

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NAS BACIAS DOS RIOS
PIRACICABA E CAPIVARI

Autor: Geól. MANOEL FRANCISCO CONEJO LOPES

Orientador: Prof. Dr. Abel Maia Genovez

Dissertação de Mestrado

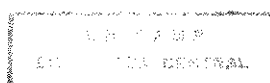
Area de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento

Campinas
1994

Atesto que esta é a
versão final.

30/05/1995

Abel Maia Genovez
Nº Matric. UNICAMP
03557-2



951074-

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA DE AGUA SUBTERRÂNEA NAS BACIAS DOS RIOS
PIRACICABA E CAPIVARI

Autor: MANOEL FRANCISCO CONEJO LOPES

Orientador: Prof. Dr. Abel Maia Genovez

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de
Engenharia Civil da UNICAMP para a obtenção do grau de
Mestre em Ciências na Área de Recursos Hídricos

Comissão Examinadora

Presidente: Prof. Dr. Abel Maia Genovez

Examinadores: Prof. Dr. Job Jesus Batista

Prof. Dr. Paulo Sampaio Wilken

Campinas
1994

Aos meus pais Silvio (em memória) e Anna, que me fizeram geólogo, a Marcia, pelo apoio e paciência e aos Amigos pela colaboração e incentivo, o meu reconhecimento.

AGRADECIMENTOS

É meu desejo agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram na consecução deste trabalho, particularmente, aos professores e funcionários da Pós-graduação da FEC-UNICAMP.

Quero registrar também o meu especial agradecimento ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, que proporcionou as condições para o desenvolvimento do trabalho e a quem devo boa parte da minha formação profissional. Assim, se o conteúdo e o resultado deste trabalho forem considerados úteis e positivos, que seja enaltecido também o DAEE.

SUMARIO

	página
INDICE DO CONTEUDO	01
Relação das Figuras	02
Relação das Tabelas	02
Relação dos Anexos	02
I - RESUMO	03
II - ABSTRACT	04
1 - INTRODUÇÃO	05
1.1 - Considerações Iniciais	05
1.2 - Aspectos Gerais	07
2 - OBJETIVO E METODOLOGIA	10
2.1 - Objetivo do Estudo	10
2.2 - Metodologia do Estudo	10
3 - REVISAO BIBLIOGRAFICA	11
4 - CARACTERISTICAS GEO-ECONOMICAS DAS BACIAS	18
4.1 - Caracterização física das	18
4.2 - Caracterização geomorfológica	18
4.3 - Caracterização sócio-econômica	19
4.4 - Situação atual	20
4.5 - Demandas de água	21
5 - RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIAIS	24
6 - ASPECTOS GEOLOGICOS DAS BACIAS	28
6.1 - Embasamento Cristalino	28
6.2 - Bacia Sedimentar do Paraná	30
6.3 - Sedimentos Cenozóicos	33
7 - SISTEMAS AQUIFEROS DAS BACIAS	35
7.1 - Aquífero Cristalino	35
7.2 - Aquífero Itararé	36
7.3 - Aquífero Passa Dois	37
7.4 - Aquífero Diabásio	38
7.5 - Aquífero Botucatu	39
7.6 - Aquífero Serra Geral	40
7.7 - Aquífero Bauru	40
7.8 - Aquífero Cenozóico	41
8 - DISPONIBILIDADE DE AGUA SUBTERRANEA	45
8.1 - O balanço hídrico e a recarga transitória média multianu- al dos aquíferos	45
8.2 - Considerações sobre a disponibilidade de água subterrânea	48
8.3 - Disponibilidade hídrica nos aquíferos	52

9 - UTILIZAÇÃO ATUAL DE AGUA SUBTERRANEA	54
9.1 - Número de poços tubulares existentes	54
9.2 - Número de poços em operação	60
9.3 - Estimativa da vazão de água subterrânea explotada	60
9.4 - Estimativa da vazão explotada por aquífero	61
9.5 - Estimativa da vazão explotada para os diversos usos	61
9.6 - Níveis da utilização atual dos aquíferos nas bacias	62
9.7 - Níveis da utilização de água subterrânea nas bacias frente a sua utilização no Estado de São Paulo	63
10 - PERSPECTIVAS DE APROVEITAMENTO DE AGUA SUBTERRANEA	65
11 - QUALIDADE DA AGUA SUBTERRANEA	68
11.1 - Classificação hidroquímica da água subterrânea	68
11.2 - Composição química e potabilidade da água	68
11.3 - Vulnerabilidade dos aquíferos	69
12 - ASPECTOS JURIDICOS E INSTITUCIONAIS DA AGUA SUBTERRANEA ..	71
13 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
14 - CONCLUSÕES	76
15 - BIBLIOGRAFIA	78
 <u>A - RELAÇÃO DAS FIGURAS:</u>	
Figura 4.1: "Localização das bacias"	22
Figura 4.2: "Divisão territorial das bacias por municípios	23
Figura 5.1: "Mapa de isoietas"	26
Figura 5.2: "Mapa de regionalização das vazões"	27
Figura 7.1: "Mapa de aquíferos simplificado"	42
 <u>B - RELAÇÃO DAS TABELAS:</u>	
Tabela 4.1: "Consumo e Demanda de água nas bacias"	21
Tabela 5.1: "Vazões naturais nas principais sub-bacias"	25
Tabela 7.1: "Características geológicas dos aquíferos"	43
Tabela 7.2: "Características hidrogeológicas dos aquíferos" ...	44
Tabela 8.1: "Resumo do balanço hídrico nas sub-bacias"	46
Tabela 8.2: "Estimativa da disponibilidade de água subterrânea"	50
Tabela 8.3: "Disponibilidade hídrica das bacias"	53
Tabela 9.1: "População e índices de crescimento populacional nos municípios das bacias"	56
Tabela 9.2: "Número de poços existentes nos municípios"	58
Tabela 9.3: "Vazão explotada por aquífero"	61
Tabela 9.4: "Índices de aproveitamento dos aquíferos nas bacias"	62
Tabela 9.5: "Níveis da utilização de água subterrânea nos aquíferos das bacias frente a utilização no Estado" ..	64
Tabela 10.1: "Estimativa de vazões potenciais e profundidades para poços tubulares localizados nos municípios" .	65
Tabela 11.1: "Enquadramento das amostras de água subterrânea nos padrões de potabilidade"	69
 <u>C - RELAÇÃO DOS ANEXOS:</u>	
Mapa I: "Mapa de Aquíferos" (anexo)	
Mapa II: "Resumo do Balanço Hídrico por Sub-bacias" (anexo)	

I - RESUMO

Este trabalho vem complementar o conhecimento hidrogeológico da área compreendida pelas bacias dos rios Piracicaba e Capivari, uma das regiões de maior desenvolvimento do Estado de São Paulo e com sérios problemas de disponibilidade e degradação de recursos hídricos.

Os recursos hídricos subterrâneos, renováveis mas limitados, foram caracterizados em suas condições de ocorrência, de modo a permitir um diagnóstico de sua situação de uso atual, sua disponibilidade e as perspectivas de seu aproveitamento. Tais elementos constituem subsídios imprescindíveis para o estabelecimento de uma política compatível para os recursos hídricos das duas bacias e a intensidade do desenvolvimento da região, objetivando uma administração racional de seu aproveitamento, em particular a água subterrânea, evitando sua exploração inadequada e a degradação de sua qualidade.

Numa área de 14.400 km² residem pouco mais de 3 milhões de habitantes, 2,5 milhões dos quais vivendo nas áreas urbanas de 55 municípios com sedes localizadas nessas duas bacias, além de porções de mais 10 outros municípios cujas sedes situam-se em bacias limítrofes.

Quando a questão é o atendimento de demandas de água a população salta para 3,6 milhões de habitantes, acrescida por municípios de bacias limítrofes que fazem uso das águas da bacia do Piracicaba, o que representa um consumo atual de 13,5 m³/s e, para 1995, uma demanda de água potável de 14,6 m³/s para seu abastecimento, que somada a demanda industrial de 15,7 m³/s e a demanda para irrigação de 6,8 m³/s, perfazem um total da ordem de 37 m³/s a serem atendidos em 1995 com os recursos hídricos disponíveis nas duas bacias.

Por outro lado, a disponibilidade de águas superficiais, estabelecida pela taxa de vazão mínima para 7 dias e recorrência de 10 anos, está estimada em 41,7 m³/s na jusante da bacia do rio Piracicaba e 2,5 m³/s na jusante do Capivari.

A disponibilidade de água subterrânea nas duas bacias, estabelecida conforme critérios avaliados neste trabalho, é da ordem de 21 m³/s.

A utilização de água subterrânea nas duas bacias alcança uma vazão estimada em 2,3 m³/s, que corresponde a cerca de 7% do consumo total de água nas bacias e 11% da reserva disponível, explorada através de cerca de 3.000 poços ativos de um total de 4.312 poços já perfurados nas duas bacias até ao final de 1993.

Apesar do fraco desempenho dos aquíferos na produção de vazões mais satisfatórias, acima de 15 m³/h, o uso da água subterrânea desempenha um papel estratégico fundamental como manancial para o abastecimento de água da quase totalidade de indústrias com baixo consumo de água no processo industrial e empreendimentos variados, localizados ao longo dos eixos rodoviários e seus segmentos que atravessam a região. Sua utilização vem crescendo nas periferias não atendidas por rede de abastecimento público de água em diversas cidades das bacias e, principalmente, como fonte alternativa e suplementar de água potável para abastecimento em áreas atendidas com água tratada.

Todos esses fatores vem demonstrar condições amplamente favoráveis para o incremento de seu aproveitamento, independente dos planos e das políticas governamentais em curso, fato que requer maior atenção e empenho das instituições públicas e privadas nas suas ações para que esse desenvolvimento ocorra de forma a mais racional possível.

II - ABSTRACT

This study supplements the hydrogeological knowledge of the Piracicaba and Capivari river basins area, one of the fastest growing regions in the State of Sao Paulo, with serious problems of water resources availability and its degradation.

The ground water, a renewable but limited resource, was characterized in its geological and quantitative conditions, so that to allow an appraisal of its current uses, availability and development. This elements constitute an essential subsidy to establish the water resources policy for the two basins and the level of the regional development, aiming at a rational management of the ground water utilization and to avoid over exploitation and the degradation by water pollution.

Around 3 million people are living within the 14.400 km² basins area, and 2,5 million of them inhabiting at urban zones of 55 counties, beyond 10 other counties with the main town located at the neighbor basin.

Concerning the urban water supply, we must consider around 3,6 million people, including the neighbor counties that get water from Piracicaba river basin, which represents a current water consume of 13,5 m³/s, and a water demand of 14,6 m³/s for 1995, that added to the industrial water demand of 15,7 m³/s, plus 6,8 m³/s for irrigation water consumption, reach the total amount of 37 m³/s to be underlain by the available basins' waters.

Anyhow, the surface water availability, determined by the value of the minimum seven days average flow and return period of 10 years, is valued at 41,7 m³/s in Piracicaba river basin and 2,5 m³/s in Capivari river basin.

The ground water availability in basins, evaluated according to this study, amount to 21 m³/s.

The groundwater uses in the two basins reaches an estimated flow of 2,3 m³/s, that means 7% of the total water consumption in the basins and 11% of the available groundwater resource, exploited by 3.000 wells working among the total of 4.312 wells drilled in the basins until 1993.

Although the waned yielding of basins' aquifers allowing wells discharges higher than 15 m³/h, the groundwater use carries out as the mainstay and a strategic source to the needs of nearly the entire industries and enterprises with low water demands, located along the roads crossing all the region. The groundwater consume increases outskirts of urban areas not served by the public water network and, mainly, becomes an alternative and a supplementary water source inside the areas attended by public water network either.

All this facts demonstrate the most favorable conditions to increase the groundwater withdrawn, independently of any current planning or government policies, so that the situation requires special attention and pawning of the public institutions and private entities to engage in a groundwater development and management underlain by the most rational ways, compatibles with the economical, ecological and social patterns claimed by basins' people.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Iniciais

As Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari são vizinhas. Vizinhas remediadas de uma mesma hipotética rua. Uma rua importante que não fica na periferia da cidade empobrecida. Uma rua que, além de se encontrar com seu pavimento deteriorado, está com sua rede de abastecimento de água potável por demais comprometida por seu uso intenso e perdas excessivas, e ainda, com o esgoto correndo a céu aberto sobre seu leito.

Deixando de lado os outros problemas socio-econômicos também importantes dessa mesma rua, do bairro e da cidade, vamos nos ater a questão da água dessa rua. Vamos falar um pouco mais particularmente de uma certa água, que se encontra geralmente no interior das cisternas existentes lá no fundo de cada quintal e, via de regra, atende a estas duas bacias vizinhas como uma alternativa, a água subterrânea, uma importante reserva estratégica.

O problema quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos, que não pode ser equacionado de forma dissociada, frente a questões intrínsecas como o saneamento básico, o desenvolvimento industrial e as atividades agropastoris, alcança proporção alarmante. Na medida em que se intensifica seu uso, a água vai se tornando escassa nas duas bacias, gerando conflitos entre os usuários e as prioridades de aproveitamentos, além de aumentar o risco de um colapso devido a degradação irreversível da qualidade dos corpos de água.

A administração racional desse problema de solução utópica constitui um enorme desafio que, nos últimos anos, a comunidade vem procurando enfrentar através de vários de seus segmentos, agindo nas áreas técnica, jurídica e política.

Exemplos mais recentes desse intuito estão no Decreto Estadual no. 28.489 de 10/06/88, que reconhece a situação crítica da bacia e estabelece a Bacia do Rio Piracicaba como modelo de gestão, priorizando a elaboração de estudos no sentido de formular uma política programada e planejar as ações governamentais para os recursos hídricos na região.

Em Outubro de 1989, prefeitos, vereadores e entidades civis da região, abominando a dependência política e financeira perante o Estado e a União, criam o Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, com o intuito de enfrentar o desafio de maneira conjunta, investindo escassos recursos próprios e reivindicando, através de ações organizadas, maiores investimentos dos governos estadual e federal em programas de recuperação dos rios das duas bacias.

Em 1990, o CRH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos, criado em 1987, elabora o 1o. Plano Estadual de Recursos Hídricos para o Estado de São Paulo, estabelecendo programas específicos para a bacia do Piracicaba.

Por último, em Novembro de 1993, é implantado o Comitê das bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, propiciando o engajamento da região na condução e realização das atividades relacionadas a gestão dos recursos hídricos das três bacias.

Como se nota, consciência e vontade já não faltam de parte do Estado, dos Municípios e, principalmente, da comunidade em geral. Ocorre que tanto a elaboração como a execução de planos de gestão de recursos

hídricos, caracterizado como patrimônio público e um bem escasso, de alto valor econômico na região, exigem um conhecimento mais fidedigno das suas condições de ocorrência, entendendo-se como tal sua disponibilidade, sua distribuição em área, seu uso atual e as perspectivas de seu aproveitamento.

Ao se avaliar os diversos planos de aproveitamento dos recursos hídricos e de desenvolvimento do saneamento básico elaborados para a região fica patente a desconsideração da água subterrânea como parte integrante dos recursos hídricos das bacias dos rios Piracicaba e Capivari.

Essa ausência notória se justificaria pelo conhecimento incipiente e esparso da fase subterrânea do ciclo hidrológico na região, esse importante estágio experimentado por uma parcela significativa das águas precipitadas sobre as bacias ao longo do tempo que, percolando através dos aquíferos da região, vão constituir o escoamento básico dos corpos de água superficial das bacias hidrográficas, mantendo sua vazão natural durante os períodos de estiagem.

O conhecimento sobre os aquíferos regionais não se encontra a um nível medíocre em razão de um estudo pioneiro e único, realizado em escala regional pela administração estadual através do DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica nos idos de 1980.

Lamentavelmente, ao longo de toda a década passada até o início dos anos 90, não aconteceu, ao contrário do que se desejava no meio técnico envolvido, a continuidade desses estudos sistemáticos a nível maior de detalhe e tampouco a atualização dos dados provenientes das novas perfurações de poços tubulares, principal ferramenta para o desenvolvimento da gestão da água subterrânea nas bacias. Recentemente, cabe salientar a iniciativa e os esforços desenvolvidos pelo IG - Instituto Geológico, órgão da administração estadual, no sentido de implementar estudos geológicos e, conseqüentemente, avaliações hidrogeológicas de municípios situados nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari, como foi o caso do município de Campinas que, graças a esse estudo desenvolvido ao longo de 1992, passou a dispor de um cadastro atualizado de poços tubulares perfurados no município e de informações hidrogeológicas que permitem embasar um processo de planejamento e controle do aproveitamento das águas subterrâneas em seu território.

Uma das principais atividades da administração dos recursos hídricos pelo Estado exige conhecimentos da disponibilidade hídrica subterrânea e dos níveis de utilização atualizados da água subterrânea de uma bacia, para controlar a perfuração de poços, solucionar eventuais conflitos entre usuários, estabelecer limites de exploração e, principalmente, decidir sobre a liberação ou não de concessões de uso da água subterrânea, a exemplo do que já ocorre mais objetivamente com a água superficial.

Por certo será através do conhecimento aprofundado dos recursos hídricos, em especial as água subterrâneas, que os brasileiros habitantes destas duas bacias estabelecerão as condutas para um manejo racional das suas águas, propiciando a continuidade do desenvolvimento regional em bases ecologicamente sustentáveis.

Portanto, a condução do problema de harmonizar a convivência entre o homem, o uso e preservação dos recursos hídricos e o desenvolvimento socio-econômico, passa necessariamente pelo domínio das condições de ocorrência da água subterrânea. Isto significa conhecer mais e melhor sobre sua inter-relação com a água superficial, sua

disponibilidade, sua distribuição, seus usos atuais, sua qualidade natural e níveis de degradação atingidos, suas perspectivas frente as demandas atuais e futuras e, desta forma, seu grau de comprometimento e seus limites, de modo a manter os impactos dessa convivência dentro de fronteiras estabelecidas e aceitas pela sociedade.

