime fissural/poroso: basaltos e arenitos é situada no interior à bacia sedimentar do Paraná. As áreas potenciais de descarga – regime fissural/poroso: basaltos e arenitos indivisos – definem-se seguindo, aproximadamente, os contornos dos rios Paranaíba e Grande.

Constata-se que o Triângulo Mineiro não apresenta área potencial de recarga direta por afloramento do Aquífero Guarani. Para auxiliar a identificação dos limites, na mesoregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, das parcelas correspondentes ao Triângulo Mineiro e ao Alto Paranaíba, deve-se consultar o mapa da Figura 2-2.

O afloramento dos arenitos aparece em pequena porção do Alto Paranaíba, próximo ao rio Grande e, conforme mencionado no item 4.1, o município de Sacramento apresenta esse afloramento e é considerado como área potencial de recarga direta.



LEGENDA

Áreas potenciais de recarga indireta:	Áreas potenciais de descarga:	
a partir da drenagem superficial	regime fissural/poroso: basaltos e arenitos (indivisos)	Rios
a partir do fluxo subterrâneo	Drenagens não relacionadas ao sistema	Limite político de Estados
Áreas potenciais de recarga direta:		Capitais Estados/Províncias
regime poroso: afloramento do Guarani		Capital dos Países
regime fissural/poroso: basaltos e arenitos		Limite bacia hidrográfica do Prata
		Limite da bacia sedimentar do Paraná

Figura 4-21: Mapa Sistema Aquífero Guarani – mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba
Fonte: Modificado de Sistema Aquífero Guarani (2006b)

4.5.3 Mapas adaptados de Araújo, França e Potter (1995)

A seguir, apresenta-se os mapas modificados de Araújo, França e Potter (1995), elaborados juntamente com a Petrobrás e a Universidade Federal do Paraná. Constitui-se o documento original denominado *Aqüífero gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai*: mapas hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tucuarembó, um expressivo inventário do Aqüífero Guarani.

O acréscimo das divisões territoriais dos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e a apresentação da área estudada destacada dos mapas originais, constituem um diferencial dos mapas adaptados para esta Pesquisa e neste subitem apresentados. Ressalta-se que os mapas originais – ou mapas base – apresentados como imagens, foram digitalizados e transformados em arquivos de desenho compatíveis com o programa computacional AutoCad®. Esse procedimento permitiu a inclusão da demarcação territorial dos municípios componentes da mesorregião.

A Figura 4-22 traz o mapa estrutural, em que as linhas de iso-estrutura indicam as cotas altimétricas de topo do Aqüífero Guarani em relação ao nível do mar.

A Figura 4-23 representa o mapa de linhas de isotermas – linhas de mesma temperatura.

A Figura 4-24 ilustra o mapa de linhas de iso-espessura de rochas sobrejacentes – isópacas de rochas sobrejacentes – ao Aqüífero Guarani.

A Figura 4-25 mostra o mapa de linhas de iso-espessura – isópacas – do Aqüífero Guarani. Ressalta-se a indicação, no referido mapa, de linhas demarcatórias do limite do Aqüífero Guarani e de espessura zero. A existência de linha de espessura zero não sobreposta à linha limite do Aqüífero Guarani, segundo indicada no mapa original elaborado por Araújo, França e Potter (1995), foi entendida nesta Pesquisa, como sendo devido à ocorrência descontínua dos arenitos, formados por lentes insignificantes entre essas linhas, conforme Nishiyama (2001) cita no subitem 4.5.1. Esta Pesquisa utilizou-se desse mapeamento para um estudo de estimativa de volume da água subterrânea armazenada no Aqüífero Guarani, apresentado no próximo subitem.

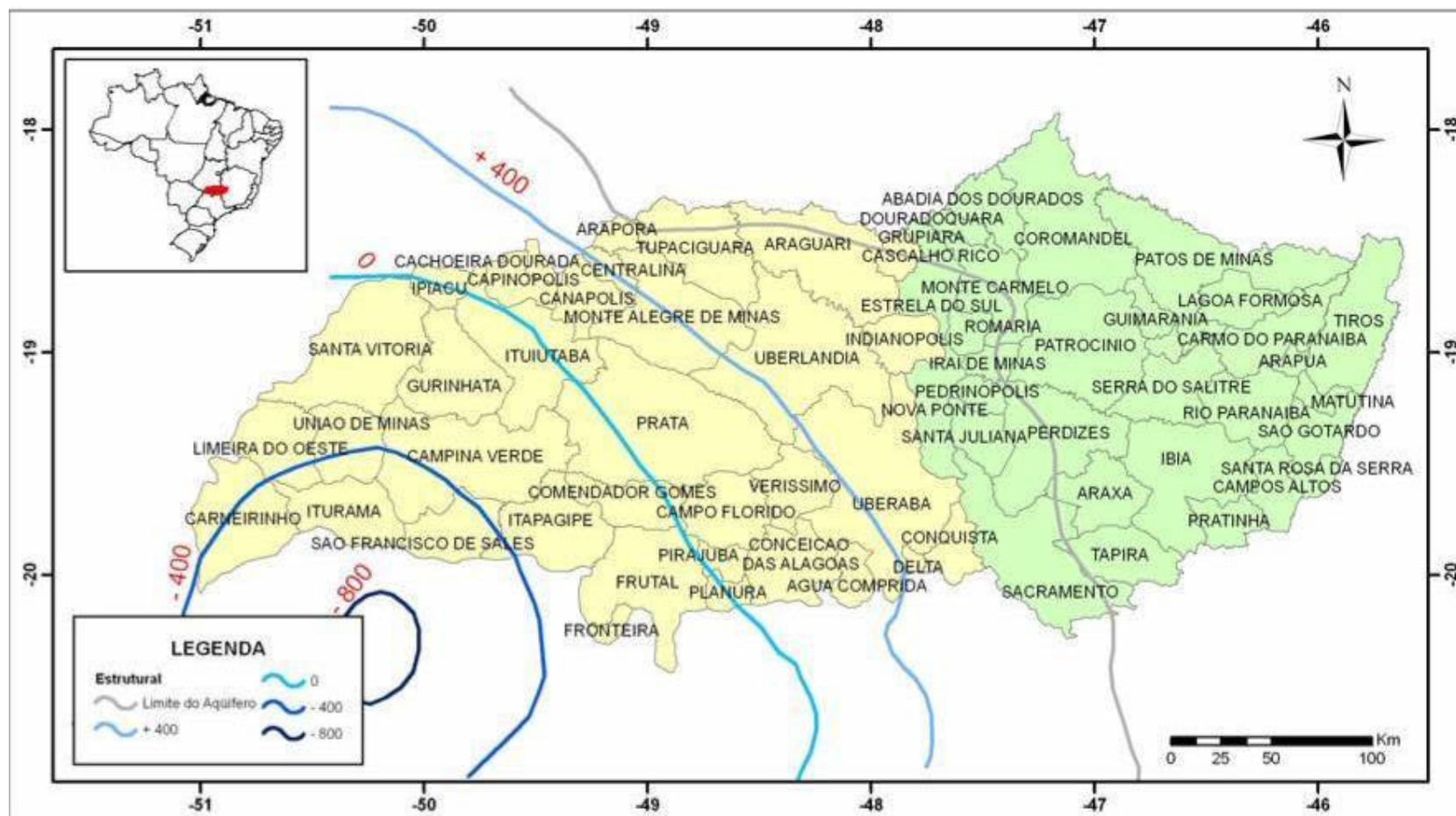


Figura 4-22: Mapa de linhas de iso-estrutura de topo do SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Fonte: Elaborado a partir de Araújo, França e Potter (1995) e IBGE (2006b)

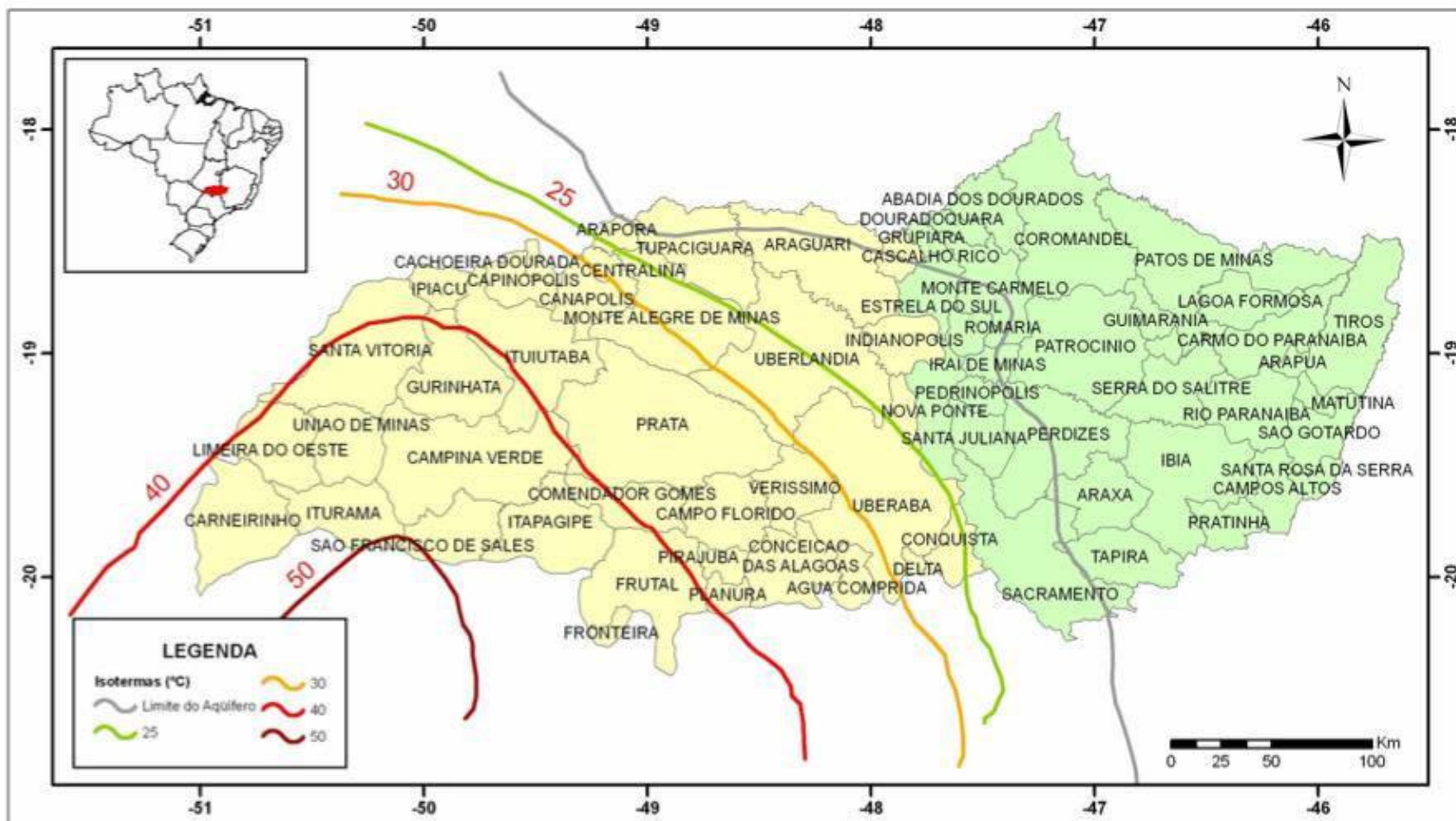


Figura 4-23: Mapa de linhas de isotermas do SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Fonte: Modificado de Araújo, França e Potter (1995) e IBGE (2006b)