É nosso desejo contribuir na luta imposta pelo desafio de legar aos que irão nos suceder, essa questão dos recursos hídricos nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari nos moldes de um problema não de todo resolvido mas perfeitamente equacionado e controlado, tornando sua administração mais objetiva e eficaz na busca das soluções parciais da questão.

1.2 - Aspectos Gerais

O Estado de São Paulo tem nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari uma de suas regiões que apresenta maior índice de crescimento sócio econômico, graças ao marcante desenvolvimento industrial havido junto a seus grandes centros urbanos e ao longo dos principais eixos rodoviários que cruzam a região. Tal fato, amainado nos últimos anos pela crise econômica que castiga o país de maneira geral, gera uma necessidade crescente de água para os mais diversos fins, destacando-se o abastecimento de água potável para a população, o uso da água nos processos industriais e a água para irrigação.

No caso da bacia do rio Piracicaba, existe uma agravante de vulto representada pelas reversões de água para as bacias vizinhas. Por esta forma, mais de 30 m³/s da água de seus rios são "exportados" para atender demandas localizadas além fronteiras, em especial, a região metropolitana de São Paulo. Essas retiradas agravam sobremaneira a disponibilidade de água superficial na bacia, refletindo principalmente na redução drástica da capacidade de diluição pelos rios dos efluentes lançados na rede de drenagem da bacia, mormente nos períodos de estiagem, com graves consequências para o abastecimento de água de cidades situadas mais a jusante da bacia a exemplo de Piracicaba.

Desta forma, a água vem se tornando um fator cada vez restritivo ao desenvolvimento e a qualidade ambiental regional.

Essa mesma água, tão necessária para a atividade humana, acaba recebendo, por conta dessa mesma atividade, quase todo o efluente sanitário e industrial gerado nas bacias sem o devido tratamento e ainda, uma parte significativa de agrotóxicos e do lixo doméstico e dos resíduos industriais jogados diretamente nos rios ou depositados sobre o solo de forma imprópria.

Nesta situação, entenda-se por água tanto a superficial, visível na enxurrada da chuva, nos córregos, ribeirões, rios, pequenos lagos e grandes reservatórios, quanto a subterrânea, invisível, contida nos aquíferos a pequenas até grandes profundidades.

É interessante lembrar a propriedade fundamental de que as águas subterrâneas e as águas superficiais são o mesmo recurso fluindo em meios físicos diferentes de forma indissociável dentro do ciclo hidrológico. O limite de ocorrência entre as duas águas é marcado de forma tênue, quando a água, seguindo o ciclo hidrológico, passa naturalmente de subterrânea para superficial, em cada nascente, ao longo da superfície dos solos e rochas envoltórias dos córregos,

rios e lagos que compõem a rede hidrográfica das bacias, constituindo o escoamento básico desses corpos de água superficial e a razão porque são perenes em nossa região. Essa passagem ocorre ainda de modo artificial, quando a água subterrânea é bombeada através de poços, drenos e cacimbas (cisternas).

A passagem natural da água na direção contrária, ou seja de sua fase meteórica e superficial para subterrânea, se dá em praticamente toda a superfície permeável das bacias quando ocorrem as chuvas e uma parcela significativa da água precipitada infiltra-se para o solo, constituindo a recarga dos aquíferos. Ocorre também artificialmente, através da infiltração induzida de água para o sub-solo através das milhares de fossas, dos poços absorventes (sumidouros), valas de infiltração, processos de irrigação, vazamentos nas redes enterradas de águas e esgotos, além das lagoas de decantação e de despejo de efluentes e resíduos implantadas acima da superfície potenciométrica (limite da zona saturada) dos aquíferos.

A princípio, sua condição de encontrar-se "protegida" nas profundezas do sub-solo leva os administradores e a própria comunidade em geral a atribuírem a água subterrânea um caráter de preservação natural nos aquíferos, dispensando assim maiores cuidados e preocupação com a sua proteção. Na realidade, várias das formas citadas de infiltração da água para o solo, inclusive a própria água da chuva quando encontra substâncias poluentes na superfície do terreno, evidenciam a vulnerabilidade dos aquíferos e o comprometimento que as águas subterrâneas estão sujeitas em razão da atividade humana e das alterações ambientais resultantes dessas atividades.

Outro aspecto importante na dinâmica da água subterrânea diz respeito ao zoneamento de seus limites de ocorrência. Enquanto a bacia hidrográfica é uma unidade territorial natural correspondente a toda a extensão de uma área onde a drenagem de toda a água de chuva precipitada converge para um mesmo rio principal através do escoamento superficial, a água subterrânea obedece a um critério de divisão mais subjetivo. A maioria dos aquíferos possuem uma extensão regional muito mais ampla e pertencem a mais de uma bacia hidrográfica. É comum uma parte da água infiltrada na área de uma bacia reaparecer no escoamento básico de corpos de água superficial de outras bacias ou contribuírem na recarga de aquíferos em bacias adjacentes.

Apesar da distribuição da água subterrânea se dar pelos aquíferos, que são definidos e limitados pela sua caracterização geológica, a bacia hidrográfica pode ser considerada também como uma unidade territorial natural para a gestão da água subterrânea tanto quanto da água superficial, estabelecendo os limites técnicos de ocorrência dos aquíferos na região e a base física para o planejamento e a administração da água subterrânea.

Com uma exploração atual devendo atingir cerca de 2,5 m³/s nas duas bacias, a água subterrânea adquire uma importância considerável e não deveria ser tão ignorada. Afinal, responde pelo abastecimento público total ou parcial de água de diversas cidades e localidades. Abastece comunidades e propriedades rurais da região, além de atender praticamente toda indústria localizada ao longo dos eixos rodoviários e nas periferias de cidades, onde não são alcançadas por rede pública de abastecimento.

Pode-se considerar ainda a água subterrânea como integrante do sistema de abastecimento de água de praticamente todas as grandes e médias cidades da região, na medida em que constitui um manancial de atendimento, em caráter suplementar ou alternativo, para inúmeros empreendimentos como indústrias, hospitais, escolas, clubes esportivos e recreativos, centros comerciais, restaurantes, postos de serviço, garagens, condomínios e mesmo residências, localizados nessas cidades e servidos também pela rede pública de distribuição de água.

2 - OBJETIVO E METODOLOGIA

2.1 - Objetivo do Estudo

É nosso desejo contribuir na luta imposta pelo desafio de legar aos que irão nos suceder, essa importante questão dos recursos hídricos nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari nos moldes de um problema não de todo resolvido mas perfeitamente equacionado e controlado, tornando sua administração mais objetiva e eficaz na busca das melhores soluções parciais da questão.

É esse o objetivo primordial deste trabalho ao atualizar e suplementar o conhecimento, a nível regional, das condições de ocorrência da água subterrânea nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari, dentro das limitações impostas principalmente pela falta generalizada de informações e dados hidrogeológicos regionais atualizados.

Assim, ao longo deste estudo, abordando o contexto dos recursos hídricos, vamos verificar e procurar estabelecer os limites e parâmetros, físicos e dinâmicos, que condicionam a ocorrência da água subterrânea nas áreas das bacias dos rios Piracicaba e Capivari, proporcionando aos administradores e usuários dos recursos hídricos, de forma objetiva na sua caracterização geral, as estimativas numéricas sobre o quanto de água temos ao todo, o quanto e onde esse recurso está disponível, o quanto já vem sendo usado e as perspectivas de aproveitamento da água subterrânea na região.

Dentro desse escopo, procuramos apresentar também, de maneira prática e acessível, uma síntese parcial das informações sobre as condições de ocorrência da água subterrânea nas duas bacias, que foram consubstanciadas e mostradas de forma visual no Mapa I, anexo, denominado "Mapa de Aquíferos", elaborado por este autor na escala 1:250.000 a partir de mapas geológicos regionais existentes.

2.2 - Metodologia do Estudo

A metodologia básica deste estudo está fundamentada na revisão e avaliação de dados hidrológicos, geológicos e hidrogeológicos, nas informações cadastrais sobre poços tubulares, nas informações sobre os consumos e demandas de água estabelecidas para os diferentes usos na região e no balanço hídrico das bacias, levantados, elaborados e divulgados em estudos anteriormente desenvolvidos para a região. Esses dados e informações foram tratados e interpretados conforme métodos determinados e técnicas experimentadas em trabalhos tradicionais sobre recursos hídricos, obedecendo critérios e conceitos pessoais deste autor, que estão apresentados e discutidos nos capítulos pertinentes.

Para a estimativa da utilização atual de água subterrânea nas bacias, a falta de dados atualizados sobre o número de poços existentes e poços em atividade, além da quantidade, a nosso ver insuficiente, de medições mais precisas sobre as condições operacionais desses poços, exigiu a inferência de alguns valores que proporcionaram a consecução do valor apresentado. Neste caso, cabe ressaltar a opção pelos valores médios, a princípio mais seguros apesar de mais modestos, conforme sentimento deste autor.

3 - REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A região, principalmente a bacia do rio Piracicaba, foi contemplada ao longo dos últimos 27 anos com diversos estudos, diagnósticos e planos diretores com vistas a caracterização e ao planejamento do uso de seus recursos hídricos e do saneamento básico da região. Com as excessões que vamos comentar, todos os "principais" planos elaborados simplesmente ignoram a água subterrânea e referen-se a "recursos hídricos" direta ou indiretamente, pela via do saneamento. Na realidade tratam exclusivamente do recurso hídrico superficial. Não se considere aqui uma observação corporativa, procurando atribuir importância maior a parcela do recurso hídrico que se encontra nos aquíferos e responde de maneira menos significativa pelo atendimento das demandas de água nas duas bacias. Pelo contrário, é a constatação de um descaso relativo a água subterrânea, devido a ignorância, interesses diferenciados ou motivos outros, cujo enfoque foge ao escopo desta análise, de parte daqueles a quem coube, em diversas oportunidades anteriores, avaliar os recursos hídricos de modo geral e formular planos para seu aproveitamento na região.

Os destaques se iniciam pelo plano denominado " Desenvolvimento Global dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tiete e Cubatão", conhecido como "Plano Hibrace", contratado pelo governo estadual através do DAEE e desenvolvido, entre 1966 e 1968, pelo consórcio formado pelas empresas Hidroservice, Brasconsult e Cesa (Planidro). Por certo, no "global" embutiram a bacia do Piracicaba e, sob a denominação de "Sub-sistema Juqueri", estabeleceu-se a reversão de "até 30 m³/s para o abastecimento de São Paulo", que tanta polêmica técnica e política vem gerando na região, fixando as vazões mínimas a juzante das barragens dos rios Atibaia e Jaguari e os 15 e 40 m³/s nas seções críticas de Paulínia e Piracicaba respectivamente. Este plano tratou de forma pioneira o uso múltiplo dos recursos hídricos e delineou todo o conjunto de obras necessárias principalmente ao saneamento básico e controle de cheias da região metropolitana de São Paulo e constituiu a diretriz básica das ações governamentais no setor até recentemente.

Seguem-se em 1966, o estudo "Planejamento Geral da Bacia do Rio Piracicaba", contratado pelo DAEE junto a Pacific Consultants do Brasil Ltda., onde são abordadas, além de outros aspectos sócio-econômicos setoriais, as condições sanitárias e características hidrológicas regionais com vistas ao abastecimento de água das áreas urbanas e diluição dos esgotos da bacia.

Em 1969, o DAEE e a CPP - Comissão Permanente de Planejamento elaboraram, a partir de dados do próprio DAEE, da CESP, DNAEE e CPFL, o "Relatório das Disponibilidades Hídricas de Superfície", utilizado para estudos de planejamento de recursos hídricos da bacia do rio Piracicaba.

Em 1971, contratada pela COMASP, a CNEC - Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S/A elaborou o "Relatório FP-03/03 - Operação do Sistema Cantareira", abordando as vazões de juzante do Sistema Cantareira na bacia do Piracicaba com vistas ao controle da

poluição na bacia.

Entre 1972 e 1978, o DAEE elaborou um conjunto de estudos denominado "Aproveitamento dos Recursos Hídricos das bacias dos rios Mogi-Guaçu e Piracicaba", conforme preconizava o Plano Hibrace, onde são avaliadas a alternativa de aproveitamento de água proveniente da bacia do rio Mogi-Guaçu na região da bacia do Piracicaba, além de alternativas de obras para regularização de vazão nos rios Camanducaia, Atibaia e Jaguari.

Em 1978, a SABESP contratou o "Plano Diretor de Saneamento Básico para a Região do Médio Tiete Superior", elaborado pela CNEC e abordando o planejamento dos sistemas de abastecimento de água e dos esgotos sanitários para as cidades da região e determinando a necessidade de regularização das vazões nos principais rios da bacia.

Em 1978, a Secretaria de Economia e Planejamento contratou o "Plano Regional de Campinas", desenvolvido pela firma Hidrobrasileira S/A para atender aos objetivos do PDUR - Política de Desenvolvimento Urbano e Regional, criada pelo Conselho do Governo em Janeiro de 1976, e que ao apresentar uma caracterização global da região, abrangendo 83 municípios e incluindo as bacias do Piracicaba e Capivari, desenvolve cenários alternativos e propõe diretrizes para seu desenvolvimento.

Em 1982, atendendo sua contratação pelo DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, a CNEC elaborou o "Planejamento da Utilização dos Recursos Hídricos da Bacia do Jaguari - Piracicaba", onde são propostas medidas para conciliar a disponibilidade hídrica com as demandas geradas pelo desenvolvimento sócio-econômico da região, garantindo a qualidade da água frente a caracterização das atividades poluidoras urbana, industrial e agrícola.

Em 1983, a SABESP contratou a CNEC para a execução da "Atualização dos Estudos das Condições Sanitárias na Bacia do Rio Piracicaba", onde são reavaliadas as condições sanitárias da bacia através da aplicação do modelo de simulação Simox III, concluindo sobre as desvantagens resultantes da implantação de reservatórios de regularização quando comparada a alternativa de tratamento dos esgotos, tendo por objetivo a melhoria da qualidade da água.

Ainda em 1982/83, a mesma CNEC foi contratada pela CESP, DNAEE, ELETROPAULO e a própria SABESP para a execução do "Plano Sanesp - Plano Diretor de Utilização Integrada dos Recursos Hídricos na Região Metropolitana de São Paulo". Esse plano analisou toda a questão da utilização de recursos hídricos para abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo, considerando a interferência na bacia do Piracicaba e as mais variadas alternativas obras e regras operacionais visando a compatibilização do uso de suas águas pelas duas regiões.

Em 1984, o DAEE elaborou o estudo "Caracterização dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo", abrangendo as áreas críticas

constituídas pelas bacias dos rios Piracicaba e Capivari, onde são caracterizadas as condições dos recursos hídricos e o balanço entre as demandas e a disponibilidades hídricas nas bacias do Estado, de modo a subsidiar o estabelecimento de políticas de aproveitamento racional e preservação dos recursos hídricos. Este estudo considera a água subterrânea, avaliando o potencial e as características hidrogeológicas dos aquíferos que ocorrem nas várias bacias do Estado de São Paulo.

Ainda em 1984, contratada pelo DAEE, a Coplasa S/A Engenharia de Projetos elaborou o "Plano Global de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piracicaba", onde foram desenvolvidos, além de um modelo de simulação de operação do Sistema Cantareira juntamente com técnicos do próprio DAEE, estudos de caracterização sócio-econômica geral da região, prognósticos de demandas, vazões disponíveis e alternativas de utilização de recursos hídricos, cargas poluidoras dos efluentes e melhoria das condições sanitárias, plano de obras e os aspectos legais e institucionais para o gerenciamento dos recursos hídricos da bacia. Pela primeira vez, a água subterrânea é incluída no estudo de disponibilidade hídrica, limitada a reprodução de parte das conclusões contidas no "Estudo de Águas Subterrâneas da Região Administrativa no. 5 - Campinas" realizado pelo DAEE em 1980, como veremos adiante.

Dois anos após, em 1986, o DAEE contratou um outro "Plano Global de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piracicaba". Desta feita a Tecnosan Engenharia S/A foi incumbida de apresentar os mesmos estudos e alternativas de operação do Sistema Cantareira com vistas ao equacionamento do atendimento das demandas de água da bacia e da Região Metropolitana de São Paulo até o ano 2010, além da melhoria das condições sanitárias da bacia, garantindo a manutenção das vazões mínimas de 15 e 40 m³/s nas seções críticas de Paulínia e Piracicaba respectivamente.

Também em 1986, a CETESB elaborou um relatório síntese dos trabalhos desenvolvidos e resultados alcançados pela companhia em 1986, denominado "Ação Integrada de Controle da Poluição na Bacia do Rio Piracicaba - Relatório Anual de 1986", mostrando que apesar do processo de desenvolvimento industrial acelerado verificado na bacia, as ações de controle da poluição das águas, implementadas pela companhia junto as indústrias na região, provocaram uma redução notória da carga orgânica remanescente proveniente dos efluentes industriais lançados nos rios da bacia. Ao mesmo tempo, demonstra que os esgotos urbanos continuam sendo a principal fonte de poluição orgânica na bacia, com tendência a acentuar-se ao longo dos anos seguintes.

Em 1988, o DAEE elaborou o relatório "Bacia do Rio Piracicaba - Regularização de Vazões a Jusante do Sistema Cantareira", contendo uma consolidação de estudos anteriores desenvolvidos ou contratados pelos diversos órgãos envolvidos na questão, demonstrando a necessidade e os custos preliminares da implantação de barragens de regularização de vazão para os principais rios da bacia, visando aumentar a disponibilidade hídrica na bacia, bem como a implantação de unidades de tratamento de esgotos urbanos e a continuidade do

tratamento e controle dos efluentes industriais.