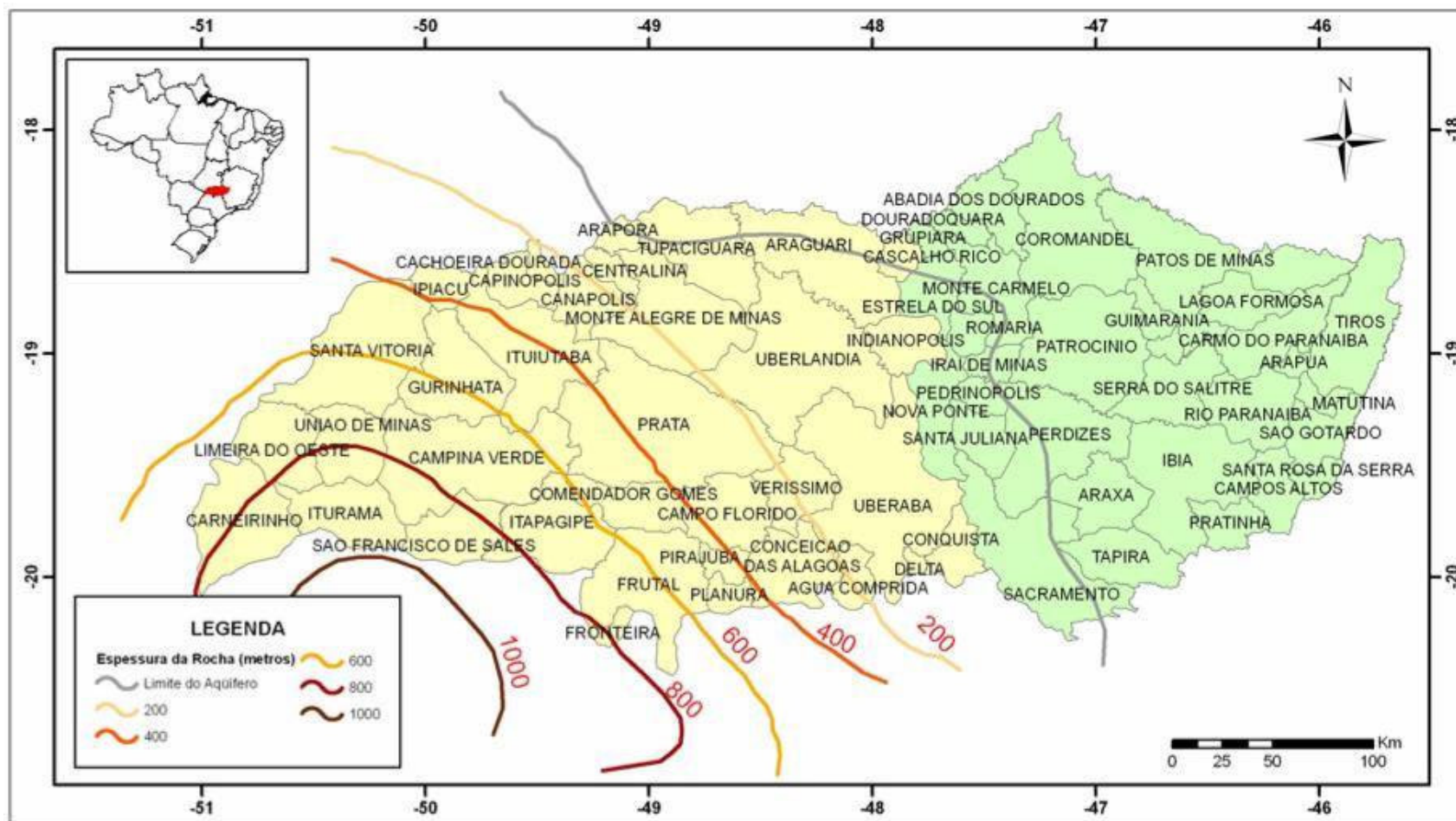


Figura 4-24: Mapa de linhas de iso-espessura de rochas sobrejacentes ao SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Fonte: Modificado de Araújo, França e Potter (1995) e IBGE (2006b)

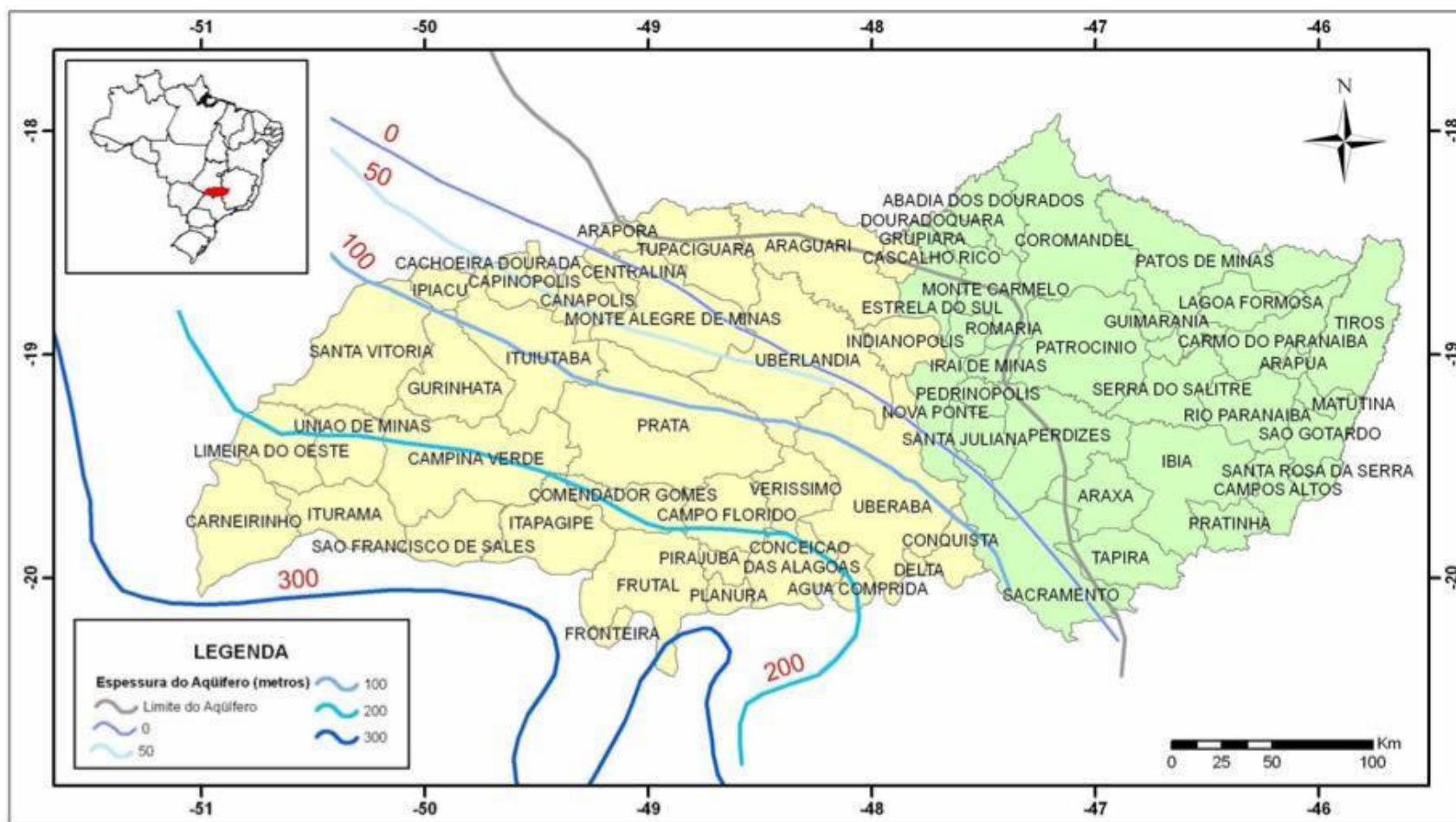


Figura 4-25: Mapa de linhas de iso-espessura do SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Fonte: Modificado de Araújo, França e Potter (1995) e IBGE (2006b)

4.6 Estimativa de volume da água subterrânea armazenada no Aquífero Guarani nos municípios do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

A utilização do mapa de linhas de iso-espessura do manancial subterrâneo, apresentado na Figura 4-25, possibilitou um estudo para estimativa de volume dos arenitos, mediante a interpolação de curvas de iso-espessura apresentadas para essas formações mesozóicas. Para a interpolação utilizou-se o método de Kriging – ferramenta disponível no programa computacional Surfer 8.0 – e gerou-se, desse modo, o mapa mais detalhado da Figura 4-27, que permitiu avaliar a quantidade de água subterrânea armazenada no Aquífero Guarani, subjacente aos municípios do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

O mapa de linhas de iso-espessura exposto na Figura 4-25 foi adaptado para a interpolação dessas linhas. Ressalta-se que o mapa original ou mapa base, elaborado por Araújo, França e Potter (1995), foi digitalizado e transformado em arquivo de desenho compatível com o programa computacional AutoCad®. Esse procedimento permitiu a mudança da projeção policônica para projeção UTM, conforme ilustrado na Figura 4-26, e, posteriormente, a obtenção das coordenadas (X,Y,Z) dos pontos amostrais das curvas de contorno do mapa da Figura 4-26. Nesse sentido, as coordenadas espaciais (X,Y,Z) assumiram dimensões métricas. Essa adaptação, de uso de coordenadas métricas, foi necessária para o cálculo dos volumes dos arenitos. O mapa final gerado na Figura 4-27 apresenta-se em projeção UTM.

Percebe-se que o mapa da Figura 4-26 apresenta curvas de contorno para espessuras de 0, 50, 200 e 300 metros. Cabe comentar que as referidas curvas de contorno situam-se espacialmente distantes e dificultam uma estimativa mais precisa das reservas subterrâneas em cada município. Exatamente neste contexto, a metodologia de interpolação de valores amostrais surge como uma alternativa interessante que permite a construção de curvas de contorno intermediárias. Neste sentido, há uma grande variedade de procedimentos matemáticos de interpolação e esses constituem ferramentas intrínsecas de determinados pacotes computacionais geoestatísticos. Neste trabalho, utilizou-se o método Kriging, conforme citado, para a interpolação dos valores das espessuras e para a geração das novas curvas de contorno.

No procedimento de interpolação foram levantados 276 pontos amostrais coletados ao longo das curvas de iso-espessura apresentadas da Figura 4-26. Esses pontos amostrais

apresentaram espaçamento médio de 11 km e o armazenamento de cada um destes ocorreu na forma de um vetor (X,Y,Z). Nessas condições, X e Y representaram as coordenadas UTM do ponto amostral, ao passo que Z simbolizou a espessura do Aquífero Guarani em cada um desses pontos. O método de interpolação permite estimar valores da variável Z em pontos nos quais esses valores não são previamente conhecidos.

Nesse argumento, ressalta-se que os valores amostrais, colhidos ao longo das curvas da Figura 4-26, representam pontos já previamente interpolados quando da confecção do mapa original ou mapa base de Araújo, França e Potter (1995).

Cabe comentar que, no mapa final gerado e ilustrado na Figura 4-27, as curvas de contorno de espessura encontram-se mais refinadas, com intervalos de 20 metros.

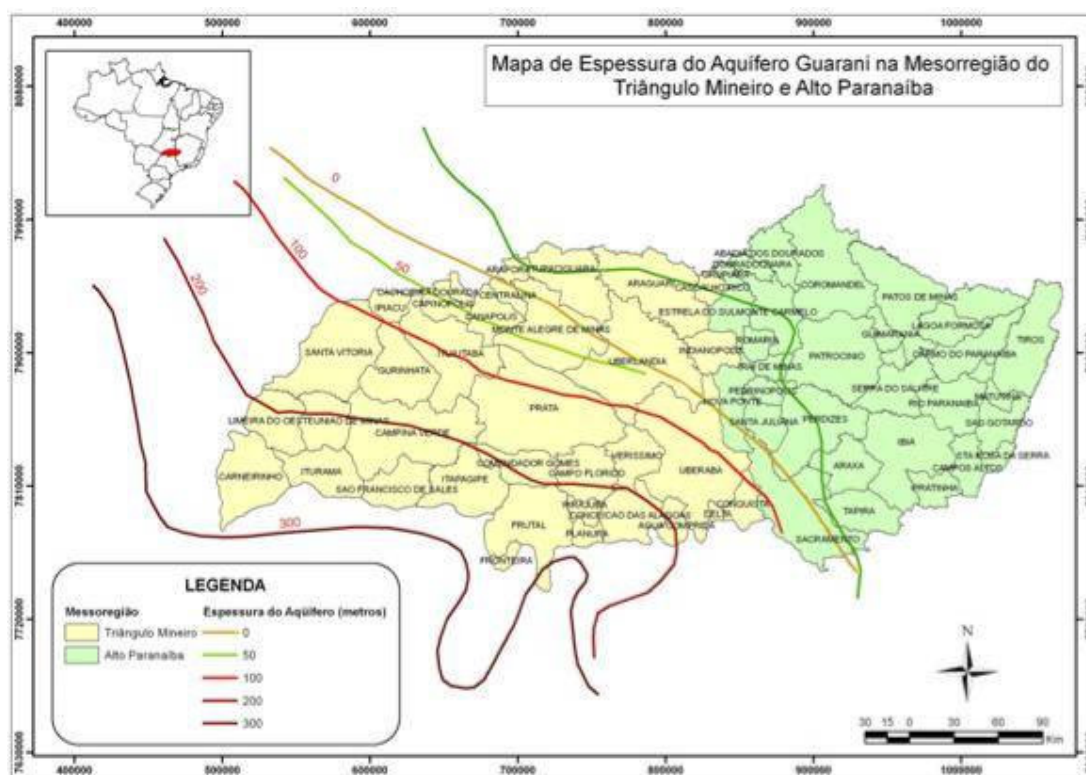


Figura 4-26: Mapa de linhas de iso-espessura do SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba em projeção UTM

Fonte: Modificado de Araújo, França e Potter (1995) e IBGE (2006b)

Com a confecção do mapa de iso-espessura detalhado na Figura 4-27, que descreve a variação espacial interpolada das espessuras dos arenitos, foi possível fazer uma estimativa do volume do Aquífero Guarani subjacente a cada município. O procedimento utilizado para esta estimativa de volumes foi o da integração trapezoidal, ferramenta também disponível no programa Surfer 8.0. Com os volumes de arenitos realizou-se a estimativa da quantidade de água armazenada desse Aquífero em cada município.

Ressalta-se que os arenitos constituintes do Aquífero possuem porosidade efetiva média variável entre 15% e 20%, valores médios estimados em âmbito global para o Aquífero Guarani (BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 149) e citados no Quadro 3-4, inserido no Capítulo 3, subitem 3.5.4. Para a estimativa, nesta avaliação de volumes de água armazenada, listadas na Tabela 4-1, adotou-se uma porosidade média de 20%.

A escolha de uma porosidade retirada do Referencial Teórico desta Pesquisa destaca a importância da realização de investigações geotécnicas, bem como de testes de aquífero nos poços perfurados nos arenitos da região estudada. Com essas investigações, não só valores locais de porosidade, como também outros parâmetros relevantes à hidráulica das águas subterrâneas – condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento, dentre outros – poderão ser levantados.

Cabe evidenciar a dificuldade da realização de determinadas investigações geotécnicas devido à profundidade de topo dos arenitos na região, bem como à dificuldade de obtenção de amostras indeformadas dos arenitos. No exemplo do estudo na cidade de Cachoeira Dourada, a perfuração executada pelo método de percussão a cabo – detalhado no Capítulo 4, subitem 4.4.4 – não permitiu a obtenção de amostras indeformadas dos horizontes subsuperficiais dos arenitos do Aquífero Guarani. Sugere-se, do mesmo modo que o indicado no item 5.1, a construção de poço de observação, inteiramente tubulado, para a realização de testes de aquífero. Evidencia-se, conforme citado, o alto custo financeiro para a construção desse poço, ainda que os benefícios mereçam consideração.

A Figura 4-27 demonstra o mapa das linhas interpoladas de iso-espessura do SAG na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba em projeção UTM, modificado de Araújo, França e Potter (1995).

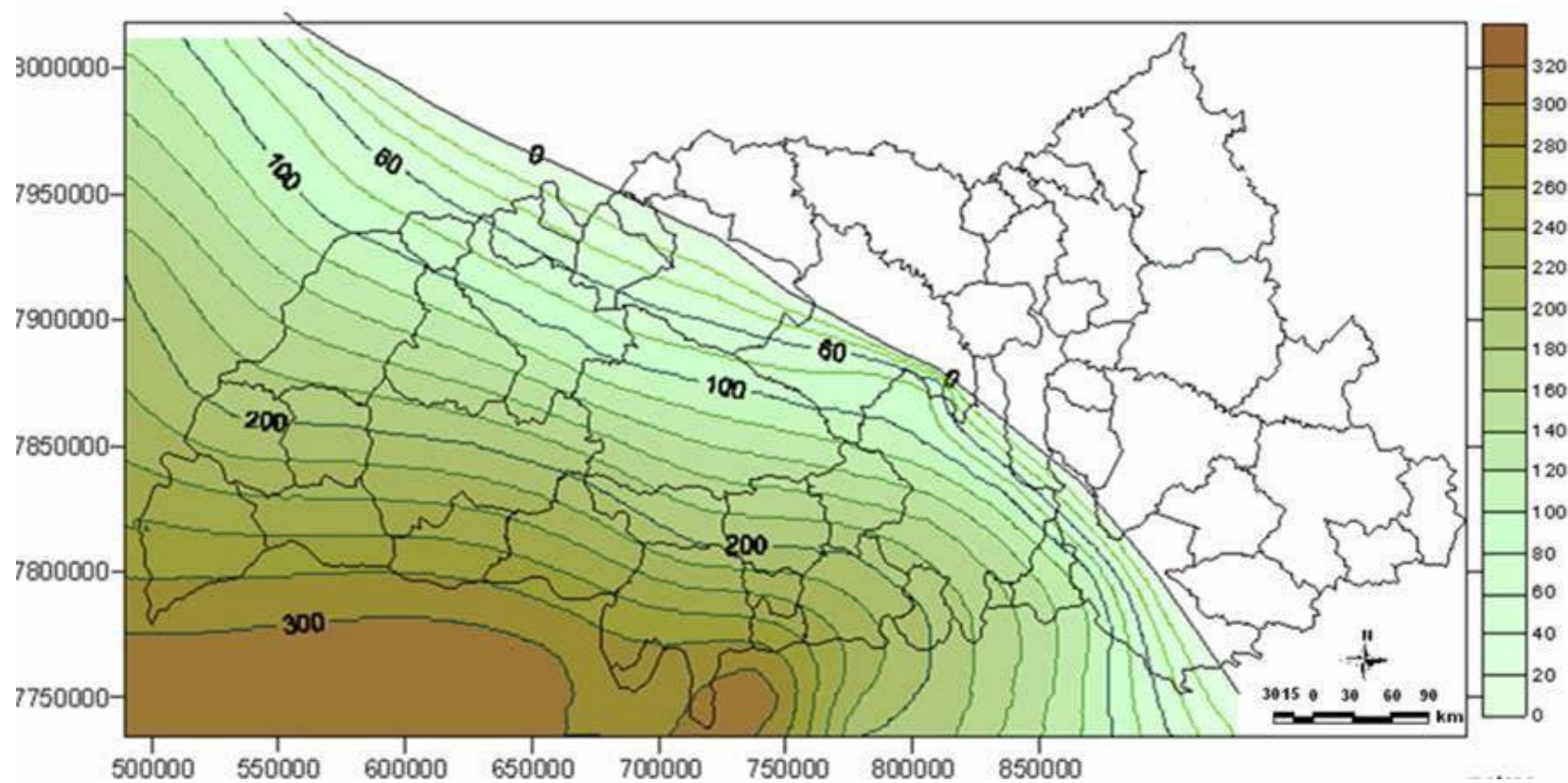


Figura 4-27: Mapa de curvas de iso-espessura interpoladas para o Aquífero Guarani na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Fonte: Modificado de Araújo, França e Potter (1995) e IBGE (2006b)

Como discussão das informações contidas na Figura 4-27 e na Tabela 4-1, nota-se que o Aquífero Guarani não está presente em parte da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. De acordo com o mapa gerado, os arenitos do Aquífero não aparecem em 48,6% da área da mesorregião, ou seja, em 44.003,46 km², excluindo municípios importantes como Patos de Minas, Araguari, Araxá e Patrocínio. Por consequência, os arenitos representam 51,4% da mesorregião, 46.538,63 km², incluindo municípios expressivos como Ituiutaba, Uberaba e parte de Uberlândia. Relembra-se que a área total da mesorregião é de 90.542,09 km².

O total estimado do volume das águas armazenadas no Aquífero Guarani, segundo o apresentado no desenvolvimento desse item, é de 1.532,54 km³ para a mesorregião. Tem-se que 1,5% das águas subterrâneas pertencem ao Alto Paranaíba e 98,5% ao Triângulo Mineiro.

Segundo visto no Capítulo 3, item 3.5.2, Tabela 3-2, que aponta as áreas sobrejacentes ao Aquífero Guarani nos Estados brasileiros, os arenitos mesozóicos aparecem em 51.300 km² do Estado de Minas Gerais. O resultado calculado nesse item de 46.538,63 km² refere-se exclusivamente à mesorregião do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro, conforme citado. Uma possível diferença entre esses valores de área, de aproximadamente 9%, pode ser explicada pela não consideração de certas porções dos arenitos, presentes na mesorregião considerada e extrapoladoras desta. Ressalta-se a presença do Aquífero Guarani em porção da mesorregião limítrofe Sul-Sudoeste de Minas, que extrapola os limites da área estudada.

Frações do Aquífero Guarani não apreciadas no Triângulo Mineiro foram consideradas inexpressivas, em termos de aquífero, como por exemplo, as presentes no município de Araguari, que foram identificadas por meio do Relatório *Avaliação dos Recursos Hídricos do Sistema Aquífero Guarani no Município de Araguari, Minas Gerais, Brasil*, como integrantes do Sistema Aquífero Guarani, mas onde a unidade geológica da formação Botucatu, devido às limitações geométricas e elevado grau de silificação da rocha – característica predominante nessa ocorrência local –, não chega a constituir um aquífero promissor (SISTEMA AQUÍFERO GUARANI, 2006a).

Nesse contexto, cabe comentar que no Relatório citado, constante no já referido Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, buscou-se identificar, dentre outros objetivos, a correlação entre os aquíferos da região de Araguari

com o SAG, a fim de caracterizar se a região deveria ser incluída dentro do limite do SAG. É relevante esclarecer que o SAG foi entendido no Grupo de Trabalho – que elaborou o nomeado Relatório, e dentre os participantes, a professora doutora Leila Nunes Menegasse, representante da Universidade Federal de Minas Gerais, como constituído, da base para o topo, pelos aquíferos Botucatu, Serra Geral e Bauru, os quais, segundo o mencionado Relatório, encontram-se hidraulicamente conectados (SISTEMA AQUÍFERO GUARANI, 2006a).

Entre as conclusões levantadas no citado Relatório, destaca-se a identificação de exposição da formação Botucatu na região de Araguari, em conjunto com a presença maciça dos aquíferos Serra Geral e Bauru, o que permitiu caracterizar, conforme o Grupo de Trabalho, a região como constituinte do SAG, da forma como esse sistema foi definido pelos autores do Relatório. Entretanto, o Relatório concluiu que as exposições da formação Botucatu encontradas não apresentam características físicas para denotar um aquífero promissor na região, dado a limitada expressividade e ao elevado grau de silificação presente nessa formação no município de Araguari.

A Tabela 4-1 resume a estimativa de volumes de água armazenada no Aquífero Guarani, discriminados para cada município da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Na tabela inclui-se, ainda, a área e a população dos municípios. Observa-se que a população indicada refere-se ao município e não à área sobrejacente à presença do Aquífero Guarani.

Tabela 4-1: Estimativa de volume de água armazenada no Aquífero Guarani nos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Microrregião	Município	Área total do município	População total	Estimativa volume arenitos	Estimativa volume água armazenada
		km ²	habitantes	km ³	km ³
Microrregião de Araxá	Araxá	1.165,17	84.689	0,00	0,00
	Campos Altos	719,12	13.888	0,00	0,00
	Ibiá	2.707,58	22.752	0,00	0,00
	Nova Ponte	1.105,77	9.082	8,49	1,70
	Pedrinópolis	357,69	2.716	0,00	0,00
	Perdizes	2.450,15	13.385	0,68	0,14
	Pratinha	619,30	3.121	0,00	0,00
Alto Paranaíba	Sacramento	3.071,45	21.915	100,68	20,14
	Santa Juliana	727,35	8.240	0,00	0,00
	Tapira	1.180,23	3.549	0,00	0,00
Total da microrregião de Araxá		14.103,81	183.337	109,85	21,98
Microrregião de Patos de Minas	Arapuá	172,53	2.513	0,00	0,00
	Carmo do Paranaíba	1.307,12	30.777	0,00	0,00
	Guimarânia	370,81	6.788	0,00	0,00
	Lagoa Formosa	844,54	16.509	0,00	0,00
	Matutina	259,72	3.888	0,00	0,00
	Patos de Minas	3.189,01	136.997	0,00	0,00
	Rio Paranaíba	1.353,42	12.828	0,00	0,00
Alto Paranaíba	Santa Rosa	296,34	3.269	0,00	0,00
	São Gotardo	853,75	32.602	0,00	0,00
	Tiros	2.093,16	6.897	0,00	0,00
Total da microrregião de Patos de Minas		10.740,40	253.068	0,00	0,00
Microrregião de Patrocínio	Abadia dos Dourados	894,52	6.417	0,00	0,00
	Coromandel	3296,27	29.017	0,00	0,00
	Cruzeiro da Fortaleza	185,51	4.128	0,00	0,00
	Douradoquara	313,37	1.912	0,00	0,00
	Estrela do Sul	820,33	6.664	0,00	0,00
	Grupiara	192,56	1.446	0,00	0,00
	Irai de Minas	357,58	6.797	0,00	0,00
Alto Paranaíba	Monte Carmelo	1353,68	49.659	0,00	0,00
	Patrocínio	2866,56	80.884	0,00	0,00
	Romaria	401,97	3.953	0,00	0,00
	Serra do Salitre	1297,75	10.271	0,00	0,00
Total da microrregião de Patrocínio		11.980,10	201.148	109,85	21,98
Total Alto Paranaíba		36.824,31	637.553	109,85	21,98

Continua

Continuação da Tabela 4-1:

Microrregião	Município	Área total do município	População total	Estimativa volume arenitos	Estimativa volume água armazenada
		km ²	habitantes	km ³	km ³
Microrregião de Ituiutaba	Cachoeira Dourada	202,74	2.318	6,74	1,35
	Capinópolis	621,16	13.991	33,95	6,79
	Gurinhata	1.844,35	6.409	265,99	53,20
	Ipiacu	469,66	3.966	41,92	8,38
Triângulo Mineiro	Ituiutaba	2.587,34	91.919	264,33	52,87
	Santa Vitória	3.002,82	16.228	460,26	92,05
Total da microrregião		8.728,07	134.831	1.073,19	214,64
Microrregião de Frutal	Campina Verde	3.663,42	18.486	774,22	154,84
	Carneirinho	2.060,72	8.349	586,99	117,40
	Comendador Gomes	1.042,88	2.766	201,48	40,30
	Fronteira	199,23	9.727	57,49	11,50
	Frutal	2.429,68	49.788	655,81	131,16
	Itapagipe	1.795,43	12.226	433,06	86,61
	Iturama	1.401,24	31.390	357,68	71,54
	Limeira do Oeste	1.317,52	5.594	312,01	62,40
	Pirajuba	331,79	2.509	79,63	15,93
Triângulo Mineiro	Planura	317,99	8.916	108,01	21,60
	São Francisco Sal	1.128,75	5.483	336,58	67,32
	União de Minas	1.150,60	4.974	289,12	57,82
Total da microrregião		16.839,25	160.208	4.192,08	838,42
Microrregião de Uberaba	Água Comprida	489,51	2.270	108,34	21,67
	Campo Florido	1.261,73	5.835	244,82	48,96
	Conceição das Alagoas	1.348,22	19.099	294,71	58,94
	Conquista	616,21	5.508	80,44	16,09
	Delta	104,47	5.432	16,38	3,28
Triângulo Mineiro	Uberaba	4.512,14	280.060	522,44	104,49
	Veríssimo	1.028,58	2.759	160,77	32,15
Total da microrregião de Uberaba		9.360,86	320.963	1.427,9	285,58
Microrregião de Uberlândia	Araguari	2.730,63	108.672	0,00	0,00
	Araporã	298,49	5.897	0,00	0,00
	Canápolis	845,24	7.277	34,48	6,90
	Cascalho Rico	367,73	2.618	0,00	0,00
	Centralina	321,99	8.014	3,30	0,66
	Indianópolis	833,87	5.717	0,00	0,00
	Monte Alegre Minas	2.593,17	18.061	75,89	15,18
	Prata	4.856,63	22.911	613,52	122,70
Triângulo Mineiro	Tupaciguara	1.826,03	23.719	0,00	0,00
	Uberlândia	4.115,82	585.262	132,42	26,48
Total da microrregião de Uberlândia		18.789,6	788.148	859,61	171,92
Total Alto Paranaíba		36.824,31	637.553	109,85	21,98
Total Triângulo Mineiro		53.717,78	1.404.150	7.552,78	1.510,56
Total mesorregião		90.542,09	2.041.703	7.662,63	1.532,54

Fonte: Modificado de IBGE (2006a) e Araújo, França e Potter (1995)

Os resultados revelam que cerca de 45,2% da área do município de Uberlândia, a cidade mais populosa do Triângulo Mineiro, situa-se dentro da zona de abrangência do Aquífero Guarani.