Nesse mesmo ano de 1988, o DAEE contratou a Sondotécnica S/A, que elabora um estudo preliminar denominado "Barragens de Regularização: Parte Fundamental na Solução dos Problemas Hídricos da Bacia do Rio Piracicaba", onde é efetuado um estudo de alternativas para a implantação de barragens de regularização nos rios Camanducaia, Jaguari e Atibaia, contendo uma análise da viabilidade técnica, social e econômica dessas alternativas.

Ainda em 1988, o CORHI - Comitê Coordenador do Plano e do Sistema Estadual de Recursos Hídricos atribui ao GTPI - Grupo Técnico da Bacia do Piracicaba, a incumbência de propor os programas prioritários para serem realizados na bacia do rio Piracicaba com objetivo de reverter as condições de acentuada degradação dos recursos hídricos na bacia.

Em 1989, a CPLA - Coordenadoria de Planejamento Ambiental, elaborou o estudo "Bacia do Rio Piracicaba - Diretrizes para Planejamento", onde apresenta uma análise crítica dos estudos elaborados anteriormente para a bacia e oferece uma proposta para desenvolvimento de um novo plano para a bacia, integrando as questões ambientais no planejamento do uso múltiplo dos recursos hídricos. Nesse aspecto a proposta destaca a inclusão do planejamento conjunto das atividades que direta ou indiretamente influem na disponibilidade, nas demandas e na deterioração dos recursos hídricos da bacia, com ênfase para a adoção de um redirecionamento do desenvolvimento industrial e agrícola da região e para o estabelecimento de uma política voltada para a recuperação e a proteção ambiental, formulada através de uma efetiva participação da comunidade, de modo a assegurar o cumprimento de seus anseios.

Em 1990, o CRH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos, criado em Novembro de 1987, elabora e apresenta o 1o. Plano Estadual de Recursos Hídricos, incluído na Lei de Diretrizes Orçamentárias, referendando e enfatizando os 10 programas propostos pelo GTPI ao CORHI em 1988.

Em 1992, o Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, em convênio estabelecido com o DAEE, contratou a empresa Jaakko Pöyry Engenharia Ltda. para a execução do "Plano Diretor para Captação e Produção de Água para Abastecimento dos Municípios Componentes das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari". O estudo apresenta um diagnóstico da situação atual quanto a disponibilidade dos recursos hídricos, considerados suficientes para o atendimento das demandas previstas até o ano 2005 admitidas as premissas adotadas pelo plano, e quanto as condições operacionais dos sistemas de abastecimento das cidades das duas bacias. São propostas a implantação de uma barragem de regularização no rio Jaguari em Morungaba e um controle severo dos desperdícios de água e de sua poluição pelos usuários.

O estudo mais recente foi contratado no final de 1993 pelo governo paulista através do DAEE e encontra-se em execução por um consórcio

de empresas denominado Hidroplan e constituído pelas firmas Coplasa, Etep, Figueiredo Ferraz, Hydroconsult e Maubertec. O "Plano Integrado de Aproveitamento dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê, Baixada Santista e Piracicaba" deverá ser um estudo bastante amplo e aprofundado na questão do planejamento do aproveitamento dos recursos hídricos nas regiões metropolitana de São Paulo, baixada santista e parte da bacia do médio Tietê que inclui as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, visando uma compatibilização entre as demandas conflitantes dos diversos usuários e as disponibilidades de água em toda essa região e em bacias adjacentes. Esse estudo inclui a água subterrânea em seus diagnóstico e prognóstico para toda a região abrangida pelo trabalho e deverá apresentar seus resultados até o final de 1994.

Quanto aos trabalhos realizados na região, que incluem a água subterrânea nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari como tema central ou em parte de seu conteúdo, o principal destaque cabe ao "Estudo de Águas Subterrâneas da Região Administrativa 5 - Campinas", realizado de forma pioneira pelo DAEE em 1980 / 81, com o apoio de consultoria técnica fornecida pela Tahal Consulting Engineers Ltd. (de Israel), através da Enco - Engenharia, Consultoria e Planejamento Ltda. Embora o título do estudo refira-se apenas a "água subterrânea", o trabalho trata também dos recursos hídricos superficiais e do planejamento do aproveitamento das disponibilidades hídricas confrontadas com as demandas de água de então e as previstas até o ano 2000.

Este trabalho precursor, cuja parcela do estudo referente a água subterrânea foi coordenada por este autor, caracterizou as condições de ocorrência dos principais aquíferos que ocorrem na região administrativa de Campinas e engloba quase que totalmente a área das bacias dos rios Piracicaba e Capivari. Na ocasião foram cadastrados 1.918 poços tubulares através do levantamento dos poços perfurados na região junto as companhias de perfuração, seguido por um minucioso cadastramento dos poços no campo. Esses dados, que embasam boa parte deste trabalho atual, permitiram uma avaliação bastante aproximada da real situação do aproveitamento da água subterrânea na época, assim como das características dos poços e dos aquíferos. Entretanto, a caracterização dos aquíferos como mananciais desfavoráveis a sua utilização em larga escala, os volumes explorados pouco significativos quando comparados aos volumes de recurso hídrico superficial utilizados e aos totais dos consumos e das demandas de água previstas na região para as diversas finalidades de uso, levaram à avaliação quantitativa e apresentação da disponibilidade de água subterrânea na região de uma forma pouco clara e não satisfatória, em nosso modo atual de entender a questão. Diga-se a propósito que, de maneira geral, a estimativa quantitativa indefinida tem sido uma característica comum nos estudos hidrogeológicos e de recursos hídricos, não somente do DAEE, que se propõem a avaliar as condições de ocorrência de água subterrânea com vistas ao seu aproveitamento nas mais variadas escalas.

Anteriormente, em 1977, a CETESB com apoio da Tahal / Enco elaborou um diagnóstico a nível estadual, denominado "Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo", onde a qualidade natural das águas subterrâneas, as principais fontes potenciais de poluição, os

mecanismos de transferência da poluição e as características de auto-depuração dos solos foram avaliadas em escala de reconhecimento, estabelecendo áreas e formas de poluição potencial e identificando áreas críticas para execução de estudos específicos com vistas a proteção dos aquíferos.

No período de 1984 a 1987, a FAPESP - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo em convênio com o DAEE, propiciou o desenvolvimento da "Ação Programada em Águas Subterrâneas", um plano de pesquisas interdisciplinares na área de Hidrogeologia em áreas piloto selecionadas no Estado de São Paulo. O grupamento de Rio Claro, formado por pesquisadores da Unesp, desenvolveu o projeto denominado "Estudo Hidrogeológico do Grupo Tubarão na Bacia do Rio Capivari" que, em síntese, apresentou como resultados mais expressivos os dois trabalhos seguintes:

Em 1986, a tese de doutoramento "Estudos Geofísicos Integrados a Geologia da Bacia do Baixo Capivari (Sub-grupo Itararé e Intrusivas Associadas)" elaborada pelo Prof. Sérgio Maniakas, onde o autor apresentou os resultados de estudos geofísicos e geológicos de superfície e subsuperfície realizados com objetivos de avaliar tal metodologia para prospecção de água subterrânea em rochas sedimentares da Formação Itararé, associadas a rochas magmáticas intrusivas básicas (Diabásio) que ocorrem numa área de 1560 km² da bacia do Baixo Capivari. As conclusões mostram que o emprego da geofísica (Eletrorresistividade), através da utilização de campanha de Sondagens Elétricas Verticais - SEV, contribui para a caracterização das litologias da Formação Itararé em subsuperfície, além de permitir auferir estimativas da transmissividade do aquífero a partir dos valores de resistência transversal obtidos nas sondagens elétricas realizadas durante as pesquisas de campo.

Também em 1986, a dissertação de mestrado "Mapeamento Faciológico do Subgrupo Itararé na Quadricula de Campinas - SP" elaborada pelo Prof. Edvard Elias de Souza Filho, na qual o autor propõe uma divisão para o Subgrupo Itararé em sete unidades lito-estratigráficas informais, relacionadas a seis sistemas deposicionais que se associam as facies litológicas diferenciadas pelo mapeamento faciológico.

Em 1987, o geól. Antônio Carlos Bertachini apresentou sua dissertação de mestrado intitulada "Estudo das Características Hidrogeológicas dos Terrenos Cristalinos sob Clima Úmido, na Região de Jundiaí - SP", mostrando os resultados da utilização de técnicas de análise hidrogeológica, hidroquímica, geoestrutural e morfológica para demonstrar a influência do espesso manto de alteração, gerado por influência das condições climáticas e verificado em rochas cristalinas da região, no comportamento hidrogeológico do aquífero Cristalino. As conclusões revelam que a zona de rocha alterada, além de influir na composição química da água subterrânea do aquífero, possui uma capacidade de armazenamento de água e transmissividade bem superiores a encontrada no meio fissurado da rocha cristalina sã, possibilitando ao aquífero Cristalino a acumulação de reservas renováveis de água bastante expressivas, da ordem de 200 mm/ano.

Em 1990, A dissertação de mestrado "Estudo Hidrogeológico do Subgrupo Itararé no Médio Rio Tiete, Município de Tiete - SP" elaborada pelo geól. Hélio Nobile Diniz, mostrou a caracterização hidrogeológica do aquífero Itararé na região do município de Tiete, as características do aproveitamento de água subterrânea na região e sua importância relacionada ao abastecimento de água de Tiete. O trabalho apresenta ainda uma estimativa do potencial de exploração do aquífero Itararé no município, a partir de dados do balanço hídrico elaborado pelo DAEE para as sub-bacias da região em 1982.

Em 1992, o IG - Instituto Geológico realizou o estudo "Subsídios do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Campinas - SP", encerrando o programa "Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região entre Sorocaba e Campinas" iniciado em 1990 no município de Sorocaba. Esse trabalho teve por objetivos subsidiar o planejamento municipal e seu plano diretor no que se refere ao planejamento do uso e ocupação do solo, trazendo informações sobre as características geológicas do meio físico, incluindo seus recursos minerais e, principalmente, os recursos hídricos subterrâneos, setor em que este autor colaborou ativamente como membro da equipe técnica do projeto. Como resultados foram apresentados o cadastramento e mapeamento atualizados dos poços tubulares perfurados no município, um diagnóstico da situação dos diversos usos da água subterrânea e os volumes de sua exploração, uma avaliação dos aquíferos quanto a vulnerabilidade natural à poluição e quanto a disponibilidade potencial de água para seu aproveitamento.

Atualmente, encontra-se em pleno desenvolvimento um outro estudo de caracterização do meio físico e geológico, executado pelo IG - Instituto Geológico, abrangendo 8 municípios da bacia do Piracicaba, em continuidade ao programa "Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Bacia do Piracicaba", nos moldes do trabalho desenvolvido para o município de Campinas e que no item de Hidrogeologia contempla a região com um conhecimento mais detalhado das condições de ocorrência de água subterrânea no aquífero Itararé e no aquífero Diabásio nos municípios de Hortolândia, Sumaré, Nova Odessa, Americana, Paulínia, Cosmópolis e Holambra, e no aquífero Cristalino no município de Jaguariúna. O escopo desse trabalho incluiu um cadastramento dos poços existentes nesses municípios, cujo resultado atualizado, ainda que parcial, foi utilizado neste estudo.

Finalmente, cabe ressaltar a existência de outros projetos, estudos, teses e trabalhos mais específicos e restritos, desenvolvidos ao longo dos últimos anos por instituições, empresas e individualmente na área de recursos hídricos e saneamento para a região e que, em função dos objetivos mais específicos desta dissertação referentes ao recurso hídrico subterrâneo, deixamos de avaliar e relacionar nesta oportunidade. Existem ainda, inúmeros trabalhos regionais e específicos da área de meio ambiente com interfaces pronunciadas em relação aos recursos hídricos e seu planejamento, cujo conhecimento é importante para estudos futuros de maior detalhe nas bacias do Piracicaba e Capivari.

4 - CARACTERÍSTICAS GEO-ECONOMICAS DAS BACIAS

4.1 - Caracterização física

4.1.1 - Localização:

As bacias dos rios Piracicaba e Capivari estão localizadas sobre terrenos do Planalto Atlântico e da Depressão Periférica, na região Centro-Leste do Estado de São Paulo, conforme mostra a Figura 4.1 e com cerca de 9% de seu território ocupando uma parte do extremo Sudoeste do Estado de Minas Gerais.

4.1.2 - Dimensões:

A bacia do rio Piracicaba ocupa uma superfície de 12.746 km², possuindo uma forma alongada, com uma largura aproximada de 50 km e com seu eixo longitudinal de aproximadamente 250 km posicionado na direção W-NW.

A bacia do rio Capivari tem 1.655 km² de superfície e também uma forma alongada, com largura de cerca de 20 km e com seu eixo principal de aproximadamente 80 km paralelo ao da bacia do Piracicaba, limítrofe do Norte.

As duas bacias possuem uma área total da ordem de 14.400 km².

4.1.3 - Hidrografia básica:

O rio Piracicaba, que tem como afluente no seu trecho médio o rio Corumbataí, é formado pela confluência dos rios Jaguari, que recebe o rio Camanducaia, e Atibaia, que recebe o rio Cachoeira.

O rio Capivari tem como afluentes o rio Capivari Mirim e o ribeirão Piçarrão.

A Figura 5.1 mostra, além das isoietas, a rede principal de drenagem das duas bacias.

4.1.4 - Clima:

O clima predominante nas bacias é sub-tropical muito úmido na área das cabeceiras dos rios Camanducaia, Jaguari e Atibaia, passando a tropical úmido com estiagem nítida na maior parte de seu território. A pluviosidade média anual varia de 2.000 mm nas cabeceiras dos rios Camanducaia e Jaguari, bem junto ao limite Nordeste da área, atingindo pouco menos de 1.200 mm na porção Centro Sul da área.

4.2 - Caracterização geomorfológica

A Geomorfologia das bacias dos rios Piracicaba e Capivari é caracterizada por uma sucessão de regiões morfoestruturais com formas de relevo distintas e continuadas, que se entende pelo Planalto Atlântico desde a cota 1.800 metros, adentra a Depressão Periférica até a cota 450 metros e atinge as Cuestas Basálticas que formam o Planalto Ocidental.

A região das cabeceiras dos rios Camanducaia, Jaguari e Atibaia caracteriza-se por um relevo montanhoso, constituído por serras alongadas de topos angulosos com altas a médias declividades,

amplitudes acima de 300 metros e vales fechados.

Os trechos alto e médio desses rios e as cabeceiras do rio Capivari, ainda no domínio das rochas cristalinas, encontram-se numa região com um relevo de serras restritas, morros e morrotes, geralmente paralelos, de topos arredondados e médias a altas declividades, com vales fechados a abertos e planícies aluvionares interiores restritas e desenvolvidas.

Nos trechos baixos desses rios, já sob domínio das rochas sedimentares paleozóicas, juntamente com toda a extensão do rio Piracicaba e dos trechos médio e baixo do rio Corumbataí, o relevo apresenta-se colinoso, com baixas declividades e amplitudes abaixo de 100 metros. As colinas variam de média a ampla extensão, com topos extensos e aplainados, entremeadas por vales abertos com planícies aluvionares restritas, interflúvios de 1 a mais de 5 km² e drenagem de baixa densidade com padrão sub-dendrítico a sub-retangular.

As cabeceiras do rio Corumbataí e de seus afluentes da margem Oeste estão localizadas junto aos limites Norte e Noroeste da bacia do rio Piracicaba, numa região característica de relevo de transição, constituído pelas escarpas festonadas, encostas com cânions locais, mesas basálticas e sedimentares com alta declividade e amplitudes maiores que 100 metros, e com drenagem de média densidade.

4.3 - Caracterização sócio-econômica

4.3.1 - Divisão territorial:

O território compreendido pelas bacias dos rios Piracicaba e Capivari está subdividido em 55 municípios com sedes localizadas na área das bacias. A esse número somam-se outros três municípios limítrofes que se utilizam das águas das bacias, perfazendo um total de 58 municípios onde estão situadas 81 localidades dependentes das águas superficiais e subterrâneas das bacias para seu abastecimento. Desses 58 municípios, 5 estão situados no Estado de Minas Gerais, conforme mostra a Figura 4.2.

4.3.2 - População:

A área das bacias dos rios Piracicaba e Capivari abriga uma população fixa atual (1993) da ordem de três milhões e cem mil habitantes, conforme dados projetados a partir do censo do IBGE realizado em 1991. Considerando a população dos municípios limítrofes, usuária das águas das bacias, o número chega próximo de 3,6 milhões de pessoas.

Cerca de 80% da população vive nas áreas urbanas dessa região, caracterizada pelo seu grande desenvolvimento econômico e um padrão sócio-econômico bem acima da média da população brasileira e superior ao de vários países europeus.

4.3.3 - Atividade industrial na área das bacias:

A região central das bacias dos rios Piracicaba e Capivari abriga nessa porção do seu território o terceiro maior parque industrial do país, com indústrias de todo porte instaladas próximo aos grandes

centros urbanos e, principalmente, ao longo da densa malha rodoviária que cobre toda a região. Essas indústrias desenvolvem suas atividades destacadamente no setor petroquímico, metalúrgico, têxtil e eletro-eletrônico, além das grandes usinas de açúcar e álcool espalhadas por toda a metade Oeste da área, região sob domínio de ocorrência das rochas sedimentares da Bacia Geológica do Paraná.

4.3.4 - Atividade agrícola na área das bacias:

A agricultura é a principal atividade do setor primário na área das bacias, estendendo-se por cerca de 420.000 hectares e tendo na cana de açúcar o principal produto plantado na região. Atualmente, estima-se que em cerca de 19.000 hectares, correspondentes a 4,5% de toda a área cultivada, desenvolvam-se processos de irrigação.