Observou-se que, como as espessuras dos arenitos saturados aumentam à medida que se caminha no sentido SW, as camadas mais espessas encontram-se no pontal do Triângulo Mineiro, nas proximidades da divisa com o Estado de São Paulo. O município de Campina Verde apresentou, na estimativa considerada, o maior volume de água armazenada, resultado derivado da sobreposição de dois fatores: elevadas espessuras dos arenitos – estimadas entre 162 e 261 metros – e grande área territorial, cerca de 4% da área total da mesorregião estudada.

Enfatiza-se que a captação na reserva subterrânea do Aquífero Guarani está intrinsecamente relacionada às espessuras de rochas subjacentes e às camadas de arenitos que reservam as águas subterrâneas. O custo financeiro da exploração estabelece-se, dentre outros fatores, com a estimativa da profundidade a ser perfurada e com o tipo de rocha a ser ultrapassada.

As profundidades em relação à superfície representadas no mapa da Figura 4-24 e as espessuras do Aquífero Guarani mostradas na Figura 4-27 podem ser uma ferramenta de auxílio ao reconhecimento do Aquífero na mesorregião considerada, bem como subsidiar estudos relativos ao acesso e, conseqüentemente, à exploração dessa reserva subterrânea.

Torna-se evidente que o ideal seria refazer a metodologia empregada nesta estimativa com uso de curvas geradas com dados de campo produzidos na mesorregião delimitada, mas levando-se em consideração que somente 15 poços foram identificados neste trabalho e que nove encontram-se em um mesmo município, esses poços constituem um universo considerado reduzido e incapaz de produzir linhas de iso-espessura baseadas unicamente nos dados desta Pesquisa.

Ao lançar mão do estudo de Araújo, França e Potter (1995) esta Pesquisa utilizou o que, até então é disponível em relação ao arcabouço hidrogeológico do Aquífero Guarani na região. Salienta-se que a escala dos mapas originais de 1:5.000.000 é, reconhecidamente, uma escala pequena, certamente incapaz de detalhar a área destacada para a Pesquisa, embora utilizada como base, não obstante de sua limitação.

A integração das informações e interpretações contidas no presente Capítulo, somadas às anteriores mostradas, visam a auxiliar a gestão, seja na exploração ou na preservação desse recurso natural, contribuindo para um maior conhecimento acerca do Aquífero Guarani, de seu uso e exploração, bem como de suas potencialidades no Triângulo Mineiro, área até então pouco explorada, segundo demonstrado nesta Pesquisa.

A Figura 4-28 resume, por meio do gráfico exposto, a estimativa do volume de água armazenada no Aquífero Guarani nos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Essa estimativa representa um panorama das potencialidades do mesmo. Salienta-se que o referido gráfico foi elaborado por meio das informações contidas no Tabela 4-1.

Para se ter uma idéia, o volume estimado para o armazenamento de água subterrânea, no Aquífero Guarani, na região do Triângulo Mineiro, de $1.510,56 \text{ km}^3$, é cerca de 52 vezes maior que o volume útil do reservatório superficial de Sobradinho – 29 km^3 – no rio São Francisco, ou cerca de 80 vezes maior que o volume útil do reservatório de Itaipu – 19 km^3 – no rio Paraná.

Isto, todavia, não significa que todo esse volume de água subterrânea esteja disponível e dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano. Nesse sentido, há a necessidade de se realizar estudos em âmbito regional. Os exemplos hidroquímicos diferenciados das águas explotadas em Cachoeira Dourada e em Conceição das Alagoas ou mesmo em Uberaba, apresentados nesta Dissertação, comprovam a diferenciação hidroquímica das águas quanto a potabilidade.

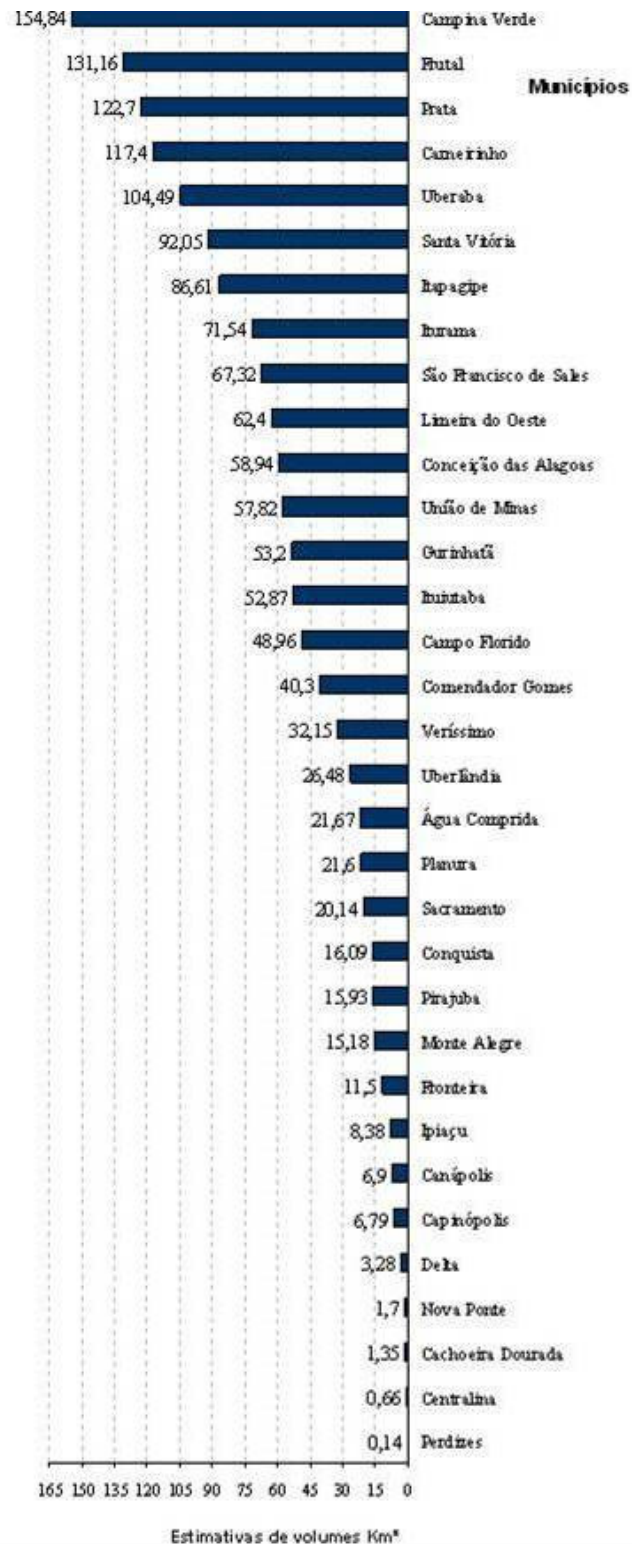


Figura 4-28: Gráfico da estimativa do volume de água armazenada no Aquífero Guarani nos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

No Capítulo 5, dá-se continuidade ao caminho para um maior conhecimento acerca do Aquífero Guarani, dessa vez restrito ao município de Cachoeira Dourada e especificamente na sede do mesmo, na qual encontram-se oito poços tubulares profundos exploradores do Aquífero Guarani.

O Capítulo 5 descreve e avalia os resultados da Pesquisa exploratória com dados da literatura existente e levantados no Referencial Teórico da Pesquisa, em relação à temperatura das águas nas fontes exploradoras do Aquífero Guarani na cidade. Traz, por meio de uma simulação, um estudo de utilização das águas do Aquífero Guarani para pré-aquecimento de água superficial, quando o uso direto da água explorada torna-se inviabilizado em função do alto teor de sais, presente em sua composição hidrogeoquímica, e demonstra como o hidrotermalismo pode ser uma potencial fonte alternativa de energia.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO: CACHOEIRA DOURADA

Este Capítulo adiciona e particulariza as informações antecedentes acerca da exploração do Aquífero Guarani em Cachoeira Dourada. Estabelece relações entre a temperatura da água nas fontes exploradoras da cidade e a temperatura calculada ao utilizar-se o modelo matemático indicado no conteúdo do Referencial Teórico e demonstra a determinação do gradiente médio local. Mostra, por meio de uma simulação, um estudo de uso das águas do Aquífero Guarani para pré-aquecimento de água, o qual valoriza os múltiplos usos dessa água subterrânea.

5.1 Relação entre temperatura e profundidade do poço explorador e cálculo do gradiente geotérmico médio local

Este subitem tem como objetivo relacionar as temperaturas mensuradas *in loco* nas fontes da cidade e as temperaturas calculadas segundo o modelo matemático de Teissedre e Barner, modelo este exposto no Referencial Teórico desta Pesquisa. Visa a, também, calcular o gradiente geotérmico médio local. Para auxiliar a obtenção dos resultados utilizou-se dos dados do Quadro 4-3, inserido no Capítulo 4, item 4.3.

De acordo com Teissedre e Barner (1981 apud BOSCARDIN BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 153), conforme citado no Referencial Teórico, Capítulo 3, subitem 3.5.6, a água subterrânea encontra-se submetida a variações de temperatura que ocorrem proporcionalmente ao aumento da profundidade em direção ao Aquífero Guarani. Esses autores expressam a temperatura da água, em função da profundidade de topo dos arenitos da formação Botucatu, por meio da Equação 5.1:

$$T = 0,0282.P + \bar{T} \quad (5.1)$$

Em que, na Equação (5.1)

- T é a temperatura na fonte em °C [θ];
- P é a profundidade do topo do Aquífero Guarani em metros [M];
- $\bar{T}$ é a temperatura média anual em °C [θ].

Ao adotar-se para a cidade de Cachoeira Dourada a temperatura média anual de 23°C, a Equação (5.1) pode ser reescrita conforme a Equação 5.2:

$$T = 0,0282.P + 23 \quad (5.2)$$

O Quadro 5-1 lista as temperaturas de cada poço calculadas por meio da Equação (5.2).

Ao considerar-se para os oito poços da Mineração Sal Nascente Ltda. uma profundidade média de topo do Aquífero Guarani de 374 metros, obtém-se, por meio da Equação (5.2), um resultado médio, para os oito poços, de 33,55°C. Os poços de Cachoeira Dourada apresentam, segundo exposto no Quadro 5-1, temperatura média mensurada na fonte de 37,8°C, portanto, valor 11,3%, em média, maior que o calculado de 33,55°C.

Para o cálculo do gradiente geotérmico da água explotada em cada poço, faz-se necessário lembrar que, conforme mencionado no Capítulo 3, subitem 3.5.6, esse gradiente foi definido como o acréscimo de temperatura em relação à profundidade, no sentido superfície – centro da Terra, expresso normalmente em °C/m ou em °C/km.

Obtém-se o gradiente geotérmico para cada poço com a divisão do valor da profundidade de topo do Aquífero Guarani pela diferença aritmética entre a temperatura mensurada na fonte e a temperatura média das águas subterrâneas mais frias, encontradas em fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral. Ressalta-se, nesse contexto, a atribuição de

valor para a temperatura média para as águas subterrâneas encontradas do aquífero Serra Geral, na região de Cachoeira Dourada, de 20°C.

O Quadro 5-1 mostra o gradiente geotérmico para cada poço explorador em Cachoeira Dourada referenciado ao topo do Aquífero Guarani e os dados utilizados para o cálculo.

Quadro 5-1: Gradiente geotérmico em Cachoeira Dourada

Cachoeira Dourada	Profundidade topo Aquífero Guarani	Temperatura da água mensurada na fonte	Temperatura da água calculada Equação (5.2)	Temperatura da água mensurada na fonte - 20°C	Gradiente geotérmico	Gradiente geotérmico
Poço	metros	°C	°C	°C	°C/km	1°C/m
P1	355	37,5	33,1	17,5	49,3°C/km	1°C/20,3m
P2	360	38,9	33,2	18,9	52,5°C/km	1°C/19,0m
P3	385	39,0	33,9	19,0	49,4°C/km	1°C/20,3m
P4	370	37,6	33,4	17,6	47,6°C/km	1°C/21,0m
P5	340	37,0	32,6	17,0	50,0°C/km	1°C/20,0m
P6	380	38,7	33,7	18,7	49,2°C/km	1°C/20,3m
P7	395	37,0	34,1	17,0	43,0°C/km	1°C/23,2m
P8	405	37,0	34,4	17,0	42,0°C/km	1°C/23,8m
Média aritmética	373,8	37,8	33,6	17,8	48 C°/km	1°C/21m

Fonte: Mineração Sal Nascente Ltda.

De acordo com os resultados do Quadro 5-1, para as águas explotadas em Cachoeira Dourada, o gradiente geotérmico médio local equivale a 1°C/21m, ou igualmente 48°C/km, considerando-se a temperatura média mensurada por termômetro na fonte dos poços de 37,8°C, profundidade média de topo do Aquífero Guarani de 373,8 metros e temperatura para as águas subterrâneas, encontradas em fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral, de 20°C.

Esse aumento de temperatura de 1°C a cada 21 metros perfurados ou, analogamente, em graus Celsius por quilômetro, 48°C/km, comprova a cidade como área de anomalia

positiva, pois, a média considerada por Araújo, França e Potter (1995) para o Aquífero Guarani é de 29°C/km, portanto, a cidade ultrapassa em 60% a média esperada, mas não atinge o gradiente de 55°C/km, citado pelos autores, especificamente para Cachoeira Dourada.

Enfatiza-se que, segundo descrito, o possível aporte de águas mais frias nos poços tubulares profundos provavelmente advindas de fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral Serra Geral, por intermédio de aberturas mal consolidadas na cimentação dos poços, pode contribuir para o resfriamento das águas do Aquífero Guarani na saída da fonte. Essa hipótese não é, até então, comprovada. A análise isotópica das águas provenientes das fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral e do Aquífero Guarani pode determinar as assinaturas das águas e auxiliar a inferir resultados.

Evidencia-se a dificuldade de obtenção de amostra consistente de água do Aquífero Guarani, sem a interposição de águas mais superficiais e, além disso, mais frias. Essa situação, de incerteza em relação à procedência da água, é imposta pela especificidade dos poços de Cachoeira Dourada não serem totalmente tubulados, conforme visto. Um poço de observação, tubulado, poderia, além de servir de meio para ajudar os estudos hidrogeológicos na região, contribuir para a certificação das temperaturas mensuradas nas fontes, dentre outros testes. Salienta-se o citado alto custo financeiro para a construção desse poço, ainda que, conforme mencionado, os benefícios mereçam consideração.

Como discussão de resultados, em relação ao gradiente geotérmico médio das águas subterrâneas do Aquífero Guarani explotadas em Cachoeira Dourada, pode-se cogitar o condicionamento estrutural do Aquífero e considerar a hipótese de compartimentação local, imposta por derrames basálticos, como uma das possíveis justificativas para a anomalia positiva encontrada. Conforme Souza (2004, p. 27-28), além da maior estagnação do fluxo causada por um, possível, confinamento proporcionado pelo sistema magmático Serra Geral, essa anomalia também poderia ser explicada devido à maior densidade de fluxo de calor proveniente do cristalino, já que, na região de Cachoeira Dourada, o Aquífero Guarani assenta-se diretamente sobre o embasamento, característica de toda porção NW da bacia nos Estados de São Paulo e Goiás.

5.2 Uso do hidrotermalismo do Aquífero Guarani como alternativa energética para pré-aquecimento de água

Esse item apresenta o hidrotermalismo do Aquífero Guarani como fonte potencial de energia não convencional. A ocorrência de elevado teor de sais nas águas subterrâneas pode ser um atrativo no hidroturismo e na hidroterapia termal em Cachoeira Dourada, devido às prováveis propriedades terapêuticas, mas é indesejada para higienização humana, preparação de alimentos e outros fins.

A energia geotérmica do Aquífero Guarani representa um recurso alternativo a ser aproveitado em locais favoráveis, como na cidade de Cachoeira Dourada. Uma possível aplicação dessas águas termais, apresentada nesta Pesquisa, é o pré-aquecimento de água. Cita-se que o uso direto da vazão explorada inviabiliza-se pelas especificidades das características hidroquímicas do local, ou seja, devido ao alto teor de sais.

Ao empregar energia geotérmica do Aquífero Guarani utiliza-se uma das mais limpas formas de energia disponíveis atualmente – renovável e não poluente (RABELO, J. L, 2002). Com baixa emissão atmosférica de poluentes – no estudo deste caso praticamente não há nenhuma emissão – o seu uso possibilita benefícios ambientais e contribui para um menor consumo de energias mais poluentes e/ou impactantes ao meio ambiente.

Conforme Chang (2001, p. 21), gradientes geotérmicos entre 10 e 40°C, permitem, em um primeiro momento, inferir que os reservatórios do Aquífero Guarani sejam fontes potenciais de energia térmica e podem revelar-se em uma opção ambientalmente atraente.

De acordo com Calcagno (2001, p. 7), em relatório que trata do uso e potencial geotérmico do Aquífero, elaborado para o Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, Projeto esse mencionado no Capítulo 3, subitem 3.5.6, a principal destinação do Aquífero Guarani no Brasil é o abastecimento para as populações, seguido de uso industrial e, por fim, irrigações e hidrotermalismo.

O uso das águas do Aquífero Guarani no Brasil, haja vista as porcentagens indicadas na Figura 5-1, não prioriza o hidrotermalismo. De acordo com o exposto em Calcagno (2001, p. 7), não há uma separação formal de usos entre a aplicação em irrigação e no

hidrotermalismo, isso demonstra que, do volume total explorado, não há um estudo técnico que comprove, quantificadamente, o uso atual da energia geotérmica desse Aquífero no Brasil. Segundo as indicações de usos, mostradas no citado relatório e resumidas na Figura 5-1, esse percentual é menor que os 5% apresentados, visto que esse valor agrega o uso em irrigação.

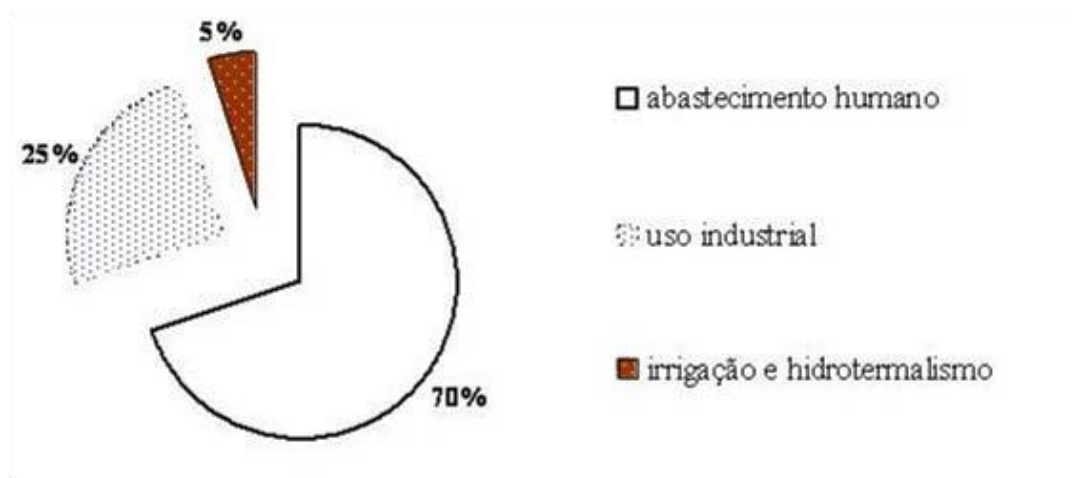


Figura 5-1: Uso das águas do Aquífero Guarani no Brasil

Fonte: Modificado de Calcagno (2001, p. 7)

A simulação do uso do geotermalismo, neste trabalho, visa a contribuir para o aumento do uso dessa energia disponível e muitas vezes não utilizada, até mesmo por falta de divulgação de suas oportunidades de aproveitamento.

O geotermalismo – calor interno do globo terrestre – manifesta-se na bacia sedimentar do Paraná em função do fato desta ser constituída de rochas permeáveis em grandes profundidades e sotopostas por uma cobertura impermeável, o que impede a perda de calor por convecção de fluidos para a superfície. Portanto, a ocorrência de água quente não se deve à existência de câmaras magmáticas, mas sim, em função do gradiente geotérmico (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2004, p. 153).

Para os oito poços tubulares profundos, localizados na cidade de Cachoeira Dourada, calculou-se um gradiente geotérmico médio, de 48°C/km, ou seja, de 1°C/21m, conforme demonstrado no subitem 5.1 por meio do Quadro 5-1.

Chang (2001, p. 21) relata em seu Relatório Final, citado no Capítulo 3, subitem 3.5.6, que a energia geotérmica do SAG representa um potencial de aproveitamento significativo estimado em 280 MW ano/km². O autor mostrou o SAG como um reservatório de baixa entalpia, em função da variação da temperatura entre 30°C e 70°C, além de estimar o potencial de produção de águas termais, superiores a 38°C, em aproximadamente 380.000 km². Esse valor significa cerca de 45% da área de abrangência desse Aquífero em território brasileiro e equivale a 4,5% da área total do país.

Demonstra-se a seguir, por meio de uma simulação, o estudo de pré-aquecimento de água.

A simulação parte do princípio de que os poços tubulares profundos, de propriedade da Mineração Sal Nascente Ltda., fazem parte de um complexo turístico, no qual está inserida uma bateria de 10 chuveiros, disponível para utilização dos frequentadores do balneário hidrotermal. Relembra-se que as águas subterrâneas produzidas na cidade têm como destinação o uso em balneabilidade, conforme apresentado no Capítulo 4, subitem 4.4.4, que trata do cenário de uso atual das águas do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro e especificamente na cidade de Cachoeira Dourada.

Na troca de calor as transferências de energia entre corpos materiais ocorrem por diferenças de temperatura (HOLMAN, J. F., 1983, p. 1). O trocador de calor é um equipamento que propicia o processo de troca de temperatura entre dois fluidos que estão a diferentes temperaturas e separados por uma parede sólida (INCROPERA, F. P.; DEWITT D. P., 2003, p. 452). Desta forma, a água superficial, para abastecimento humano, pode ser pré-aquecida pela água térmica do Aquífero Guarani, por meio da parede que separa os dois fluidos, no interior do trocador de calor.

O objetivo deste trabalho não esteve direcionado ao projeto de um equipamento para troca de calor. O intento foi analisar as temperaturas de saída da água pré-aquecida e conseqüente ganho de energia térmica com a utilização de um trocador de calor admitido para esta simulação. O trocador de calor é um equipamento que pode ser adquirido pronto, entre vários modelos disponíveis no comércio, ou fabricado sob encomenda.

A Figura 5-2 representa esquematicamente o fluxo no trocador de calor admitido para nesta simulação – tipo casco e tubo de correntes cruzadas e contrárias – onde os fluidos

entram por extremidades opostas, escoam em sentidos opostos e saem por extremidades opostas.

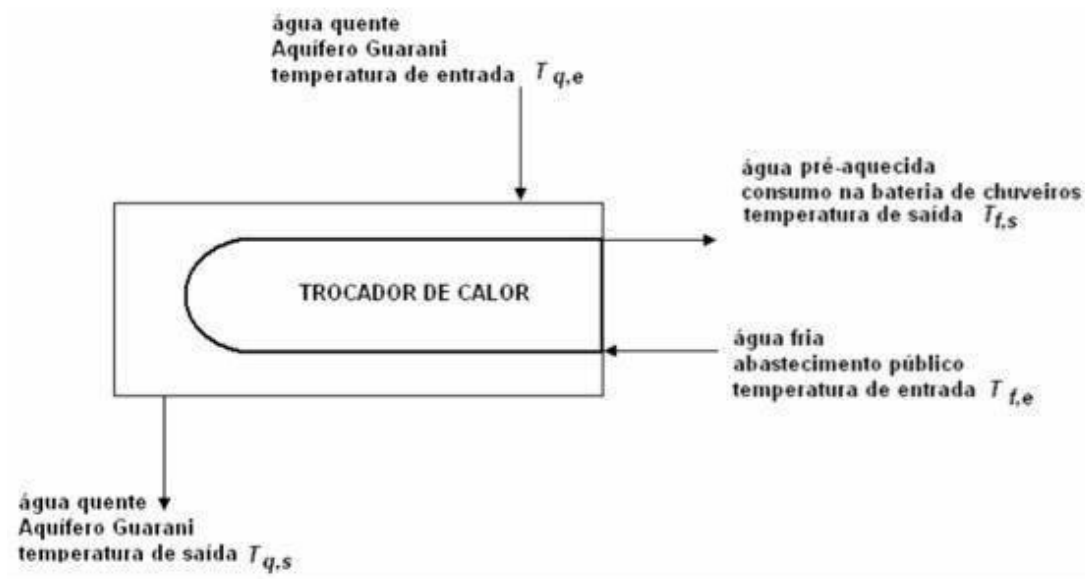


Figura 5-2: Esquema do fluxo no trocador de calor casco e tubo – com um passe no casco e um número par de passes nos tubos

Fonte: Incropera e Dewitt (2003, p. 458)

A água fria superficial a ser pré-aquecida advém da rede pública, que tem como manancial provedor o rio Paranaíba, captado superficialmente na represa de Cachoeira Dourada. Admitiu-se, neste trabalho, uma temperatura média de 20°C para essa água superficial.