4.4 - Situação atual

Um dos grandes problemas do comprometimento quantitativo e qualitativo da água superficial na região tem como causa a reversão de 31 m³/s das águas represadas nas cabeceiras dos rios Jaguari, Atibaia e Cachoeira para o abastecimento da região metropolitana de São Paulo através do sistema Cantareira.

A vocação desenvolvimentista da região impõe uma tendência marcante de evolução das demandas de água para uso sanitário, industrial e agrícola, ao mesmo tempo em que geram esgotos urbanos, despejados sem qualquer tratamento na drenagem das bacias e efluentes industriais, lançados com um nível de tratamento que remove cerca de 80% de DBO, porém ainda restando um saldo remanescente equivalente a mesma carga de poluição causada pelos esgotos urbanos.

Desse modo, durante os períodos de estiagem pronunciada, a queda significativa da vazão dos rios mostra uma deterioração das águas a tal nível que compromete, chegando a paralisar, a captação e o tratamento de água de diversas cidades situadas mais a jusante nas bacias.

Outro problema sério verificado atualmente na região, com implicações potenciais diretas no comprometimento da qualidade da água subterrânea, refere-se a destinação final de resíduos sólidos domésticos e industriais, que permanecem sendo depositados e acumulados em locais geralmente impróprios e sem o devido monitoramento das alterações ambientais resultantes.

A questão do comprometimento visível da qualidade dos recursos hídricos superficiais vem se constituindo num dos fatores que tem levado várias municipalidades, prefeituras e serviços de abastecimento público ao interesse maior e a uma procura crescente pelo manancial de água subterrânea como alternativa de abastecimento para a população. Atualmente, chega a cerca de 15 o número de localidades abastecidas através de poços tubulares, incluindo algumas cidades de pequeno porte. Outras 12 cidades atendem entre 10 e 30% de seu consumo com água subterrânea e, se considerarmos os usos para consumo urbano menos significativos, abaixo de 10%, vamos incluir mais de 50% das cidades localizadas nas duas bacias como usuárias do recurso hídrico subterrâneo.

4.5 - Demandas de água

A utilização atual e a demanda de água verificadas nas bacias para os três principais tipos de utilização foram extraídas do último estudo, denominado "Plano Diretor de Captação e Produção de Água para Abastecimento Público nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari", realizado na região em 1992, pela Jaakko Poyry Engenharia Ltda., contratada pelo convênio firmado entre o DAEE e o Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari. Esse estudo desenvolveu avaliações específicas dos consumos de água para abastecimento público, para uso industrial e para irrigação, estabelecendo as projeções de evolução dessas demandas através de estudos demográficos e de crescimento econômico, cujos resultados são mostrados na Tabela 4.1, a seguir:

Tabela 4.1 - Consumo e Demanda de Água nas Bacias

A - Consumo de água atual verificado: (em m³/s) (ano de referência)

finalidade:	captação	devolução	uso consuntivo
Abastecimento público	13,5	10,8	2,7 (1991)
Uso industrial	14,7	12,0	2,7 (1991)
Irrigação	5,3	-	5,3 (1990)
<u>Total</u>	<u>33,5</u>	<u>22,8</u>	<u>10,7</u>

B - Demandas de água para o ano de 1995: (em m³/s)

finalidade:	captação	devolução	uso consuntivo
Abastecimento público	14,6	11,7	2,9
Uso industrial	15,7	12,6	3,1
Irrigação	6,8	-	6,8
<u>Total</u>	<u>37,1</u>	<u>24,3</u>	<u>12,8</u>

Observações:

- 1) Como devolução entenda-se a vazão proveniente de esgotos urbanos e efluentes industriais lançados na drenagem das bacias.
- 2) As demandas para abastecimento público incluem municípios vizinhos como Jundiaí, por exemplo.

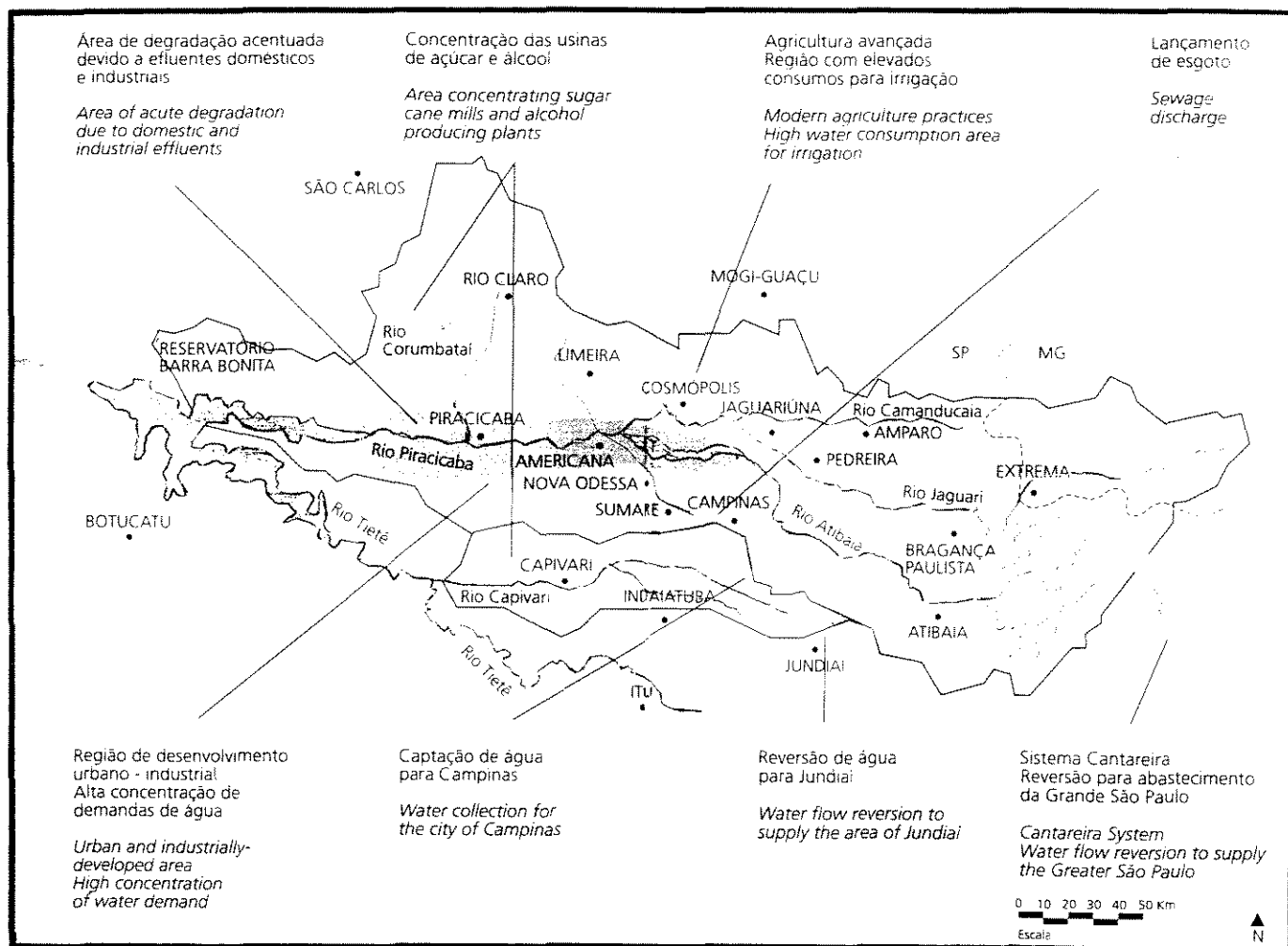
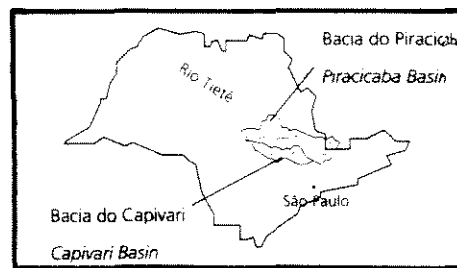
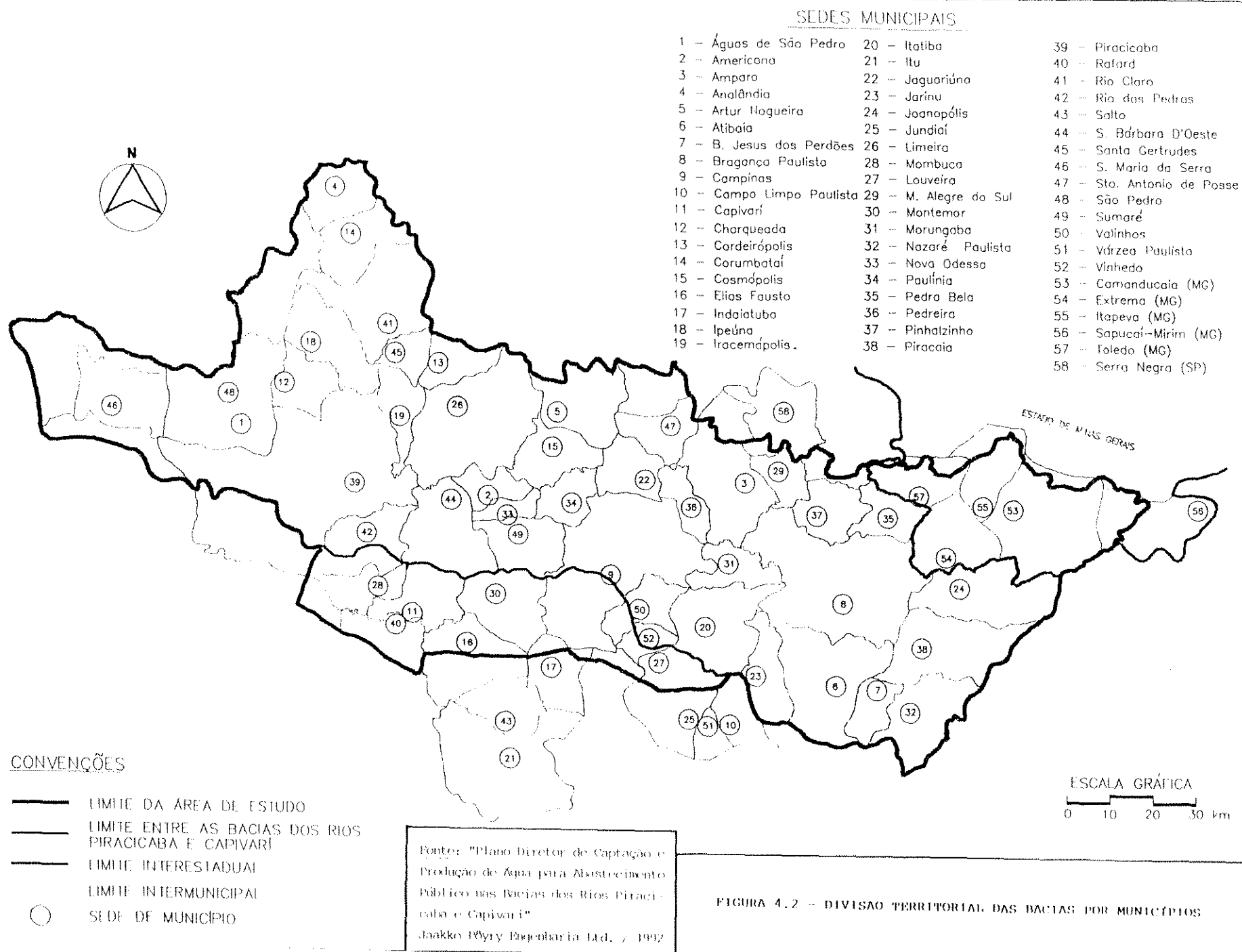


FIGURA 4.1 - LOCALIZAÇÃO DAS BACIAS



5 - RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIAIS

A título de complementar este trabalho com uma visão global dos recursos hídricos das duas bacias, apresentamos neste capítulo uma síntese da disponibilidade de água superficial nas principais sub-bacias que compõem as bacias dos rios Piracicaba e Capivari.

Na Tabela 5.1 estão apresentadas as vazões naturais nas principais sub-bacias e nas duas bacias, mostrando os valores da área de drenagem da bacia, a precipitação média anual na bacia o deflúvio médio anual de longo período e a vazão mínima.

A vazão mínima, considerada para uma duração de sete dias consecutivos e período de recorrência de dez anos, $Q(7/10)$, é utilizada regularmente como indicador da disponibilidade hídrica superficial natural no curso d'água da bacia na seção considerada.

Através do mapa de isoietas da Figura 5.1 e do mapa de regionalização de vazões da Figura 5.2, é possível obter-se uma estimativa das vazões média e mínima para qualquer sub-bacia da região, utilizando as equações:

- para a vazão média (em l/s): $Q(M) = A \cdot \bar{q}(m)$ onde:

A = superfície de drenagem da sub-bacia considerada (em km²);

$\bar{q}(m)$ = vazão específica média plurianual = $(0,0278 \cdot P) - 26,23$
(em l/s/km²); e

P = precipitação (em mm);

- para a vazão mínima de 7 dias consecutivos e período de retorno de 10 anos (em l/s):

$Q(7/10) = A \cdot q(7/10)$ onde:

A = superfície de drenagem da sub-bacia considerada (em km²);

$q(7/10)$ = vazão específica mínima média de 7 dias e período de retorno de 10 anos = $K \cdot \bar{q}(m)$ (em l/s/km²); e

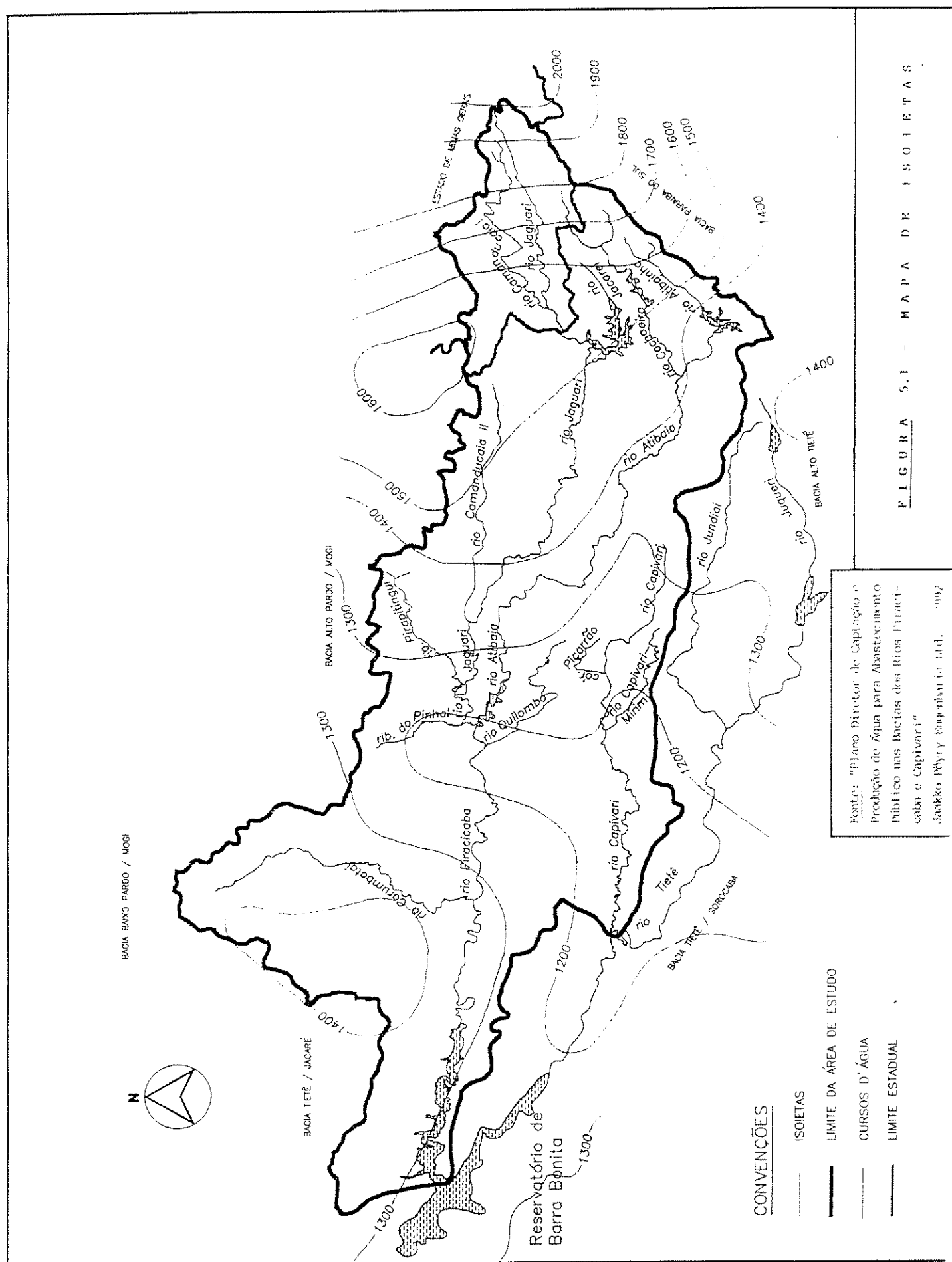
K = índice regional que varia entre 0,210 e 0,288, em função da localização da sub-bacia, conforme mostrado no mapa de regionalização de vazões da Figura 5.2.

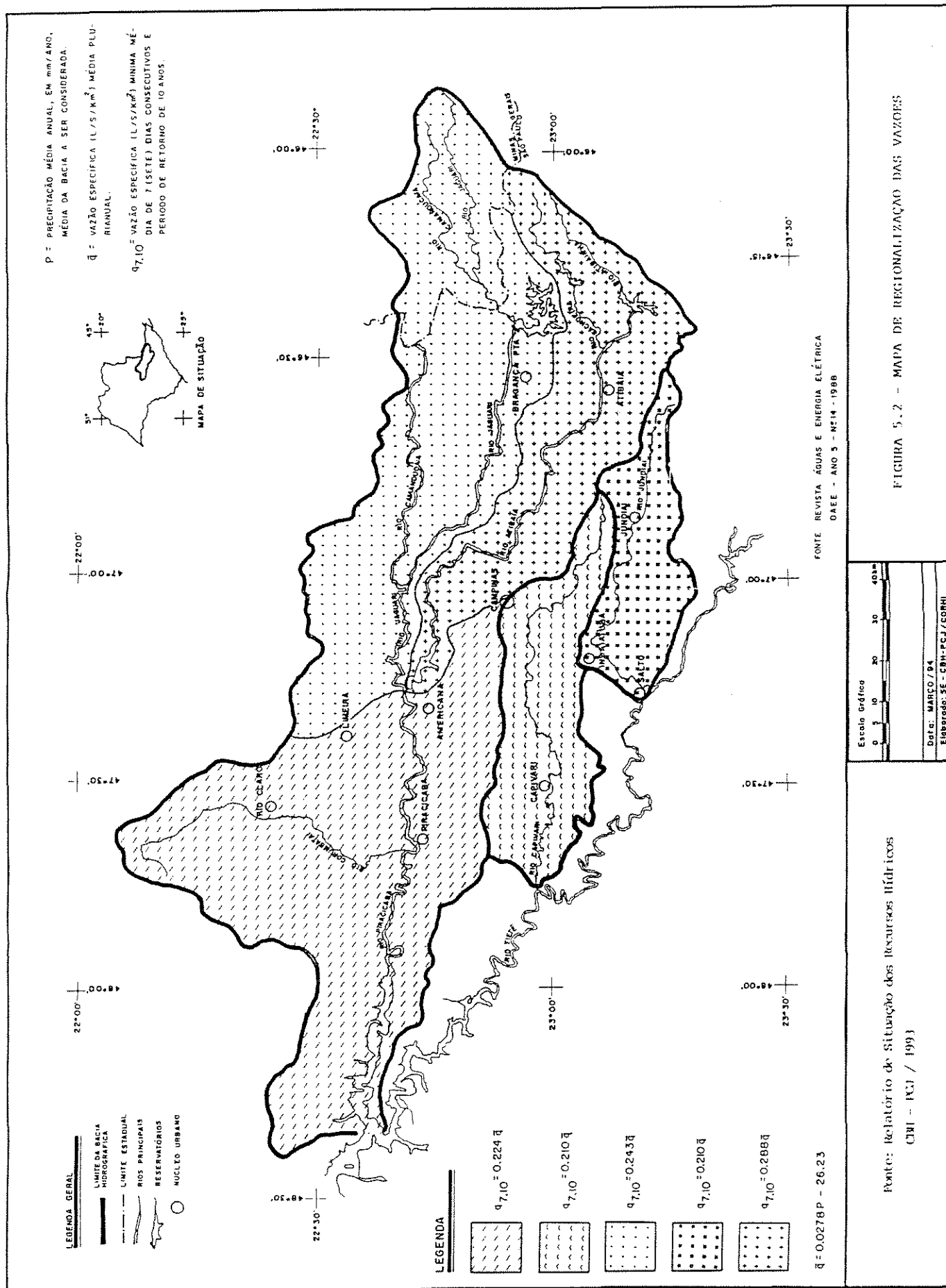
Cabe salientar que as informações e valores acima foram extraídas do "Relatório de Situação dos Recursos Hídricos", do CBH-PCJ (Comitê das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí), de Abril de 1994, e obtidas a partir do "Estudo de Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo", desenvolvido no DAEE pelos técnicos Liazzi, A., Conejo, J.G.L., Falos, J.C.F. e Cintra, P.S., e publicado na Revista "Águas e Energia Elétrica" - Ano 5, No. 14, em 1988.

Tabela 5.1 - Vazões Naturais nas Principais Sub-bacias

Sub-bacia	Area de Drenagem (km ²)	Precipitação (mm)	Deflúvio Médio 6 Anual 10 m ³ /ano	(mm)	Vazão 6 10 m ³ /ano	Mínima (mm)	m ³ /s
Camanducaia	1.033	1.493	498,07	482	120,90	117	3,8
Jaguari	4.315	1.497	2.093,56	485	508,67	118	16,1
Atibaia	2.822	1.440	1.228,94	435	353,74	125	11,2
Corumbataí	1.691	1.396	671,04	397	150,14	89	4,8
Piracicaba (total)	12.746	1.414	5.257,31	412	1.314,29	103	41,7
Capivari (até M.Mór)	752	1.250	202,05	268	42,42	56	1,3
Capivari (total)	1.655	1.201	373,43	226	78,37	47	2,5
Total nas duas bacias	14.401	1.390	5.630,74	391	1.409,02	98	44,7

Observação: Tabela elaborada com base na Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo, desenvolvida pelo DAEE em 1988.





Ponte: Relatório de Situação dos Recursos Hídricos
(CBI - PCJ / 1993)

6 - ASPECTOS GEOLOGICOS DAS BACIAS

Neste capítulo é apresentada uma síntese da caracterização lito-estratigráfica da região como suporte ao entendimento do arcabouço físico dos sistemas aquíferos que ocorrem nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari.

A região engloba desde rochas cristalinas, ígneas e metamórficas, do embasamento pré-cambriano constituinte da Plataforma Sul-Americana, até rochas sedimentares das sequências paleozóica e mesozóica da Bacia Sedimentar do Paraná, além de rochas básicas intrusivas, extrusivas e sedimentos cenozóicos.

As principais unidades são tratadas pelo seu caráter lito-estratigráfico a partir do embasamento pré-cambriano. A distribuição dessas unidades na área das bacias pode ser visualizada no Mapa I.

6.1 - Embasamento Cristalino

As rochas cristalinas estão subdivididas em blocos justapostos em consequência da intensa movimentação tectônica e dos eventos regionais de formação, metamorfismo, deformação, remobilização, intrusão e extrusão de rochas, que são denominados grupos, suites e complexos, e correspondem as associações de rochas de uma ou mais classes petrográficas correlacionáveis aos mesmos eventos. As diversas associações de rochas e a nomenclatura utilizada na denominação das unidades não encontra uniformidade entre os pesquisadores e os mapeamentos regionais que cobrem a região a nível de reconhecimento e, portanto, a classificação adotada neste estudo está sujeita a controvérsia.

6.1.1 - Complexo Itapira

O Complexo Itapira é o bloco com maior extensão de ocorrência em toda a área de afloramento das rochas cristalinas nas duas bacias. O limite Oeste é determinado pela borda da Bacia do Paraná, onde passa a ser recoberto pelos sedimentos da Formação Itararé e, em certas áreas restritas, encontra-se em contato com o diabásio intrusivo. Ao Sul e Sudeste o limite com o Grupo São Roque é estabelecido pela Falha de Jundiuvira e para Leste o Complexo Itapira encontra-se compartimentado em dois blocos, intercalados pelo Complexo Pinhal, sendo que o bloco mais a Leste, na região das cabeceiras dos rios Atibaia, Jaguari e Camanducaia, corresponderia ao denominado Complexo Paraisópolis.

A litologia é composta por granulitos diversos, migmatitos de anatexia, granito-gnaisses, gnaisses embrechíticos e rochas metadioríticas e metabasíticas.

6.1.2 - Complexo Amparo

O Complexo Amparo ocorre ao Norte Noroeste da área de domínio das rochas cristalinas, limitando-se a Leste com o Complexo Itapira através da Falha de Monte Sião. A litologia é composta por paragneisses, gnaisses e granulitos com grau variável de migmatização, associados a migmatitos de estruturas diversas com intercalações de quartizitos, xistos diversos, anfibolitos e gonditos.

6.1.3 - Complexo Pinhal

Também denominado Complexo Socorro, o Complexo Pinhal ocorre na porção Centro Norte da área de afloramento das rochas cristalinas, tendo seus limites com o Complexo Itapira, a Oeste, determinado pela Falha de Socorro e, a Leste, determinado pela Falha de Camanducaia. A litologia é composta por migmatitos, granulitos, granitos e granitóides.

6.1.4 - Complexo Embu

O Complexo Embu tem ocorrência restrita a região das cabeceiras do rio Atibaia, no extremo Sudeste da área. Sua litologia é composta por migmatitos.

6.1.5 - Grupo São Roque

Da mesma forma que o Complexo Embu, o Grupo São Roque ocorre na mesma região, no Sudeste da área, numa extensão bastante restrita e com uma litologia composta por filitos, quartzo xistos e quartzitos.

6.1.6 - Suites Graníticas

Os corpos de granitóides e granitos de tipos petrográficos diversos, ocorrem de forma disseminada por toda a porção Centro Sul da área de domínio das rochas cristalinas, com destaque maior para o Granito Morumgaba, que ocupa uma área com extensão mais expressiva, limitada a Norte pelo Complexo Amparo e encaixado em meio aos gnaisses e migmatitos do Complexo Itapira. Cabe destacar também o Granito Atibaia, que ocorre ao Sul da região, e o Granito Itu, que ocorre ao Sul da bacia do Capivari, junto aos sedimentos da Formação Itararé na borda da Bacia Sedimentar do Paraná.

6.1.7 - Aspectos Estruturais

A região de domínio das rochas cristalinas pré-cambrianas encontra-se afetada por intenso tectonismo, marcado por extensos falhamentos do tipo transcorrente e inverso, responsáveis pela compartimentação em pequenos e grandes blocos tectônicos. A maioria das estruturas estão direcionadas para Nordeste, destacando-se as Falhas de Valinhos, Monte Alegre, Monte Sião, Socorro, Camanducaia e Jundiuvira, que limitam as principais unidades lito-estratigráficas tratadas anteriormente. O bandamento gnáissico e a xistosidade exibem direção preferencial Norte Nordeste. Essa estruturação pré-cambriana sofreu reativações e a compartimentação original se encontra bastante afetada por deformações rúpteis.



6.2 - Bacia Sedimentar do Paraná

Pouco mais da metade da área das bacias do Piracicaba e Capivari é constituída pela Bacia Sedimentar do Paraná, que se instalou sobre as rochas cristalinas do embasamento a partir do Devoniano. Suas várias Formações estão posicionadas na forma de um amplo homoclinal com um mergulho suave na direção Oeste Noroeste.

A estratigrafia encontrada nas bacias, particularmente na do Piracicaba, contempla toda a sequência sedimentar, as lavas basálticas e intrusões de diabásio observadas no flanco paulista da Bacia Sedimentar do Paraná, desde o Paleozóico, com os Grupos Tubarão e Passa Dois, até o final do Mesozóico, com os Grupos São Bento e Bauru. A descrição sumarizada é restrita as unidades que ocorrem na área das duas bacias hidrográficas.

6.2.1 - Grupo Tubarão

A denominação Tubarão foi introduzida por White em 1908, servindo para designar o pacote sedimentar glacial e pós-glacial do Carbonífero Superior a Permiano Médio. No Estado de São Paulo e, particularmente, na área das bacias dos rios Piracicaba e Capivari não há elementos convincentes que justifiquem sua divisão além das Formações Itararé, Aquidauana e Tatuí.

6.2.1.1 - Formação Itararé

Os sedimentos da Formação Itararé, considerada por alguns autores como Sub-grupo Itararé, iniciam a coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar na região recobrando, através de inconformidade, as rochas do embasamento cristalino.

Uma complexa associação de litofácies, que de forma descontínua se sucedem vertical e horizontalmente, dificulta sobremaneira as várias iniciativas até então havidas de subdividir o Itararé. Essa variação acentuada de litofácies se deve a sucessivas variações, no tempo e no espaço, de ambientes glaciais, fluviais, lacustres, deltáicos, praianos e até marinhos, com predominância marcante de um ambiente glacial mais prolongado.

Por conseguinte, a litologia da Formação Itararé, constituída quase que inteiramente de sedimentos clásticos, mostra, desde o contato com o embasamento até quase seu topo, uma composição bem variada, notando-se os diamictitos com matriz argilosa e maciços, de coloração cinza a avermelhada, arenitos finos a grosseiros com matriz lamítica, variando de camadas delgadas a espessos bancos maciços ou com estratificação cruzada a plano-paralela, lamitos estratificados, ritmitos, siltitos cinza claro, folhelhos cinza escuro, conglomerados e argilitos.

Na porção superior da Formação Itararé, próximo ao contato com a Formação Tatuí e de forma não generalizada, é possível notar uma predominância dos arenitos sobre os demais tipos litológicos, fato que levou alguns autores a atribuírem o caráter de formação para essas camadas, divisão esta ainda não aceita pela maioria dos estudiosos do Itararé.

A espessura máxima da Formação Itararé na área das bacias do Piracicaba e Capivari deve chegar a 1.100 metros nas regiões situadas próximas ao contato com a Formação Tatuí.

6.2.1.2 - Formação Tatuí

A Formação Tatuí completa o Grupo Tubarão, na sua fase pós glacial, em sua área de ocorrência nas bacias do Piracicaba e Capivari. Sua porção inferior é constituída predominantemente por siltitos de coloração marrom arroxeada a cinza esbranquiçado e finamente laminados, apresentando algumas intercalações de arenitos finos com estratificação plano-paralela e a presença de nódulos de sílex. Na porção superior, de espessura equivalente a inferior, permanecem os siltitos, porém com uma coloração cinza esverdeado a amarelado e apresentando intercalações de arenitos finos maciços e arenitos finos a grosseiros com estratificação cruzada de tipo acanalado, além da presença de concreções calcárias. A espessura máxima da Formação Tatuí na área das bacias não deve ultrapassar os 100 metros.

6.2.2 - Grupo Passa Dois

O grupo Passa Dois é constituído por sedimentos terrígenos, do tipo folhelhos, siltitos, lamitos, folhelhos, calcários biocodriticos e arenitos finos, que constituem o topo da sequência paleozóica da Bacia do Paraná. Encontram-se sobrepostos concordantemente aos sedimentos do Grupo Tubarão sendo, por sua vez, sobrepostos pelo Grupo São Bento através de uma discordância erosiva. O nome Passa Dois foi utilizado pela primeira vez também por White, em 1908.

6.2.2.1 - Formação Irati

A Formação Irati constitui a unidade inferior dos depósitos marinhos permianos do Grupo Passa Dois. Sua litologia é constituída por folhelhos pirobetuminosos, folhelhos pretos não betuminosos, dolomitizados, siltitos, folhelhos, camadas delgadas de arenitos finos a grosseiros e, ocasionalmente, camadas de conglomerados junto a base da formação. A espessura da Formação Irati na área das bacias é da ordem de 50 metros.

6.2.2.2 - Formação Corumbataí

A Formação Corumbataí está assentada de forma concordante sobre a Formação Irati e apresenta na sua porção inferior, uma litologia composta por siltitos, argilitos e folhelhos de coloração cinza a roxo acinzentado. Na parte superior os folhelhos adquirem uma coloração vermelha a roxo avermelhado, com intercalações de camadas delgadas de lamitos e arenitos finos, além de escassas lentes de calcários com até meio metro de espessura. A espessura da Formação Corumbataí pode chegar a 150 metros nas áreas de afloramento da bacia do Piracicaba, junto a zona de contato com a Formação Pirambóia.

6.2.3 - Grupo São Bento

O Grupo São Bento, designado por White como Série São Bento, em 1908, engloba o conjunto de arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu, recobertos pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, ambas do Mesozóico.

6.2.3.1 - Formação Pirambóia

Soares, em 1973, divide a Formação Pirambóia nos Membros Inferior e Superior. O primeiro, com cerca de 40 metros de espessura na região de afloramento, é constituído por arenitos de granulação muito fina a média, lamíticos, com estratificação cruzada do tipo acanalada de pequeno porte e estratificação plano-paralela, apresentando algumas intercalações de lamitos e siltitos vermelhos ou marrons.

O Membro Superior, que pode atingir cerca de 200 metros de espessura na região, caracteriza-se por apresentar duas fácies principais. Uma primeira, constituída por bancos de arenitos quartzosos a subarcosios, de granulação muito fina a média, seleção regular a boa, grãos arredondados, estratificação cruzada planar e acanalada de porte médio. E uma segunda, constituída por bancos de arenitos muito finos a finos, seleção pobre, lamíticos, intercalados com siltitos e lamitos arenosos laminados. Observam-se outras fácies menos comuns, constituídas por corpos lenticulares pouco espessos de arenitos com estratificação cruzada e micro-laminação cruzada, seleção regular e, ainda, por corpos de arenitos conglomeráticos com espessura de até 5 metros, estratificação cruzada acanalada e planar, pouca matriz, subarcosianos a arcossianos, que ocorrem no Membro Superior do Pirambóia, mais comumente na região de Analândia e São Pedro.

6.2.3.2 - Formação Botucatu

A Formação Botucatu representa o pacote de arenitos de origem eólica, depositados em ambiente desértico de aridez crescente que se prolongou até o período do vulcanismo basáltico.

Esses arenitos recobrem a Formação Pirambóia de forma concordante na área da bacia do Piracicaba e seu contato com o basalto sobreposto dá por interdigitação do arenito com os derrames.

A litologia da Formação Botucatu é constituída comumente por uma única fácies caracterizada por arenitos finos e arenitos variando de muito finos a médios, quartzosos, com pouca matriz siltica, estratificação cruzada em cunhas de grande porte, boa seleção de grãos bem arredondados e foscas, representando uma fácies dunar. Localmente, pode apresentar outras fácies caracterizadas por arenitos conglomeráticos a conglomerados, com pouca matriz, grãos subangulares a arredondados, subarcossiano e com estratificação cruzada acanalada, representando uma fácies torrencial, ou ainda, por lamitos maciços com grãos de areia dispersos e arenitos lamíticos intercalados, incluindo raros piroclastos, representando uma fácies lacustre.