Como parâmetros envolvidos têm-se as temperaturas das águas no trocador – de entrada e de saída da água superficial e de entrada e de saída da água subterrânea proveniente do Aquífero Guarani. Ressalta-se que o fluxo de energia analisado deve-se exclusivamente à transferência de calor entre a água subterrânea proveniente do Aquífero Guarani e a água superficial.

A redução da temperatura da água quente, ao passar através do trocador de calor, foi pré-fixada em 3° C, especialmente para não prejudicar o uso da água em balneabilidade.

Para os balanços globais de fluxo de energia e equacionamentos subsequentes, foram consideradas as seguintes hipóteses (INCROPERA E DEWITT, 2003):

- O trocador de calor é isolado de sua vizinhança. A troca de calor é apenas entre os fluidos quente e frio;
- As propriedades dos fluidos são constantes,
- São desprezíveis as variações de energias potencial e cinética, resistência térmica da parede do tubo e efeitos de incrustações.

A aplicação da equação de fluxo energia em escoamento estacionário, se os fluidos não estiverem sofrendo mudança de fase e se forem considerados calores específicos constantes, oferece a taxa total de transferência de calor q – entre o fluido quente e frio (INCROPERA; DEWITT, 2003, p. 456). Observa-se a taxa total de transferência de calor q nas Equações (5.3) e (5.4) independem do arranjo do escoamento e do tipo do trocador de calor.

$$q = \dot{m}_q c_{p,q} (T_{q,e} - T_{q,s}) \quad (5.3)$$

$$q = \dot{m}_f c_{p,f} (T_{f,s} - T_{f,e}) \quad (5.4)$$

Em que, nas Equações (5.3) e (5.4):

- q é a taxa total de transferência de calor $[M L^2 T^{-3}]$;
- $\dot{m}_q$ é a vazão em massa do fluido quente $[MT^{-1}]$;
- $\dot{m}_f$ é a vazão em massa do fluido frio $[MT^{-1}]$;
- $T_{q,e}$ é a temperatura de entrada do fluido quente $[\theta]$;
- $T_{q,s}$ é a temperatura de saída do fluido quente $[\theta]$;

- $T_{f,s}$ é a temperatura de saída do fluido frio $[\theta]$;
- $T_{f,e}$ é a temperatura de entrada do fluido frio $[\theta]$;
- $c_{p,q}$ é o calor específico do fluido quente $[L^2T^{-2}\theta^{-1}]$,
- $c_{p,f}$ é o calor específico do fluido frio $[L^2T^{-2}\theta^{-1}]$.

A Equação (5.5) relaciona a taxa total de transferência de calor q com a diferença de temperaturas média apropriada no trocador de calor.

$$q = U.A.\Delta T_m \quad (5.5)$$

Em que, na Equação (5.5):

- q é a taxa total de transferência de calor $[M L^2T^{-3}]$;
- U é o coeficiente global de transferência de calor $[M T^{-3} \theta^{-1}]$;
- A é a área da superfície de transferência de calor no trocador de calor $[L^2]$,
- ΔT_m é a diferença de temperaturas média apropriada $[\theta]$.

Segundo Incropera e Dewitt (2003, p. 458-459), para o cálculo de ΔT_m deve-se definir o tipo de trocador de calor a ser utilizado. Em trocador de calor casco e tubo, de escoamento cruzado, com um casco e um número de passes nos tubos, múltiplo de dois, admitido para esta simulação, tem-se a Equação (5.5) modificada para:

$$q = U.A.F.\Delta T_{lm} \quad (5.6)$$

Em que, na Equação (5.6):

- ΔT_{lm} é a média logarítmica da diferença de temperatura $[\theta]$,

- F é o fator de correção adimensional obtido por meio do gráfico da Figura 5-4, em função das variáveis P e Q definidas pelas Equações (5.11) e (5.12).

A variável ΔT_{lm} é chamada, segundo Incropera e Dewitt (2003, p. 458-459), de média logarítmica da diferença de temperatura e pode ser obtida por meio da Equação (5.7):

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad (5.7)$$

Em que, na Equação (5.7):

- ΔT_1 é a diferença de temperatura entre os fluidos quente de entrada e frio de saída $[\theta]$,
- ΔT_2 é a diferença de temperatura entre os fluidos quente de saída e frio de entrada $[\theta]$.

Tem-se que:

$$\Delta T_1 = T_{q,e} - T_{f,s} \quad (5.8)$$

$$\Delta T_2 = T_{q,s} - T_{f,e} \quad (5.9)$$

Em trocadores de calor com escoamento cruzado, esta configuração proporciona a transferência de calor entre as regiões mais quentes dos dois fluidos em uma extremidade, assim como entre as regiões mais frias na outra. A Figura 5-3 ilustra a distribuição de temperaturas, ΔT_1 e ΔT_2 , conforme relatado, para um trocador de calor de correntes contrárias.

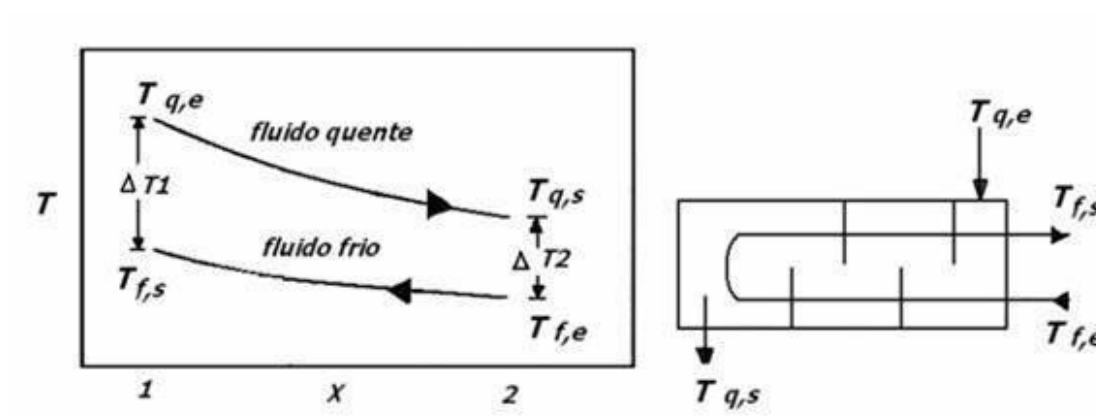


Figura 5-3: Distribuições de temperaturas para trocador de calor de correntes contrárias

Fonte: Incropera e Dewitt (2003, p. 458)

Substituindo as Equações (5.8) e (5.9) na Equação (5.7) tem-se:

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \frac{(T_{q,s} - T_{f,e}) - (T_{q,e} - T_{f,s})}{\ln\left(\frac{T_{q,s} - T_{f,e}}{T_{q,e} - T_{f,s}}\right)} \quad (5.10)$$

O fator de correção F para um trocador de calor casco e tubo – com um casco e um número de passes, nos tubos, múltiplo de dois – pode ser obtido no gráfico da Figura 5-4, em função das variáveis adimensionais P e Q definidas pelas Equações (5.11) e (5.12).

$$R = \frac{T_{q,e} - T_{q,s}}{T_{f,s} - T_{f,e}} \quad (5.11)$$

$$P = \frac{T_{f,s} - T_{f,e}}{T_{q,e} - T_{f,e}} \quad (5.12)$$

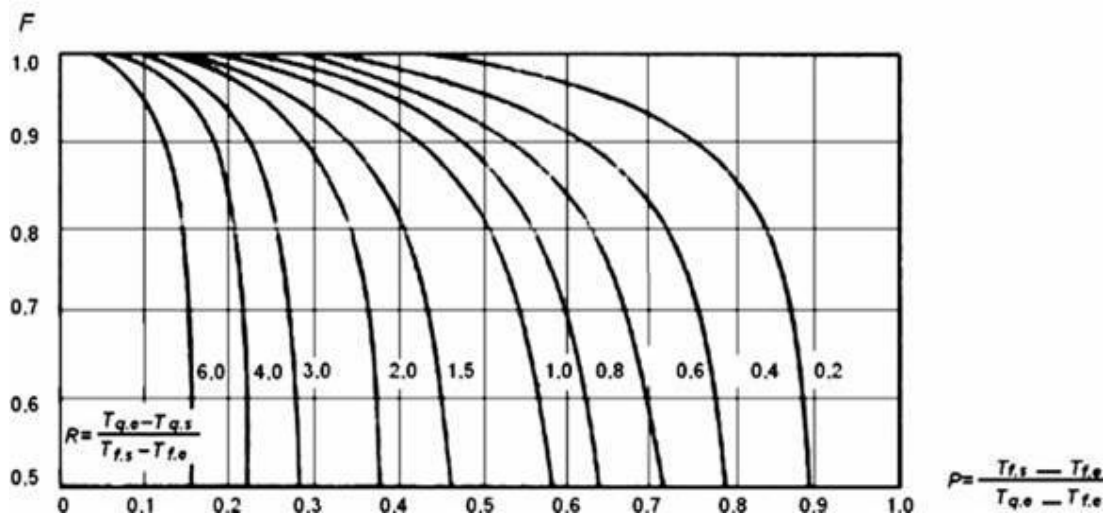


Figura 5-4: Fator de correção F para trocador de calor casco e tubo – com um casco e um número de passes, múltiplo de dois, nos tubos

Fonte: Incropera e Dewitt (2003, p. 459)

Para a simulação de uso do trocador de calor, além das temperaturas dos fluidos quente e frio, de entrada e de saída dos mesmos, pré-determinou-se as vazões dos fluidos quente e frio envolvidas.

Para a vazão de água fria, proveniente da rede pública, considerou-se para cada aparelho de chuveiro, passível de ser utilizado na bateria de 10 chuveiros, a vazão de projeto de 0,2 L/s, vazão essa estimada de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (ABNT, 1988). Como em caso de balneário, esses aparelhos podem funcionar simultaneamente, a vazão máxima provável foi admitida como sendo a soma de todas as vazões, ou seja, 2 L/s, ou 0,002 m³/s.

Para a vazão de água quente, originária do poço P6 explorador do Aquífero Guarani, adotou-se o valor de 20 m³/h, ou seja, 5,6 L/s, referente à produção do poço tubular profundo, segundo constante no Quadro 4-2.

A massa específica do fluido quente, no caso, a água subterrânea do Aquífero Guarani, foi obtida em laboratório, com amostra coletada *in loco* na fonte do poço P6, e ensaios realizados com essa água na temperatura imposta de 38°C. A massa específica do fluido

frio, obtida para água na temperatura de 20°C, e o calor específico dos fluidos quente e frio foram obtidos nas tabelas especificadas em Holman (1983, p. 618).

Com as massas específicas e as vazões dos fluidos quente e frio, calculou-se as vazões em massa para os fluidos quente e frio – $\dot{m}_q$ e $\dot{m}_f$ – utilizando-se das Equações (5.13) e (5.14).

$$\dot{m}_q = \rho_q \cdot Q_q \quad (5.13)$$

$$\dot{m}_f = \rho_f \cdot Q_f \quad (5.14)$$

Em que, nas Equações (5.13) e (5.14):

- $\dot{m}_q$ é a vazão em massa do fluido quente $[\text{MT}^{-1}]$;
- $\dot{m}_f$ é a vazão em massa do fluido frio $[\text{MT}^{-1}]$;
- Q_q é a vazão do fluido quente $[\text{L}^3\text{T}^{-1}]$;
- Q_f é a vazão do fluido frio $[\text{L}^3\text{T}^{-1}]$;
- ρ_q é a massa específica do fluido quente $[\text{ML}^{-3}]$,
- ρ_f é a massa específica do fluido quente $[\text{ML}^{-3}]$.

O Quadro 5-2 relaciona os valores dos parâmetros adotados e calculados para esta simulação.

Quadro 5-2: Valores dos parâmetros envolvidos, adotados e calculados

Parâmetro	Valor adotado	Unidade	Análise dimensional
$T_{f,e}$	20	°C	[θ]
$T_{q,e}$	38	°C	[θ]
$T_{q,s}$	35	°C	[θ]
Q_f	0,002	m ³ /s	[L ³ θ^{-1}]
Q_q	0,0056	m ³ /s	[L ³ θ^{-1}]
$c_{p,q}$	4174	J/ kg.K (38°C)	[L ² T ⁻² θ^{-1}]
$c_{p,f}$	4180	J/ kg.K (21°C)	[L ² T ⁻² θ^{-1}]
ρ_f	998	kg/m ³ (20°C)	[ML ⁻³]

Parâmetro	Valor calculado	Unidade	Análise dimensional	Equação/Ensaio/Gráfico
ρ_q	1001	Kg/m ³ (38°C)	[ML ⁻³]	Ensaio laboratorial
$\dot{m}_q$	5,566	kg/s	[M θ^{-1}]	Equação (5.13)
$\dot{m}_f$	1,996	kg/s	[M θ^{-1}]	Equação (5.14)
q	69692	W	[ML ² T ⁻³]	Equação (5.3)
$T_{f,s}$	28,35	°C	[θ]	Equação (5.4)
ΔT_1	9,65	°C	[θ]	Equação (5.8)
ΔT_2	15	°C	[θ]	Equação (5.9)
R	0,36	—	adimensional	Equação (5.11)
P	0,46	—	adimensional	Equação (5.12)
F	0,98	—	adimensional	Gráfico Figura (5.4)
ΔT_{ml}	11,89	°C	[θ]	Equação (5.10) ou (5.7)
UA	5864	W/°C	[ML ² T ⁻³ θ^{-1}]	Equação (5.6)

O coeficiente global de transferência de calor por unidade de área – UA –, demonstrado no Quadro 5-2, permite o dimensionamento ou a escolha do modelo comercial do trocador de calor. Lembra-se que, conforme citado, o objetivo desta simulação não foi discutir o projeto do equipamento trocador de calor, selecionado para este estudo de simulação. O intento foi analisar a temperatura de saída da água pré-aquecida e conseqüente ganho de energia térmica com a simulação de utilização do equipamento.