A espessura da Formação Botucatu na região da bacia do Piracicaba é da ordem de 80 metros.

6.2.3.3 - Formação Serra Geral - Basaltos

A Formação Serra Geral compreende o conjunto de derrames de basalto toleítico que recobre os arenitos da Formação Botucatu. A rocha basalto apresenta uma coloração cinza escuro a negra e textura afanítica.

Os basaltos tem uma área de ocorrência restrita na bacia do Piracicaba, aflorando na parte superior das cuestas localizadas junto aos limites Oeste Noroeste da bacia hidrográfica, com uma espessura que não deve ultrapassar os 150 metros na região e são recobertos em discordância angular pelos sedimentos da Formação Itaqueri na área da bacia.

6.2.4 - Rochas Intrusivas básicas - Diabásio

Associados ao mesmo vulcanismo que deu origem aos basaltos da Formação Serra Geral, diversos corpos de rocha intrusiva básica constituída pelo diabásio ocorrem em toda a extensão da porção sedimentar das bacias dos rios Piracicaba e Capivari.

O diabásio encontra-se atravessando os sedimentos dos Grupos Tubarão, Passa Dois e São Bento na forma de sills, diques e corpos irregulares encaixados de forma concordante e discordante nas camadas sedimentares das diversas formações.

A espessura do diabásio na região varia de alguns centímetros a mais de 200 metros, dependendo da geometria da intrusão e, conforme temos observado através de perfis de poços tubulares, os contatos com a rocha encaixante são sub-verticais mesmo para corpos de diabásio que apresentam uma grande extensão lateral.

6.2.5 - Grupo Bauru

O Grupo Bauru é constituído pelos sedimentos fluvio lacustres que foram depositados sobre os basaltos no Cretáceo Superior. Sua ocorrência na área da bacia do rio Piracicaba se restringe a Formação Itaqueri, cuja inclusão nesse Grupo é controversa.

6.2.5.1 - Formação Itaqueri

Com uma área de ocorrência ainda mais restrita que os basaltos, a Formação Itaqueri recobre a cuesta basáltica com uma espessura não superior a 50 metros na região. Sua litologia é constituída predominantemente por arenitos com cimento argiloso e conglomerado basal, podendo apresentar localmente lentes de folhelhos e siltitos.

6.3 - Sedimentos cenozóicos

Na área das bacias dos rios Piracicaba e Capivari nota-se a ocorrência expressiva de coberturas sedimentares cenozóicas, assentadas sobre as diversas unidades lito-estratigráficas da região, destacando-se a Formação Rio Claro e os depósitos coluviais correlatos, além dos sedimentos recentes das planícies aluvionares da rede de drenagem atual.

6.3.1 - Formação Rio Claro e Depósitos Correlatos

A esta formação e suas correlatas correspondem os sedimentos predominantemente arenosos, de origem fluvial, depositados entre as cotas 600 e 800 em vastas áreas da depressão periférica. Esses arenitos imaturos, com lentes lamíticas e leitos conglomeráticos subordinados, alcançam espessuras de até 30 metros, recobrando os sedimentos paleozóicos e o diabásio, destacando-se as ocorrências de Rio Claro - Ipeúna, Capivari - Santa Barbara D'Oeste e Limeira - Artur Nogueira.

6.3.2 - Depósitos Aluvionares Recentes

São depósitos aluviais de várzeas e terraços encontrados ao longo da rede principal de drenagem atual nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari. São constituídos por areias, lentes de conglomerados e argilas com espessura de até 20 metros, destacando-se as ocorrências de Paulínia e diversos trechos ao longo dos rios Atibaia e Jaguari na região de afloramento das rochas cristalinas pré-cambrianas.

7 - SISTEMAS AQUÍFEROS DAS BACIAS

Neste capítulo são apresentadas as características hidrogeológicas e potenciais dos Sistemas Aquíferos que se distribuem pelas bacias dos rios Piracicaba e Capivari, conforme mostrado no Mapa I e, de forma simplificada, na Figura 7.1.

As características geológicas dos aquíferos que ocorrem nas bacias são mostradas de forma resumida na Tabela 7.1, enquanto que as condições de ocorrência, as características hidrogeológicas e os potenciais dos sistemas aquíferos estão sintetizados na Tabela 7.2.

7.1 - Aquífero Cristalino

O aquífero Cristalino, com porosidade de fissuras, está condicionado a existência de descontinuidades na rocha em profundidade, causadas principalmente, pela ocorrência de estruturas geológicas como falhamentos, fraturas e lineamentos aos quais estão associadas as zonas aquíferas. Daí seu caráter de aquífero eventual.

Horizontes de rocha cristalina alterada e semi-alterada, quando suficientemente espessos e em situação hidráulicamente favorável ou seja, ocorrendo abaixo da superfície potenciométrica e, portanto, saturados com água, comportam-se como aquíferos de porosidade granular, podendo constituir um potencial interessante para o aproveitamento de água subterrânea em áreas de ocorrência do aquífero Cristalino. O horizonte de rocha alterada, que na área das bacias alcança espessura de até 60 metros em diversas regiões onde predominam os gnaisses e metasedimentos, é responsável pelas parcelas mais elevadas do escoamento básico nas sub-bacias situadas nessas áreas.

Suas principais características são:

a) físicas:

- a.1) Superfície de ocorrência nas bacias: 6.370 km²
(44% da área total das bacias)
- a.2) Espessura do aquífero: 170 metros;
- a.3) Propriedades do meio: extensão regional, porosidade de fissuras, heterogêneo, livre a semi-confinado e descontínuo;

b) geológicas:

- b.1) Unidades estratigráficas principais: Complexo Itapira, Complexo Amparo, Complexo Pinhal e Suites Granitíticas
- b.2) Litologia predominante: gnaisses, biotita gnaisses, granitos, migmatitos, granulitos, quartzitos, xistos e filitos

c) dinâmicas:

- c.1) Permeabilidade aparente: -
- c.2) Transmissividade: 0,1 a 100 m²/dia;
- c.3) Coeficiente de Armazenamento / Porosidade Efetiva: 0,001 a 1
(nas zonas de rocha alterada)

d) potenciais:

- d.1) Capacidade específica: 0,01 a 7 m³/h/metro; (média: 0,12)
- d.2) Vazões verificadas nos poços: 1 a 50 m³/h;
- d.3) Profundidades verificadas nos poços: 30 a 350 metros;

- d.4) Vazão potencial por poço (para planejamento): 10 m³/h;
- d.5) Profundidade de poço (para planejamento): 170 metros;
- d.6) Custo aproximado de um poço (para planejamento): US\$ 17 mil;

e) observações:

- e.1) não é possível o estabelecimento de uma regionalização das características hidráulicas do aquífero Cristalino;
- e.2) poços locados junto a estruturas geológicas, obedecendo critérios hidrogeológicos, apresentam um valor médio de capacidade específica acima de 0,2 m³/h/m;
- e.3) as perspectivas de ocorrência de rocha cristalina fissurada com percolação de água se esgotam aos 170 metros de profundidade;
- e.4) a interferência entre poços e o aproveitamento do aquífero constituído pelo horizonte de rocha alterada, em condições favoráveis de ocorrência, devem ser considerados e avaliados criteriosamente nos projetos e construções de poços tubulares no Cristalino.

7.2 - Aquífero Itararé

O aquífero Itararé, também denominado Tubarão, se caracteriza por sua baixa potencialidade e sua localização estratégica. Ocorre numa região das bacias onde estão situados os mais importantes eixos de conurbação e empreendimentos industriais, com alta taxa de crescimento e que demonstra escassez de recursos hídricos.

O aquífero é constituído por depósitos glaciais e retrabalhamentos fluviais e lacustres onde predominam os sedimentos siliciclásticos formando horizontes que se interdigitam lateralmente e conferem uma descontinuidade litológica vertical e horizontal das camadas sedimentares. Sua má condição como aquífero se agrava na medida em que o Itararé é atravessado por intrusões de diabásio, principalmente na região Norte e Central de sua área de ocorrência. Tais características conferem ao Itararé uma baixa permeabilidade, comprometida pela matriz lamítica sempre presente nos arenitos, e resultam na sua potencialidade limitada como aquífero para atendimento alternativo de demandas superiores a 50 m³/hora. Suas principais características são:

a) físicas:

- a.1) Superfície de ocorrência nas bacias: 3.250 km²
(22,5% da área total das bacias)
- a.2) Espessura da zona aquífera: 350 metros (para um total de 1.100 metros de sedimentos);
- a.3) Propriedades do meio: extensão regional, porosidade granular, livre a semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e anisotrópico

b) geológicas:

- b.1) Unidades estratigráficas: Formação Itararé e Formação Tatui;
- b.2) Litologia predominante: arenitos lamíticos, diamictitos e siltitos;

c) dinâmicas:

- c.1) Permeabilidade aparente: 0,002 a 0,7 m/dia;
- c.2) Transmissividade: 0,3 a 40 m²/dia;
- c.3) Coeficiente de Armazenamento / Porosidade Efetiva: 10E-4 a 0,05

d) potenciais:

- d.1) Capacidade específica: 0,03 a 6 m³/h/metro;
- d.2) Vazões verificadas nos poços: 2 a 80 m³/h;
- d.3) Profundidades verificadas nos poços: 100 a 400 metros;
- d.4) Vazão potencial por poço (para planejamento): 10 m³/h;
- d.5) Profundidade de poço (para planejamento): 300 metros;
- d.6) Custo aproximado de um poço (para planejamento): US\$ 40 mil;

e) observações:

- e.1) É ponderável a possibilidade de ocorrência de problemas relativos a um eventual comprometimento da qualidade da água subterrânea proveniente de zonas mais profundas do aquífero Itararé, além de 350 metros de profundidade, em razão da maior concentração de sais dissolvidos nessas águas, consequência do longo período de percolação da água no aquífero.
- e.2) A ocorrência fortuita de intrusões mais espessas de diabásio em profundidade e o eventual decréscimo significativo da vazão a médio prazo (2 a 5 anos) devido as condições deficientes de recarga do aquífero Itararé a profundidades além de 200 metros, constitui um fator de risco a considerar na perfuração de poços no Itararé.
- e.3) Critérios geológico-estruturais devem ser considerados na avaliação hidrogeológica para locação e projeto de poços no aquífero Itararé.
- e.4) A utilização de polímeros inertes, tipo CMC (carboxi metil celulose), e métodos rotativos devem ter prioridade de uso na construção de poços no aquífero Itararé com vistas a obtenção de poços mais eficientes e compensadores.

7.3 - Aquífero Passa Dois

O aquífero, ou aquitardo Passa Dois, designação utilizada para indentificar formações regionais com uma função passiva quanto a percolação de água subterrânea, é constituído por uma litologia essencialmente lamítica com baixíssima permeabilidade.

Suas principais características são:

a) físicas:

- a.1) Superfície de ocorrência nas bacias: 1.310 km²
(9% da área total das bacias)
- a.2) Espessura do aquífero: 220 metros;
- a.3) Propriedades do meio: aquífero eventual de extensão regional, porosidade granular e de fissuras, livre a semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e anisotrópico;

b) geológicas:

- b.1) Unidades estratigráficas: Formação Corumbataí e Formação Irati
- b.2) Litologia predominante: bancos de lamitos, siltitos, folhelhos e calcáreos;

c) dinâmicas:

- c.1) Permeabilidade aparente: 0,001 a 0,2 m/dia;
- c.2) Transmissividade: 0,1 a 10 m²/dia;
- c.3) Coeficiente de Armazenamento / Porosidade Efetiva: 10E-4 a 0,02

d) potenciais:

- d.1) Capacidade específica: 0,01 a 1 m³/h/metro;
- d.2) Vazões verificadas nos poços: 2 a 25 m³/h;
- d.3) Profundidades verificadas nos poços: 50 a 150 metros;
- d.4) Vazão potencial por poço (para planejamento): 10 m³/h;
- d.5) Profundidade de poço (para planejamento): 200 metros;
- d.6) Custo aproximado de um poço (para planejamento): US\$ 30 mil;

e) observações:

- e.1) O aquífero Passa Dois apresenta, com alguma frequência, problemas de qualidade da água, com teores excessivos de sulfato, fluoreto e carbonato.
- e.2) Ao longo de estruturas geológicas, o Passa Dois pode apresentar comportamento de aquífero eventual, com porosidade de fissuras.

7.4 - Aquífero Diabásio

O aquífero Diabásio é constituído pelas rochas intrusivas básicas associadas a Formação Serra Geral que atravessam a sequência sedimentar, principalmente a Formação Itararé na região Centro-Norte da área da bacia do Piracicaba, na forma de diques espessos, lacólitos, sills e corpos irregulares. Suas principais características são:

a) físicas:

- a.1) Superfície de ocorrência nas bacias: 890 km² (6,5% da área total das bacias)
- a.2) Espessura do aquífero: até 180 metros;
- a.3) Propriedades do meio: aquífero eventual de extensão limitada, porosidade de fissuras, heterogêneo, descontínuo, anisotrópico, livre a semi-confinado.

b) geológicas:

- b.1) Unidades estratigráficas: Corpos intrusivos de rocha básica;
- b.2) Litologia predominante: diabásio;

c) dinâmicas:

- c.1) Permeabilidade aparente: -
- c.2) Transmissividade: 0,2 a 50 m²/dia;
- c.3) Coeficiente de Armazenamento / Porosidade Efetiva: -

d) potenciais:

- d.1) Capacidade específica: <0,01 a 4 m³/h/metro;
- d.2) Vazões verificadas nos poços: 2 a 30 m³/h;
- d.3) Profundidades verificadas nos poços: 50 a 150 metros;
- d.4) Vazão potencial por poço (para planejamento): 10 m³/h;
- d.5) Profundidade de poço (para planejamento):
- d.6) Custo aproximado de um poço (para planejamento):

e) Observações:

- e.1) Geralmente, as fraturas no diabásio estão associadas a zonas de contato com a rocha encaixante, fato que deve ser levado em conta na avaliação hidrogeológica para locação e projeto de

poços no aquífero Diabásio.

- e.2) Os contatos do diabásio com a rocha encaixante se dá de forma sub-vertical em um grande número de ocorrências, conforme temos observado no campo e através de perfis de poços perfurados próximos a zona do contato.
- e.3) Da mesma forma que no aquífero Cristalino, não é possível o estabelecimento de uma regionalização das características hidráulicas do aquífero Diabásio.

7.5 - Aquífero Botucatu

O Botucatu, principal aquífero regional da Bacia Geológica do Paraná em termos de reserva e produtividade de água subterrânea, ocorre na região Oeste da bacia do Piracicaba onde, desafortunadamente, não estão situadas as grandes demandas de água das bacias. Uma parcela considerável de sua área de ocorrência, localizada mais próximo ao contato com a Formação Corumbataí, é constituída predominantemente pelos sedimentos menos permeáveis da fácies argilosa da porção inferior da Formação Pirambóia.

Suas principais características nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari são:

a) físicas:

- a.1) Superfície de ocorrência nas bacias: 1.820 km²
(13% da área total das bacias)
- a.2) Espessura do aquífero na região: 200 metros;
- a.3) Propriedades do meio: extensão regional, porosidade granular, heterogêneo (Pirambóia) a homogêneo (Botucatu), contínuo, anisotrópico (Pirambóia) a isotrópico (Botucatu), livre a semi-confinado;

b) geológicas:

- b.1) Unidades estratigráficas: Formação Pirambóia e Formação Botucatu;
- b.2) Litologia predominante: arenitos e arenitos lamíticos;

c) dinâmicas:

- c.1) Permeabilidade aparente: 0,1 a 4 m/dia;
- c.2) Transmissividade: 10 a 120 m²/dia;
- c.3) Coeficiente de Armazenamento / Porosidade Efetiva: 10E-4 a 0,2

d) potenciais:

- d.1) Capacidade específica: 0,2 a 5 m³/h/metro;
- d.2) Vazões verificadas nos poços: 10 a 110 m³/h;
- d.3) Profundidades verificadas nos poços: 50 a 200 metros;
- d.4) Vazão potencial por poço (para planejamento): 150 m³/h;
- d.5) Profundidade de poço (para planejamento): 180 metros;
- d.6) Custo aproximado de um poço (para planejamento): US\$ 30 mil;

e) observações:

- e.1) A área de ocorrência do aquífero Botucatu na bacia do rio Piracicaba é parte da região que constitui a zona de recarga desse importante aquífero e, portanto, requer cuidados especiais para preservação da qualidade da água.

e.2) Cabe salientar que o aquífero Botucatu não ocorre em situação de confinamento pelos basaltos na área da bacia do rio Piracicaba, razão pela qual não é possível a obtenção das altas vazões, de até 800 m³/h, verificadas em poços situados mais para Oeste da área.