De acordo com o resultado obtido, a diferença entre a temperatura de água fria na entrada do trocador de calor e a temperatura de água pré-aquecida na saída do mesmo equivale a 8,35°C. Considerou-se para essa diferença de temperatura a vazão máxima provável de consumo de água superficial obtida com a soma das vazões de 10 aparelhos de chuveiros com funcionamento simultâneo, segundo admitido anteriormente. Ressalta-se que a perda de temperatura para a água quente, proveniente do Aquífero Guarani, foi pré-fixada em 3°C, valor considerado adequado para não prejudicar seu uso em balneabilidade.

A economia que representa esse ganho de calor, devido a um aquecimento de aproximadamente 8°C, depende do sistema de aquecimento a ser comparado.

Por exemplo, se for considerado 38°C a temperatura da água consumida em um chuveiro elétrico ou em um sistema central coletivo de armazenamento, cuja temperatura da água reservada seja de 50°C, o ganho térmico no trocador de calor representa respectivamente:

- em relação ao chuveiro elétrico: $\frac{8^{\circ}\text{C}}{(38-20)^{\circ}\text{C}} \cdot 100 = 44,4\%$ da energia necessária,
- em relação a um sistema central coletivo: $\frac{8^{\circ}\text{C}}{(50-20)^{\circ}\text{C}} \cdot 100 = 26,7\%$ da energia necessária.

Esses são os ganhos energéticos para um sistema de pré-aquecimento de passagem nas condições descritas.

Pode ser observado, por meio do gráfico da Figura 5-5, que quando o número de chuveiros em uso é muito baixo, a temperatura de saída da água de abastecimento coincide com a temperatura de entrada da água quente.

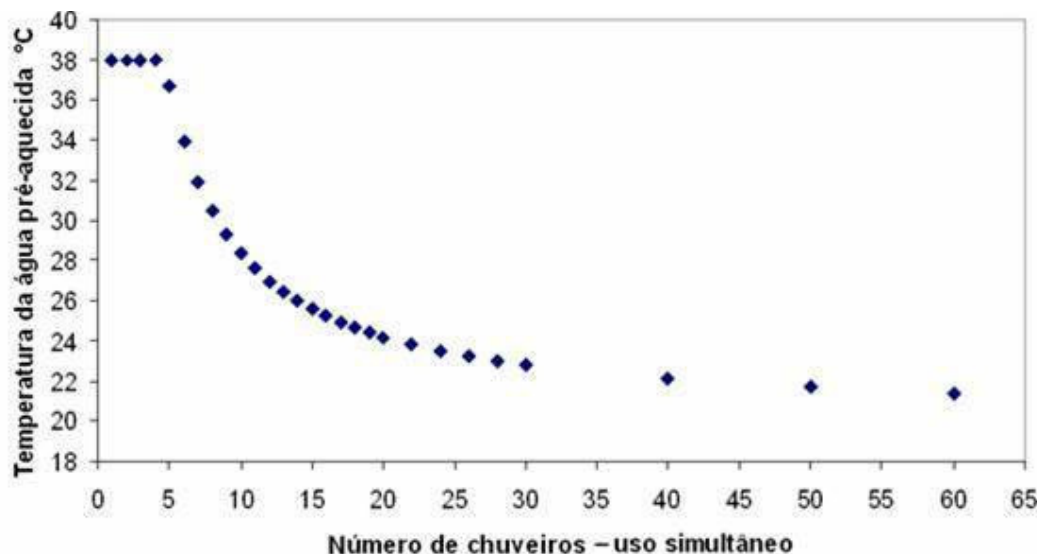


Figura 5-5: Temperatura da água pré-aquecida em função do número de aparelhos de chuveiros abastecidos simultaneamente

Se o trocador de calor admitido for de acumulação, a condição de equilíbrio – quando a temperatura de saída da água pré-aquecida coincide com a temperatura de entrada da água quente – tende a acontecer após grande intervalo de tempo sem consumo nos chuveiros e com entrada contínua de água quente no trocador de calor. Essa condição resulta no máximo aproveitamento térmico e, além disso, a reserva de água pré-aquecida, pode contribuir para suprir a demanda em horários de maior vazão, para tal situação, considera-se desprezíveis as perdas para o meio ambiente.

O gráfico da Figura 5-6 traz a economia de energia em função do número de chuveiros com funcionamento simultâneo tanto para um trocador de calor de passagem quanto para um de acumulação.

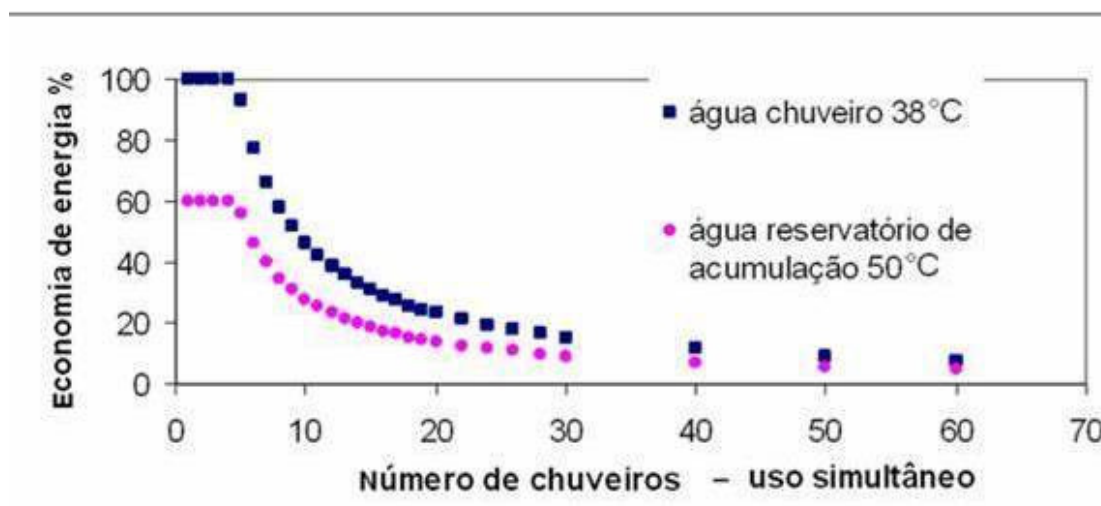


Figura 5-6: Economia de energia em relação ao número de chuveiros com funcionamento simultâneo tanto em um trocador de calor de passagem quanto em um de acumulação

Como discussão de um dos resultados obtidos por meio da simulação de pré-aquecimento de água ao se utilizar as águas explotadas do Aquífero Guarani, tem-se que as variações das propriedades químicas das águas armazenadas podem restringir suas opções de uso, mas não as inviabilizam para se tornarem úteis como fonte potencial de energia térmica por meio do uso de um trocador de calor, no qual os fluidos não se misturam.

Sugere-se, como matéria de estudo futuro, a questão da incrustação no trocador de calor, em função das especificidades hidroquímicas da água explotada em Cachoeira Dourada.

No prosseguimento deste trabalho, o Capítulo 6 – Considerações Finais – traz as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

E, finalmente, inclui-se a listagem de Referências com os documentos citados nesta Dissertação de Mestrado.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi exposto no Capítulo 4, que tratou da Apresentação dos Resultados, e no Capítulo 5, com a inserção do Estudo de Caso, pode-se considerar que a metodologia aplicada nesta Pesquisa possibilitou a obtenção de uma série de informações que, até então, eram desconhecidas acerca do Aquífero Guarani subjacente à região do Triângulo Mineiro.

O conjunto de conhecimentos apresentados, o desenvolvimento da estimativa dos volumes dos arenitos formadores do Aquífero Guarani na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e, conseqüentemente, a estimativa do volume da água armazenada, juntamente com a simulação de uso da energia geotérmica no Estudo de Caso permitem afirmar que o objetivo primordial desta Pesquisa, em contribuir para um maior conhecimento acerca do Aquífero Guarani, de seu uso e exploração, bem como de suas potencialidades na região do Triângulo Mineiro, foi atingido.

A Pesquisa incorporou, efetivamente, conteúdo técnico acerca do estudo do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro ao envolver os 15 poços tubulares profundos exploradores das águas subterrâneas advindas desse Aquífero e identificados neste trabalho. Desse total, nove poços situam-se em Cachoeira Dourada, dois em Conceição das Alagoas, três em Uberaba e um na cidade de Frutal.

A Pesquisa comprovou que, com o uso das águas subterrâneas produzidas no poço Ubatã 1 e nos poços P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8, o recurso natural *água* é, efetivamente, um agente capaz de atrair turistas. No Triângulo Mineiro a água subterrânea do Aquífero Guarani, tanto como recurso hídrico quanto recurso mineral, possibilitou o desenvolvimento do turismo nos municípios de Conceição das Alagoas e de Cachoeira Dourada, graças às suas especificidades hidrotermais e hidrominerais.

O estudo da potabilidade das águas do Aquífero Guarani propiciou a discussão acerca de como uma água não destinada para o consumo humano pode ter aplicabilidade no turismo. O alto teor de sais presente na composição hidroquímica da água, considerado um aparente fator adverso de qualidade, transformou-se em um atrativo para a exploração do Aquífero Guarani em Cachoeira Dourada, com a utilização de suas águas minerais em piscinas termais, inseridas no contexto do lazer e da hidroterapia devido às prováveis propriedades terapêuticas das mesmas.

As análises laboratoriais para o parâmetro resíduo de evaporação, realizadas a 110°C e a 180°C, resultaram em valores médios de 9.180,86 e 9.172,73 mg/L, respectivamente, e evidenciaram um teor excepcional de sais minerais presente nas águas explotadas, por meio dos poços P1, P2, P3 e P4, em Cachoeira Dourada. Como comparação entre as quantidades de sais minerais – mensuradas por meio dos resíduos resultantes após evaporação a 180°C – das águas minerais explotadas em Cachoeira Dourada para balneabilidade e das águas minerais normalmente utilizadas para o consumo humano têm-se que, em média, as águas minerais explotadas em Cachoeira Dourada apresentam 100 vezes maior quantidade de sais do que as águas minerais normalmente utilizadas para envase e, conseqüentemente, para consumo humano.

Nesse contexto, cabe comentar que seria interessante efetuar técnicas disponíveis na atualidade, e dentre essas destaca-se o estudo de isótopos ambientais, para estimar a idade da água armazenada, ou seja, o seu tempo de permanência nas litologias do Aquífero Guarani subjacente à cidade de Cachoeira Dourada e, com os resultados, inferir as interpretações cabíveis. A proposta de estudos isotópicos justifica-se e constitui-se em uma significativa abordagem para melhor caracterização regional do Aquífero Guarani, em relação à trajetória das águas subterrâneas e ao seu tempo de renovação, dado que essas águas minerais são integrantes do ciclo hidrogeológico.

A simulação do uso do geotermalismo, no Estudo de Caso apresentado neste trabalho, visou a contribuir para tornar conhecido um dos possíveis usos de uma energia, muitas vezes não utilizada, até mesmo por falta de divulgação das possíveis formas de seu aproveitamento. O emprego do geotermalismo pode possibilitar benefícios ambientais e contribuir para um menor consumo de energias mais poluentes ou impactantes ao meio ambiente.

Como discussão dos resultados pode-se concluir que o poço R6, localizado em Uberaba, e o poço Frutal, situado na cidade de Frutal, não produzem águas exclusivamente advindas do Aquífero Guarani. Há, efetivamente, contribuição de águas provenientes de fendas ou fraturas dos basaltos da formação Serra Geral, sobrejacentes ao Aquífero Guarani. Essa situação pode ser identificada por meio das características construtivas desses poços. Portanto, análises laboratoriais das águas produzidas nesses poços não referem-se exclusivamente às águas do Aquífero Guarani mas, conforme exposto, referem-se à mistura das águas do Aquífero Guarani e das águas armazenadas nos basaltos do aquífero sobrejacente, o Serra Geral. Segundo detectado nesta Pesquisa, o CODAU e a mídia em geral referem-se ao poço, R6, R10 e R11 como exploradores do Aquífero Guarani, fato esse não comprovado no poço R6. Nesse caso, sugere-se análise das características construtivas dos poços R10 e R11 para auxiliar a verificação de uma provável ocorrência de mistura de águas.

A utilização do mapa das linhas de iso-espessura – isópacas – do manancial subterrâneo, apresentado originalmente por Araújo, França e Potter (1995), possibilitou um estudo para a estimativa de volume dos arenitos, mediante a interpolação de curvas de contorno pré-existent das formações Botucatu e ou Pirambóia, presentes em partes do subsolo da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Para essa interpolação utilizou-se o método de Kriging, que resultou, desse modo, em um mapa mais detalhado e este facilitou realizar a estimativa da água subterrânea armazenada no Aquífero Guarani subjacentes aos municípios da mesorregião citada.

A divulgação da estimativa dos volumes de água armazenada no subsolo de cada município pode integrar uma iniciativa de difusão de conscientização da existência do Aquífero Guarani na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, haja vista que, ainda como inferência desta Pesquisa, não obstante de não constar nos objetivos da mesma, foi perceptível nas entrevistas realizadas em instituições regionais, dentre outras pesquisadas, que muitos funcionários das mesmas e habitantes da região não reconhecem o Aquífero Guarani como parte integrante do Triângulo Mineiro. Presença essa ratificada por meio do conteúdo do Referencial Teórico e dos 15 poços exploradores identificados.

Notou-se que o grande depósito sul-americano de água subterrânea – o Aquífero Guarani – significa um volume de água considerável e disponível no subsolo do Triângulo Mineiro,

tanto como reserva hídrica quanto como reserva mineral. Propõe-se, como produto desta Dissertação, uma constante discussão das especificidades das águas desse Aquífero junto aos Comitês de Bacias Hidrográficas inseridos na região estudada, em outros órgãos de gestão de recursos hídricos e mesmo nas Instituições de Ensino e Pesquisa, cita-se como exemplo a Universidade Federal de Uberlândia. Enfatiza-se, nesta circunstância, o sentido da representação do Triângulo Mineiro nas discussões regionais, nacionais e internacionais acerca do tema. Não obstante, obviamente, da necessidade de agregar representantes da União, do Estado e mesmo de outros Estados, bem como de conhecedores do Aquífero Guarani e de especialistas relacionados às águas subterrâneas, à geologia e à hidrogeologia, dentre outros. Dado aos fatos identificado nesta Pesquisa, que o ato de discutir proposto antecipe possíveis questões relativas ao planejamento e à gestão do Aquífero Guarani na região, incluindo efetivamente e definitivamente representantes da mesma no debate.

Assinala-se que, estando o Aquífero Guarani presente no Triângulo Mineiro e que as pesquisas acerca dos aquíferos em um contexto regional, segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2006d, p. 65), são escassas e dispersas, espera-se que esta Dissertação venha ajudar a suprir parte da lacuna existente, além de contribuir para ampliar a percepção ambiental do Aquífero Guarani na região, pois, conforme visto, os arenitos, permanentemente, pertencem à região e as águas podem ser transitórias, dependendo da escala temporal considerada e necessitam, por isso, de gestão. Vale lembrar que não existe compartilhamento de ações do elemento natural *água* explorado, devido ao fato da mesma ser diferenciada entre recurso mineral e recurso hídrico, com outorgantes diferenciados e, até então, sem união de ações conjuntas. Cita-se que o uso indiscriminado pode alterar na região um equilíbrio natural, talvez estabilizado depois de milhões de anos.

Uma outra sugestão, dentre as várias apresentadas, para futuras investigações e estudos, é o acréscimo da área representativa do Alto Paranaíba, não inserida nesta Pesquisa, e mesmo de outras mesorregiões mineiras extrapoladoras da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e ampliar para todo o Estado, evidentemente, onde este apresentar as litologias do Aquífero Guarani, o objetivo proposto nesta Dissertação. Ressalta-se comentar a presença, na cidade de Cachoeira Dourada, homônima à vizinha cidade mineira, localizada no Estado de Goiás, de poços exploradores do Aquífero Guarani. Assim cabe, da mesma forma, a proposta para estudo nessa área, próxima de nove poços exploradores, até mesmo para comparação entre os resultados hidrogeológicos.

Finalmente, considera-se que a metodologia e os resultados apresentados poderão ter desdobramentos em novos estudos acerca da exploração, do uso e das potencialidades do Aquífero Guarani na região considerada e inserir o Triângulo Mineiro, definitivamente, no cenário nacional de exploração do Aquífero Guarani, ou conforme citado, no Sistema Aquífero Guarani.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. **Aqüífero gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai**: mapas hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1995. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Manual de perfuração de poços tubulares para investigação e captação de água subterrânea no “Sistema Aqüífero Guarani”**. Disponível em: <<http://www.abas.org.br/>>. Acesso em: 18 nov. 2006a.

_____. **Termos hidrogeológicos básicos**. Disponível em: <http://www.abas.org/index.php?PG=abas&SPG=abas_estudos_hidro&SSPG=termos_hidro>. Acesso em: 18 nov. 2006b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

BOSCARDIN BORGHETTI, N. R.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. **Aqüífero Guarani**: a verdadeira integração dos países do Mercosul. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2004. 214 p.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o código de águas. Rio de Janeiro, 1934.

_____. **Decreto nº 7.841, de 08 de agosto de 1945**. Regula as águas minerais por determinação do Código de Mineração. Rio de Janeiro, 1945.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal, e altera o artigo 1 da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 janeiro 1997. Disponível em: <<http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=145411>>. Acesso em: 30 out. 2007.

_____. Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de Coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 julho 2000. Disponível em: <<http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=230136>>. Acesso em: 30 out. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, DF, 2004.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Portaria nº 52, de 02 de fevereiro de 2005**. Aprova o regimento Interno da Comissão Permanente de Crenologia do Ministério de Minas e Energia. Brasília, DF, 2005a.

_____. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Institucional**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em: 27 out. 2006a.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Portaria nº 117 de 17 de julho de 1972**. Estabelece instruções sobre os estudo in loco de fontes de águas minerais ou potáveis de mesa como condição indispensável à aprovação do relatório final de pesquisa. Brasília, DF, 1972.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Portaria nº 378 de 29 agosto de 2002**. Brasília, DF, 1972. Cria o Comitê Permanente de Estudos do Aquífero Guarani - CPEAG, com o objetivo de prover o DNPM de todos os elementos de conhecimento técnico a respeito deste aquífero. Brasília, DF, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **Apoio à gestão de recursos hídricos**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/ArticulacaoInstitucional/default.asp>>. Acesso 26 out. 2006b.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **Institucional:** assessoria parlamentar. Tramitando no Congresso Nacional. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/Institucional/ASPAR/>>. Acesso em 20 out. 2006c.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 jan. 2001a. Disponível em: <<http://www.cnrh-srh.gov.br/delibera/resolucoes/R015.htm>>. Acesso em: 30 out. 2007.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 16, de 8 de maio de 2001. Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 maio. 2001b. Disponível em: <<http://www.cnrh-srh.gov.br/delibera/resolucoes/R015.htm>>. Acesso em: 30 out. 2007.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005b.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria Nacional de Recursos Hídricos. **Plano nacional de recursos hídricos:** síntese executiva. Brasília, DF, 2006d. 135 p.

CALCAGNO, A. Proyecto de protección ambiental y manejo sostenible integrado del sistema Acuífero Guaraní: actividad 03. In: GREGORASCHUK, J. S. **Estúdio del uso actual y potencial del Acuífero Guaraní.** Montevideo: [s.n.], 2001. 21 p.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. **Institucional.** Disponível em: <<http://www.cdtm.br/default.asp>>. Acesso em: 01 fev. 2007.

CENTRO OPERACIONAL DE DESENVOLVIMENTO E SANEAMENTO DE UBERABA. **Poço profundo.** Disponível em: <<http://www.uberaba.mg.gov.br/codau/>>. Acesso em: 17 dez. 2006.

CHANG, H. K. **Proteção ambiental e gerenciamento sustentável integrado do Aqüífero Guaraní:** atividade 3b: uso atual e potencial do Aqüífero Guaraní – Brasil. São Paulo: UNESP, IGCE, 2001. 34 p.

CLARK, I.; ARAVENA, R. **Environmental isotopes in ground water resource and contaminant hydrogeology.** San Diego; [s.n.], 2005. (NGWA Course #394). 103 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico do Brasil. **Carta estratigráfica da Bacia do Paraná**. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/coluna/coluna_2.htm>. Acesso em: 18 nov. 2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. **Área de atuação**. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?tpl=home>>. Acesso em: 17 dez. 2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Glossário ecológico ambiental**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/glossario/glossario_a.asp>. Acesso em: 19 out. 2006.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Legislação**. Disponível em: <<http://www.semاد.mg.gov.br/>>. Acesso em: 17 dez. 2006.

GOOGLE EARTH. **Get google earth**. Free version. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 17 dez. 2006.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito de águas**: disciplina jurídica das águas doces. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 249 p.

HIRATA, R. Recursos hídricos. In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p. 421-444.

HOLMAN, J. F. **Transferência de calor**. Tradução de Luiz Fernando Milanez. São Paulo: McGraw-Hill, 1983. 639 p.

INCROPERA, F. P.; DEWITT D. P. **Transferência de calor e de massa**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 01 jun. 2006a.

_____. **Mapas interativos**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/mapas/>>. Acesso em: 01 jun. 2006b.

INSTITUTO GEOLÓGICO E MINEIRO (Portugal). **Água subterrânea: conhecer para preservar o futuro**. Zambujal, 2001. Disponível em: <http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indice.htm>. Acesso em: 17 out. 2006.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Institucional**. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/>>. Acesso em: 01 jun. 2006.

JORNADA ESTADUAL Aqüífero Guarani, 2006, Botucatu. **Visita monitorada a afloramento do Aqüífero Guarani, Bacia do Paraná**: formação Pirambóia e Botucatu. Botucatu: [s.n.], 2006. 104 p.

KARMANN, I. Ciclo da água. In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p. 113-138.

MACHADO, J. L. F. A redescoberta do Aqüífero Guarani. **Scientific American**, New York, n. 47, p. 32-39, abr. 2006.

_____. A verdadeira face do “Aqüífero Guarani”: mitos e fatos. In: SIMPÓSIO DE HIDROLOGIA DO SUDESTE, 2., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2005. 10 p.

MELO, D. C. S. de. Utilização de águas subterrâneas para abastecimento público: experiência da COPASA (MG) no Triângulo Mineiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002. 11 p.

MONTAÑO, J. et al. Características hidrogeológicas del acuífero transfronterizo Guaraní. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABAS, 2004. 14 p.

MORAES, V. **Antologia Poética**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1960.

NISHIYAMA, L. Mapas do Sistema Aqüífero Guarani no Triângulo Mineiro. In: HISTÓRIA ORAL DO WORKSHOP Aqüífero Guarani: POTENCIALIDADES PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS, 2001, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Prefeitura Municipal, 2001.

O MAGNÍFICO Aqüífero Guarani. Projeto Sistema Aqüífero Guarani. 2004. 1 filme, son., color. Vídeo documental.

PETRI, S.; FULFARO, V. J. **Geologia do Brasil (Fanerozóico)**. São Paulo: EDUSP, 1983. 631 p.

POMPEU, C. T. Águas doces no direito brasileiro. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. rev. e aum. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 599-633.

_____. **Direito de águas no Brasil**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2006. 512 p.

_____. Dominialidade das águas subterrâneas. In: SIMPÓSIO DE HIDROLOGIA DO SUDESTE, 2., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2005. 5 p.

PORTELA FILHO, C. V. **Condicionamento estrutural-magnético do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná) e sua conectividade com o Sistema Aquífero Guarani**. 2003. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória) - Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

RABELO, J. L. et al. Aproveitamento da energia geotérmica do sistema Aquífero Guarani: estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2002.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. rev. e aum. São Paulo: Escrituras, 2002a. p. 1-37.

_____. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. rev. e aum. São Paulo: Escrituras, 2002b. p. 119-151.

_____. A política nacional de recursos hídricos e as águas subterrâneas. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 19, n. 1, maio 2002c.

REBOUÇAS, A. C.; AMORE, L. O Sistema Aquífero Guarani: SAG. **Revista Águas Subterrâneas**, Curitiba, n. 16, p. 135-143, maio 2002.

REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. AQUÍFERO GUARANI, 58., 2006, Florianópolis. **Oportunidades e desafios do grande manancial do Cone Sul**. Florianópolis: SBPC, 2006. 7 p. Grupo de trabalho 4.

ROCHA, G. A. O grande manancial do Cone Sul. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 11, n. 30, p. 191-212, 1997.

ROSA FILHO, E. F. da. Contribuição ao estado atual do conhecimento sobre o sistema Aquífero Guarani. In: OFICINA TÉCNICA, 2004, Curitiba. **Estado atual do conhecimento sobre o sistema Aquífero Guarani**. Curitiba: UFPR, LPH, 2004.

SHIKLOMANOV, I. A. **Word water resources**: a new appraisal and assessment for the 21st century. Paris: UNESCO, IHP, 1998. 40 p.

SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. **Avaliação dos recursos hídricos do Sistema Aquífero Guarani no município de Araguari, Minas Gerais, Brasil**. Disponível em: <http://www.sg-guarani.org/index/site/proyecto_particular/pp003b.php>. Acesso em: 02 dez. 2006a.

_____. **Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani**. Disponível em: <<http://www.sg-guarani.org/>>. Acesso em: 02 dez. 2006b.

SOUZA, A. A. **Caracterização da bacia do rio Iguaçu, a jusante do município de reserva do Iguaçu, como área de descarga do Aquífero Guarani**. 2004. 85 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

STRUGALE, Michael. **Arcabouço e evolução estrutural do arco de Ponta Grossa no Grupo São Bento (mesozóico)**: implicações na hidrodinâmica do Sistema Aquífero Guarani e na migração de hidrocarbonetos na bacia do Paraná. 2002. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória- Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

THE LIVING EARTH®. **Visit the interactive earth**. Disponível em: <<http://livingearth.com/>>. Acesso em: 25 jan. 2007.

UNESCO. International Hydrological Programme. Internationally shared (transboundary) aquifer resources management: their significance and sustainable management. Paris, 2001. (IHP, 4). 71 p.

VIANNA, P. C. G. Considerações sobre a política de recursos hídricos e suas aplicações para o Sistema Aquífero Guarani. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE, 3., 2004, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABRH, 2004. v. 1, 7 p.