7.6 - Aquífero Serra Geral

O aquífero Serra Geral é constituído pelas rochas básicas extrusivas caracterizadas pelos derrames de basaltos que recobrem a Formação Botucatu para Oeste da área. Sua ocorrência na bacia do rio Piracicaba é muito restrita aos limites Oeste e Noroeste da área. Suas principais características na área são:

a) físicas:

a.1) Superfície de ocorrência nas bacias: 230 km²
(1,5% da área total das bacias)

a.2) Espessura do aquífero na região: 80 metros;

a.3) Propriedades do meio: aquífero eventual de extensão limitada, porosidade de fissuras, heterogêneo, descontínuo, anisotrópico, livre.

b) geológicas:

b.1) Unidades estratigráficas: Formação Serra Geral;

b.2) Litologia predominante: basaltos;

c) dinâmicas:

c.1) Permeabilidade aparente: -

c.2) Transmissividade: 0,1 a 20 m²/dia;

c.3) Coeficiente de Armazenamento / Porosidade Efetiva: -

d) potenciais:

d.1) Capacidade específica: <0,01 a 1 m³/h/metro;

d.2) Vazões verificadas nos poços: 2 a 10 m³/h;

d.3) Profundidades verificadas nos poços: 5 a 80 metros;

d.4) Vazão potencial por poço (para planejamento): 5 m³/h;

d.5) Profundidade de poço (para planejamento): 60 metros;

d.6) Custo aproximado de um poço (para planejamento): US\$ 10 mil;

7.7 - Aquífero Bauru

É o aquífero livre de maior extensão no Estado de São Paulo, no entanto, tem ocorrência bastante restrita na bacia do rio Piracicaba, limitando-se a uma estreita faixa situada no topo da cuesta basáltica nos limites Oeste e Noroeste da área.

Suas principais características na área das bacias são:

a) físicas:

a.1) Superfície de ocorrência nas bacias: 140 km²
(1% da área total das bacias)

a.2) Espessura do aquífero na região: 50 metros;

a.3) Propriedades do meio: extensão limitada, porosidade granular, heterogêneo, descontínuo, anisotrópico e livre;

b) geológicas:

b.1) Unidades estratigráficas: Formação Itaqueri;

b.2) Litologia predominante: arenitos argilosos, siltitos e arenitos conglomeráticos limonitizados

c) dinâmicas:

c.1) Permeabilidade aparente: 0,01 a 0,5 m/dia;

c.2) Transmissividade: 1 a 20 m²/dia;

c.3) Coeficiente de Armazenamento / Porosidade Efetiva: 10E-3 a 0,05

d) potenciais:

d.1) Capacidade específica: 0,1 a 1 m³/h/metro;

d.2) Vazões verificadas nos poços: 1 a 5 m³/h;

d.3) Profundidades verificadas nos poços: 30 a 50 metros;

d.4) Vazão potencial por poço (para planejamento): 5 m³/h;

d.5) Profundidade de poço (para planejamento): 50 metros

d.6) Custo aproximado de um poço (para planejamento): US\$ 8 mil;

e) observação:

e.1) O enquadramento da Formação Itaqueri no Grupo Bauru é questão controversa.

7.8 - Aquífero Cenozóico

Como aquífero Cenozóico estão incluídos os depósitos sedimentares Terciários e Quaternários que ocupam áreas restritas de recobrimentos delgados de cimeira e platôs, e os depósitos aluviais recentes das áreas de várzeas de rios.

Suas principais características são:

a) físicas:

a.1) Superfície de ocorrência nas bacias: 390 km²
(2,5% da área total das bacias)

a.2) Espessura do aquífero: 30 metros;

a.3) Propriedades do meio: aquíferos livres, de extensão limitada, porosidade granular, heterogêneos, descontínuos e anisotrópicos

b) geológicas:

b.1) Unidades estratigráficas: Formação Rio Claro, Coberturas Quaternárias e Depósitos Aluvionares.

b.2) Litologia predominante: areias de argilosas a conglomeráticas, arenitos imaturos finos a grosseiros e argilas;

c) dinâmicas:

c.1) Permeabilidade aparente: 0,1 a 2 m/dia;

c.2) Transmissividade: 2 a 50 m²/dia;

c.3) Coeficiente de Armazenamento / Porosidade Efetiva: 0,001 a 0,1

d) potenciais:

d.1) Capacidade específica: 0,1 a 5 m³/h/metro;

d.2) Vazões verificadas nos poços: 1 a 35 m³/h;

d.3) Profundidades verificadas nos poços: 15 a 30 metros;

d.4) Vazão potencial por poço (para planejamento): 5 m³/h;

d.5) Profundidade de poço (para planejamento): 30 metros;

d.6) Custo aproximado de um poço (para planejamento): US\$ 7 mil.

CARACTERÍSTICAS GEOOLÓGICAS

AQUÍFERO		UNIDADES LITO - ESTRATIGRÁFICAS					LITOLOGIA	
PERÍODO	SÍMBOLO	COMPLEXO	GRUPO	FORMAÇÃO				
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	Qo		ALUVIONAR	DEPÓSITOS ALUVIAIS RECENTES			
		TQcv		COLUVIONAR	DEPÓSITOS COLUVIAIS DE ESPALHO			
		TQrc		RIO CLARO	ARENITOS IMATUROS FINOS E MÉDIOS ARGILITOS E CONGLOMERADOS			
		Tc			DEPÓSITOS DE LIMA E ARENITOS IMATUROS E CONGLOMERADOS			
BAURU	CRETÁCIO	KT	BAURU	ITAQUERI	ARENITO ARGILOSO E ARENITO CONGLOMERATIVO LIMONITIZADO			
DIABÁSIO	CRETÁCIO	DB			SILS, DIQUES, LACOLITOS E CORPOS IRREGULARES DE DIABÁSIO			
SERRA GERAL	JURÁSSICO	JKsg		SERRA GERAL	BASALTOS TOLEÍTICOS EM DERRAMES TABULARES SUPERPOSTOS			
BOTUCATU	JURÁSSICO	TrJb	SÃO BENTO	BOTUCATU	ARENITOS FINOS A MÉDIOS COM ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA DE GRANDE PORTE E ORIGEM EOLICA			
		TrJp	PIRAMBOIA	ARENITOS FINOS A MÉDIOS COM MOTIVO LAMÍTICO E ESTRATIFICAÇÃO PLANO - PARALELA E CRUZADA; ORIGEM FLUVIO-LACUSTRE				
PASSA DOIS	PERMIANO	Pc	PASSA DOIS	CORUMBATAI	SILTITOS, LAMITOS, FOLHÉLHOS E ARENITOS MUITO FINOS			
Pi		IRATI		FOLHÉLHOS, SILTITOS E CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS				
ITARARÉ (TUBARÃO)	PERMIANO	Pt	TUBARÃO	TATUI	SILTITOS ARENOSOS E ARGILOSOS, ARENITOS LAMÍTICOS			
		PCi		ITARARÉ	ARENITOS FINOS A GROSSEIROS COM MATRIZ LAMÍTICA, SILTITOS LAMITOS RÍTMICOS, DIAMETITOS E FOLHÉLHOS			
CRISTALINO	PROTEROZOICO SUPERIOR	PSsOy			GRANITO E GRANITOÍDES COM PREDOMINÂNCIA DE TERMOS PORFIRÍTICOS			
		PSyc			CORPOS GRANITOÍDES FOLIADOS			
		PSMa			GRANITOS DE ANATEXIA			
		PSsF	SÃO ROQUE		FILITOS, METASILTITOS, QUARTZOXISTOS, MICAXISTOS E QUARTZITOS			
		PSs	ACUNGUI		FILITOS, XISTOS DIVERSOS, QUARTZITOS E GNAISSES			
		PSsM	EMBU		MIGMATITOS HETEROGÊNEOS			
	PROTEROZOICO INFERIOR	PSpM	PINNAL		MIGMATITOS ANATEXITOS E GRANITOÍDES DIVERSOS			
		PSpMp+Mi			MIGMATITOS POLICICLICOS EMBRECHITOS E MIGMATITOS COM TERMOS GRANULÍTICOS			
		PlaFb	AMPARO		PARAGNAISSES COM INTERCALAÇÕES DE MICAXISTOS, QUARTZITOS, ANFIBOLITOS E CALCOSILICÁTICAS			
	ARQUEANO	PlaQ			QUARTZITOS FELDSPÁTICOS COM INTERCALAÇÕES DE BIODITAXISTOS			
		AsHM	ITAPIRA		GRANULITOS, MIGMATITOS E GRANITOS - GNAISSES			
		AsM		GNAISSES EMBRECHITICOS				
	AsD	ROCHAS METADIORITICAS E METABASITICAS						

TABELA 7.1 - CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DOS AQUÍFEROS

TABELA 7.2 - CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DOS AQUIFÉROS

SISTEMAS AQUIFÉROS - CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS											
AQUIFÉRO	FÍSICAS			DINÂMICAS			POTENCIAIS				QUALITATIVAS PRINCIPAIS E EVENTUAIS RESTRIÇÕES
	PROPRIEDADES DO MEIO	ÁREA DE AFLO- RAMENTO (% NAS BACIAS) (km ²)	ESPESSU- RA NA REGIÃO (m)	TRANSMISSI- VIDADE (m ² / dia)	PERMEABILI- DADE APARENTE (m / dia)	POROSIDA- DE EFETI- VA (M.1)	CAPACIDADE ESPECÍFICA (m ³ / h / m)	VAZÕES VERIFICADAS NOS POÇOS (m ³ / h)	PROFUN- DIDADES (m)	VAZÃO POTENCIAL POR POÇO (M.2) (m ³ / h)	
CENOZÓICO	EXTENSÃO LIMITADA, LIVRE, POROSIDADE GRANULAR, DESCONTÍNUO, HETEROGENEO, ANISOTRÓPICO	390 (2.5%)	30	2 50	0.1 2	10 ⁻³ 0.1	0.1 5	1 35	15 30	5	AGUAS SEM CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA; AQUIFERO ALTAMENTE VULNERÁVEL A POLUIÇÃO; USO RESTRITO; OCORRÊNCIA COMUM DE EXCESSOS NA CONTAGEM PADRÃO DE BACTÉRIAS E N-NO ₃
BAURU	EXTENSÃO LIMITADA, LIVRE, POROSIDADE GRANULAR, DESCONTÍNUO, HETEROGENEO, ANISOTRÓPICO	140 (1%)	50	1 20	0.01 0.5	10 ⁻³ 0.05	0.1 1	1 5	30 50	5	AGUAS BICARBONATADAS - CÁLCICAS, pH de 5 a 7; RST <150 mg/l; SEM RESTRIÇÕES DE USO
DIABÁSIO	EXTENSÃO LIMITADA, LIVRE A SEMICONFINADO, POROSIDADE DE FISSURAS, DESCONTÍNUO, HETEROGENEO; AQUIFERO EVENTUAL	890 (6.5%)	180	0.2 50	—	—	< 0.01 4	2 30	50 150	10	AGUAS BICARBONATADAS - SÓDICAS E MISTAS, pH de 5 a 8; RST <200 mg/l; POUCAS RESTRIÇÕES DE USO; ALGUMAS OCORRÊNCIAS DE EXCESSO DE F, CaCO ₃ , SO ₄ e RST
SERRA GERAL	EXTENSÃO LIMITADA, LIVRE, POROSIDADE DE FISSURAS, DESCONTÍNUO, HETEROGENEO; AQUIFERO EVENTUAL	230 (1.5%)	80	0.1 20	—	—	< 0.01 1	2 10	50 100	5	AGUAS BICARBONATADAS - CÁLCICAS; pH de 6 a 7; RST <160 mg/l; SEM RESTRIÇÕES DE USO
BOTUCATU	EXTENSÃO REGIONAL, LIVRE A SEMICONFINADO, POROSIDADE GRANULAR, CONTÍNUO, HETEROGENEO A HOMOGÊNEO ISOTRÓPICO	1820 (13%)	200	10 120	0.1 4	10 ⁻⁴ (M.1) 0.2	0.2 5	10 110	50 200	150	AGUAS BICARBONATADAS - CALCOMAGNESIANAS; MUITO POUCO MINERALIZADAS; CONDUT. 10 a 35 uS/cm; pH de 4,5 a 6; RST <70 mg/l; AQUIFERO ALTAMENTE VULNERÁVEL A POLUIÇÃO, SEM RESTRIÇÕES DE USO
PASSA DOIS	EXTENSÃO REGIONAL, LIVRE A SEMICONFINADO, POROSIDADE GRANULAR DE FISSURAS, DESCONTÍNUO, HETEROGENEO, ANISOTRÓPICO; AQUIFERO EVENTUAL	1.310 (9%)	220	0.1 10	0.001 0.2	10 ⁻⁴ (M.1) 0.02	0.01 1	2 25	50 150	10	AGUAS BICARBONATADAS - SÓDICAS E MISTAS; pH 5 a 9; RST: ELEVADO; ALGUMAS RESTRIÇÕES DE USO; ALGUMAS OCORRÊNCIAS DE EXCESSO DE F, CaCO ₃ , Cl, SO ₄
ITARARÉ (TUBARÃO)	EXTENSÃO REGIONAL, LIVRE A SEMICONFINADO, POROSIDADE GRANULAR, DESCONTÍNUO, HETEROGENEO, ANISOTRÓPICO	3.250 (22.5%)	1.100	0.3 40	0.002 0.7	10 ⁻⁴ (M.1) 0.05	0.03 6	2 80	100 400	10	AGUAS BICARBONATADAS - SÓDICAS pH de 5,5 a 9; RST <350 mg; CONDUT. 100 a 300 uS/cm; POUCAS RESTRIÇÕES DE USO; POUCAS OCORRÊNCIAS DE EXCESSO DE F, CaCO ₃ , e RST
CRISTALINO	EXTENSÃO REGIONAL, LIVRE A SEMICONFINADO, POROSIDADE DE FISSURAS, DESCONTÍNUO, HETEROGENEO; AQUIFERO EVENTUAL	6.370 (44%)	170	0.1 100	—	—	0.01 7	1 50	50 170	10	AGUAS BICARBONATADAS - CÁLCICAS pH de 5 a 7; RST <150 mg/l; CONDUT <200 uS/cm; SEM RESTRIÇÕES DE USO;

(M.1) = COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO; (M.2) = VAZÃO POTENCIAL ESTIMADA PARA PLANEJAMENTO REGIONAL, PARA POÇO CONSTRUÍDO SEGUNDO CRITÉRIOS HIDROGEOLÓGICOS.

OBS.: A TEMPERATURA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO VARIA ENTRE 20° e 25°.

NOTA: CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS ESTABELECIDAS PARA AS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA E CAPIVARI.

8 - DISPONIBILIDADE DE AGUA SUBTERRANEA

8.1 - O Balanço Hídrico e a Recarga Transitória Média Multianual dos Aquíferos

Repetindo o conceito fundamental de que a água subterrânea é uma componente indissociável do ciclo hidrológico, sua disponibilidade no aquífero relaciona-se diretamente com o escoamento básico da bacia de drenagem instalada sobre sua área de ocorrência. A água subterrânea constitui então uma parcela desse escoamento que, por sua vez, corresponde a recarga transitória do aquífero.

Assim, para uma estimativa da disponibilidade hídrica do aquífero, torna-se fundamental a determinação do escoamento básico da bacia ou sub-bacia que se pretende avaliar. O escoamento básico é determinado pelo balanço hídrico da bacia ou sub-bacia e, para tanto, pode-se utilizar um modelo matemático de simulação hidrológica da bacia a nível diário, metodologia empregada pelo DAEE em vários de seus estudos de disponibilidade hídrica.

Neste trabalho, os volumes de recarga transitória média multianual dos aquíferos que correspondem ao escoamento básico, dados utilizados na Tabela 8.2, foram obtidos a partir da aplicação de um modelo matemático conceitual de simulação digital hidrológica, do tipo determinístico, de transformação chuva / vazão a nível diário, desenvolvido por Felix Mero em 1969, modificado e adaptado as condições regionais pelo próprio autor e pela equipe técnica do DAEE ao longo dos anos. Além do Estudo de Água Subterrânea da Região Administrativa No. 5 - Campinas em 1980, o DAEE utilizou o modelo em outros estudos, como a "Caracterização dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo" em 1984, que subsidiou a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos de 1990.

O modelo, cuja descrição dos fundamentos teóricos e metodologia detalhadas estão contidas no relatório do "Estudo de Águas Subterrâneas do DAEE para a região administrativa de Campinas", simula o ciclo hidrológico e, a partir da precipitação diária e da evaporação potencial média verificadas na bacia, fornece como resultados a vazão total na saída da sub-bacia, decomposta em seus componentes caracterizados pelos escoamentos superficial, hipodérmico e básico, a evaporação real e a recarga para o reservatório subterrâneo.

Todos os escoamentos são calculados e apresentados na forma de volume mensal em milhões de metros cúbicos (MMC) e também em milímetros (mm).

Os resultados sintetizados do balanço hídrico para as 23 sub-bacias dos rios que compõem as bacias dos rios Piracicaba e Capivari, mostrados na Tabela 8.1, também estão representados no Mapa II, onde é possível visualizar a distribuição das sub-bacias com a localização e o prefixo dos postos fluviométricos de controle, utilizados para delimitação das sub-bacias. Nos quadros dispostos junto aos respectivos postos, pela ordem de cima para baixo e da esquerda para a direita, estão:

- 1) área de drenagem da sub-bacia, em km²; 2) precipitação, em mm/ano
- 3) escoamento total, em mm/ano; 4) o mesmo, em milhões de m³/ano;
- 5) escoamento básico, em mm/ano; 6) o mesmo, em milhões de m³/ano;

Tabela 8.1 - Resumo do balanço hídrico nas Sub-bacias que compoem as Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari

No.	Posto prefixo	Rio	Area (km ²)	Prec. (mm)	Evap.R (mm)	Q.tot (mm)	Q.bás (mm)	T/O1 dias	R.At (mm)	Qt/P (%)	Qb/P (%)	Qb/Qt (%)
01	3D-016	JGR	967	1.366	792	574	275	135	103	41	20	49
02	3D-015	JGR	386	1.366	792	574	275	135	103	41	20	49
03	3D-009	JGR	597	1.366	792	574	275	135	103	41	20	49
04	6261500	JGR	230	1.362	777	585	271	135	101	42	20	48
05	3D-017	CMD	102	1.408	808	600	275	90	68	41	19	48
06	3D-002	CMD	285	1.408	815	593	260	100	72	41	18	46
07	3D-001	CMD	541	1.352	824	528	189	135	70	38	13	37
08	6266500	CHR	418	1.484	760	724	480	150	198	48	32	66
09	6266000	ATB	305	1.413	782	631	375	150	155	44	26	60
10	6267000	ATB	420	1.319	822	497	171	150	70	37	13	35
11	3D-006	ATB	775	1.296	804	492	167	150	69	37	13	35
12	3D-019	ATB	95	1.320	702	618	333	150	137	46	25	55
13	3D-003	ATB	397	1.265	802	463	161	150	66	35	12	36
14	4D-001	JGR	286	1.237	734	503	236	135	88	39	19	49
15	4D-009	ATB	272	1.281	793	488	156	150	64	36	12	35
16	4D-010	PRC	1.002	1.233	776	457	155	140	59	36	12	35
17	6270700	PRC	1.773	1.288	909	379	122	140	46	28	9	34
18	4D-007	PRC	541	1.184	862	322	105	140	40	25	8	35
19	4D-021	CRB	1.159	1.264	857	407	155	180	76	31	12	40
20	4D-018	CRB	489	1.359	866	493	200	210	115	35	14	42
21	FQZ-PIR (*)	PRC	1.610	1.350 (*)	-	392 (*)	337 (*)	-	-	29	25	86
22	6242000	CPV	508	1.112	793	319	123	90	30	28	11	39
23	FQZ-CVP (*)	CPV	1.142	1.150 (*)	-	333 (*)	115 (*)	-	-	29	10	35

Observações: (pg. seguinte)

Observações:

1) Legenda da Tabela 8.1:

No. = número de ordem e identificação das sub-bacias no Mapa II;

Posto prefixo = prefixo de identificação do posto fluviométrico;

Rio = rio referente a sub-bacia, onde:

JGR	= rio Jaguari
CMD	= rio Camanducaia
CHR	= rio Cachoeira
ATB	= rio Atibaia
FRC	= rio Piracicaba
CRB	= rio Corumbataí
CPV	= rio Capivari;

Area = área de drenagem da sub-bacia em km²;

Prec. = precipitação, altura média na sub-bacia, em mm/ano;

Evap.R = Evapotranspiração real média na sub-bacia, em mm/ano;

Q.tot = escoamento total médio da sub-bacia, em mm/ano;

Q.bás = escoamento básico médio da sub-bacia, em mm/ano;

T/O1 = Constante de depleção do escoamento básico, em dias;

R.At = Reserva ativa, em mm;

Qt/P = Relação percentual entre o escoamento total e a precipitação;

Qb/P = Relação percentual entre o escoamento básico e precipitação;

Qb/Qt = Relação percentual entre os dois escoamentos básico / total;

2) (*): essas duas sub-bacias tiveram seus dados de escoamento total e básico inferidos a partir da média das isoietas na área da sub-bacia e da média das relações Escoamento total / Precipitação e Escoamento básico / Precipitação, respectivamente, de sub-bacias limítrofes de características geológicas semelhantes.

3) a localização das sub-bacias é mostrada no Mapa II, anexo, juntamente com os dados hidrológicos da síntese do balanço hídrico.

4) a reserva ativa representa o volume médio do reservatório subterrâneo acima da superfície básica de drenagem da sub-bacia, como veremos adiante;

5) os valores apresentados referem-se a valores médios para cada sub-bacia considerada como homogênea;

6) no balanço hídrico efetuado, os aquíferos estão considerados como livres, não ocorrendo perdas de água subterrânea fora da bacia.

8.2 - Considerações sobre a Disponibilidade de Água Subterrânea

Como veremos neste item, a quantidade de água subterrânea possível de ser retirada de um aquífero é de difícil precisão, tratando-se de uma questão subjetiva e, portanto, polêmica, dentro de limites a serem estabelecidos e com um limite máximo determinado pela geometria do aquífero, suas propriedades físicas intrínsecas e suas características hidrodinâmicas.

Teoricamente, significa dizer que poderíamos explorar um aquífero até o limite determinado pelo volume total de água contido em seu interior mais a sua recarga, exaurindo completamente sua reserva total de água. Na realidade prática isto seria impossível e tampouco recomendável.

Então poderíamos estabelecer um primeiro limite para exploração do aquífero, determinado pelo volume de água contido em seu interior, abaixo do nível básico da drenagem de uma região, ou seja, abaixo de uma superfície básica, determinada pelo plano horizontal que passa pelo talvegue da drenagem principal da sub-bacia, que vamos considerar como a reserva permanente de água no aquífero e, assim, poderíamos explorar toda a água contida no volume superior do aquífero. Mas, não é esta a nossa situação, devido as características pouco favoráveis da hidrogeologia regional e também aos valores das nossas necessidades hídricas.

Um segundo limite pode ser estabelecido, preservando esse volume superior do aquífero, situado entre a superfície básica e sua superfície potenciométrica, que vamos considerar como a reserva ativa de água no aquífero.

Bem, esta reserva ativa é mantida pelo volume de água infiltrado para o aquífero a partir da precipitação que ocorre na sub-bacia e que podemos considerar como uma reserva reguladora, atuando diretamente no escoamento básico dos corpos de água superficial da região.

Em outro termos, esse volume equivale a recarga média multianual do aquífero, ou potencial renovável de água subterrânea de uma bacia, e corresponde ao volume de água que é drenado pelos rios na forma de seu escoamento básico, desde que não ocorram retiradas artificiais significativas de água do aquífero, através da exploração por poços, ou a recarga profunda, comum em aquíferos confinados, como é o caso exclusivo do Botucatu na região.

Cabe aqui relembrar um conceito básico determinado por uma equação simples mas, por vezes, incrivelmente desprezada no trato dos recursos hídricos: - "o volume de água subterrânea retirado do aquífero pelos poços ou outros processos, vai faltar no escoamento básico natural dos rios da bacia, ou volta ao rio, diminuído em cerca de 20%, na forma de água servida".

Diante desses fatos fica claro as várias limitações que se impoem aos volumes ou reservas explotáveis de água subterrânea a partir dos aquíferos. A questão é técnica e também econômica quando se deve decidir o quanto desejamos influenciar no escoamento básico e, por conseguinte, nas vazões mínimas dos rios das bacias.

Evidentemente os aquíferos que ocorrem nas bacias do Piracicaba e Capivari, mormente nas áreas onde se concentram as maiores demandas de água das bacias, não apresentam características favoráveis para grandes retiradas de água, em razão da baixa transmissividade, grande heterogeneidade e da sua descontinuidade. Tais propriedades

limitam a exploração desses aquíferos de forma economicamente viável ou, em outros termos, exigem a necessidade de uma quantidade de poços fora dos propósitos normais de uma exploração sistemática mais significativa.

Os limites que estabelecemos neste trabalho levam em conta todos esses aspectos, de forma que as parcelas de água retiradas ao escoamento dos rios não signifiquem reduções tão críticas as vazões atuais, considerando o retorno através dos esgotos urbanos, da ordem de 80 % da água consumida, e dos efluentes industriais, da ordem de 81%, conforme estudos da Jaakko Poyry / 1992 nas duas bacias.

A diferenciação entre os índices adotados para os diferentes aquíferos deve-se a razões hidrogeológicas, como o tipo de porosidade e a hidráulica dos aquíferos, e as técnicas convencionais disponíveis para captação de águas subterrâneas. Quanto mais heterogeneo e descontínuo o aquífero, maior a dificuldade de provocar rebaixamentos extensivos, que exigiriam um número maior de poços, nem sempre proporcionando retiradas de água subterrânea viáveis técnica e economicamente.

Assim, para estabelecermos a disponibilidade potencial de água subterrânea nas duas bacias, que consideramos suas reservas explotáveis, foram fixados os seguintes índices sobre os volumes da recarga transitória média multianual:

- Aquíferos Cristalino, Diabásio e Serra Geral: 20%
- Aquíferos Itararé, Bauru e Cenozóico: 25%
- Aquífero Passa Dois: 15%
- Aquífero Botucatu: 30%

Salientamos que esses números aqui determinados e utilizados na Tabela 8.2 não devem ser tomados como absolutos ou definitivos, mas sim como limites para se estabelecer os potenciais de água subterrânea que permitam o desenvolvimento do planejamento racional de seu aproveitamento. A qualquer tempo é possível a revisão desses limites, associando-os a outros fatores de ordem econômica, tecnológica ou, simplesmente, de demanda.

Os volumes de Recarga Transitória Média Multianual dos Aquíferos, que correspondem ao Escoamento Básico dos rios das bacias, dados utilizados na Tabela 8.2, foram obtidos a partir do balanço hídrico das bacias, conforme comentado anteriormente e mostrados na Tabela 8.1 deste capítulo.

Os potenciais de disponibilidade de água subterrânea ou reservas explotáveis dos aquíferos foram estabelecidos para as sub-bacias que tiveram seus parâmetros hidrológicos determinados em função da existência de um posto fluviométrico em seção de controle bem definida e com série histórica de dados compatível, utilizados nos estudos hidrológicos realizados anteriormente nas bacias dos dois rios, conforme Tabela 8.1. Desta maneira, procura-se alcançar uma regionalização maior dessa informação, como suporte para uma possível divisão da gestão dos recursos hídricos por sub-bacias dentro das bacias dos rios Piracicaba e Capivari.

Tabela 8.2 - Estimativa da Disponibilidade de Água Subterrânea nas Sub-bacias que compoem as Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari

No.	Posto sub-bc	Rio	Area (km2)	Prec. (mm)	Q.tot (mm)	Q.bás (mm)	Q.bás. (m3/s)	Aquif. % área	Ar.Aq (km2)	Ind. (%)	Q.dis. (m3/s)
BACIA DO RIO PIRACICABA											
01	3D-016	JGR	967	1.366	574	275	8,43	CR.100%	967	20%	1,69
02	3D-015	JGR	386	1.366	574	275	3,36	CR.100%	386	20%	0,67
03	3D-009	JGR	597	1.366	574	275	5,20	CZ.003% CR.097%	18 579	25% 20%	0,04 1,01
04	626150	JGR	230	1.362	585	271	1,97	CR.100%	230	20%	0,39
05	3D-017	CMD	102	1.408	600	275	0,89	CR.100%	102	20%	0,18
06	3D-002	CMD	285	1.408	593	260	2,35	CR.100%	285	20%	0,47
07	3D-001	CMD	541	1.352	528	189	3,23	CZ.002% CR.098%	11 530	25% 20%	0,02 0,63
08	626650	CHR	418	1.484	724	480	6,37	CR.100%	418	20%	1,27
09	626600	ATB	305	1.413	631	375	3,61	CR.100%	305	20%	0,72
10	626700	ATB	420	1.319	497	171	2,28	CZ.005% CR.095%	21 399	25% 20%	0,03 0,43
11	3D-006	ATB	775	1.296	492	167	4,09	CZ.005% CR.095%	39 736	25% 20%	0,05 0,78
12	3D-019	ATB	95	1.320	618	333	1,01	CR.100%	95	20%	0,20
13	3D-003	ATB	397	1.265	463	161	2,03	CR.100%	397	20%	0,41
14	4D-001	JGR	286	1.237	503	236	2,12	DB.015% IT.055% CR.030%	43 157 89	20% 25% 20%	0,06 0,29 0,13
15	4D-009	ATB	272	1.281	488	156	1,33	CZ.003% DB.030% IT.042% CR.025%	8 81 115 68	25% 20% 25% 20%	0,01 0,08 0,14 0,07
16	4D-010	FRC	1.002	1.233	457	155	4,91	CZ.003% DB.017% IT.060% CR.020%	30 171 601 200	25% 20% 25% 20%	0,04 0,17 0,74 0,20

(continua)

(continuação)

No.	Posto sub-bc	Rio	Area (km ²)	Prec. (mm)	Q.tot (mm)	Q.bás (mm)	Q.bás. (m ³ /s)	Aquif. % área	Ar.Aq (km ²)	Ind. (%)	Q.dis. (m ³ /s)
17	627070	PRC	1.773	1.288	379	122	6,85	CZ.003% DB.025% IT.072%	53 443 1.277	25% 20% 25%	0,05 0,34 1,23
18	4D-007	PRC	541	1.184	322	105	1,81	BT.035% DB.015% PD.050%	189 81 271	30% 20% 15%	0,19 0,05 0,14
19	4D-021	CRB	1.159	1.264	407	155	5,71	CZ.015% BA.003% SG.005% BT.027% PD.050%	174 35 56 314 580	25% 25% 20% 30% 15%	0,21 0,04 0,06 0,46 0,43
20	4D-018	CRB	489	1.359	493	200	3,11	CZ.007% BA.005% SG.003% BT.040% PD.045%	34 24 16 195 220	25% 25% 20% 30% 15%	0,05 0,04 0,02 0,37 0,21
21	FDZ-PI (*)	PRC	1.710	1.350 (*)	-	337	17,23	BA.005% SG.010% BT.070% PD.015%	85 171 1.197 257	25% 20% 30% 15%	0,21 0,34 3,62 0,39
Sub-totais:			12750				87,89		12750		19,37
BACIA DO RIO CAPIVARI											
22	624200	CPV	508	1.112	319	123	1,97	IT.035% CR.065%	177 331	25% 20%	0,17 0,26
23	FDZ-CV (*)	CPV	1.142	1.150 (*)	-	115	4,15	DB.005% IT.075% CR.020%	58 856 228	20% 25% 20%	0,05 0,78 0,17
Sub-totais:			1.650				6,12		1.650		1,43
TOTAIS:			14.400				94,01		14.400		20,80

Observações:

1) (*): essas duas sub-bacias tiveram seus dados de escoamento básico inferidos, conforme Tabela 8.1;

2) a localização das sub-bacias é mostrada no Mapa II, anexo, juntamente com dados hidrológicos da síntese do balanço hídrico;

3) Legenda da Tabela 8.2:

No. = número de ordem e identificação das sub-bacias no Mapa II;

Posto sub-bc = prefixo de identificação do posto fluviométrico;

Rio = rio referente a sub-bacia, conforme Tabela 8.1;

Area = área de drenagem da sub-bacia em km²;

Prec. = precipitação, altura média na sub-bacia, em mm/ano;

Q.tot = escoamento total médio da sub-bacia, em mm/ano;

Q.bás = escoamento básico médio da sub-bacia, em mm/ano e em m³/s;

Aquif. % .área = aquífero e % de área que ocupa na sub-bacia;

Ar.Aq = área de ocorrência superficial do aquífero na sub-bacia, em km²;

Ind. = índice percentual aplicado sobre o escoamento básico admitido como a parcela correspondente a disponibilidade potencial ou reserva explotável de água subterrânea;

Q.dis. = vazão potencial disponível por aquífero na sub-bacia, em m³/s;

4) a partir da Tabela 8.2, é possível obter-se a disponibilidade potencial de água subterrânea nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari, por sub-bacias;

8.3 - Disponibilidade hídrica nos aquíferos

Também a partir da Tabela 8.2 podemos obter a mesma disponibilidade ou reserva explotável de água subterrânea dos aquíferos nas duas bacias, conforme é mostrado na Tabela 8.3.

Tabela 8.3 - Disponibilidade Hídrica nos Aquíferos das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari

		Reserva Explotável (m ³ /s)		
Aquíferos \ Bacias:		PIRACICABA	CAPIVARI	TOTAL
Cenozoico - CZ		0,50	-	0,50
Bauru - BA		0,29	-	0,29
Serra Geral - SG		0,42	-	0,42
Botucatu - BT		4,64	-	4,64
Diabásio - DB		0,70	0,05	0,75
Passa Dois - PD		1,17	-	1,17
Itararé - IT		2,40	0,95	3,35
Cristalino - CR		9,25	0,43	9,68
Totais:		19,37	1,43	20,80

Na Tabela 8.3 acima, além dos potenciais hídricos dos aquíferos e o total disponível de água subterrânea nas duas bacias, nota-se que enquanto área da bacia do Capivari equivale a cerca de 11,5% da área total, a quantidade de água subterrânea disponível nessa bacia corresponde a menos que 7% do total das reservas. A mesma observação cabe quando comparamos área de ocorrência e disponibilidade hídrica entre os aquíferos Itararé e Cristalino. Tais fatos se devem aos maiores índices de precipitação nas áreas cristalinas de cabeceiras do Leste na bacia do Piracicaba, a maior capacidade de retenção de água dos terrenos cristalinos, principalmente nas espessas zonas de rocha alterada, e a ocorrência do aquífero Botucatu na área da bacia do Piracicaba.

Já a desproporção, relativa a disponibilidade e área de ocorrência, que se verifica entre o aquífero Botucatu e os demais aquíferos da região se deve exclusivamente as características hidrogeológicas privilegiadas desse aquífero.

9 - UTILIZAÇÃO ATUAL DE AGUA SUBTERRANEA

Este capítulo apresenta uma estimativa dos níveis atualizados de aproveitamento de água subterrânea nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari e as principais condições e características dessa utilização.

9.1 - Número de Poços Tubulares existentes

Para a estimativa do número de poços tubulares existentes atualmente nas duas bacias adotou-se uma metodologia baseada no tratamento das seguintes informações disponíveis:

1 - número de poços cadastrados pelo DAEE no "Estudo de Agua Subterrânea da Região Administrativa de Campinas", nos municípios das duas bacias, em 1980;

2 - número de poços levantado pelo novo cadastramento efetuado pelo I.G. - Instituto Geológico no município de Campinas, no Estudo "Subsídios do Meio Físico- Geológico ao Planejamento do Município de Campinas", em 1992;

3 - Censo Populacional do IBGE de 1980 e de 1991;

e mediante as seguintes considerações:

1 - os dois cadastramentos de poços, dos quais este autor participou ativamente, foram efetuados junto as empresas de perfuração de poços e no campo, por equipes técnicas experimentadas e, portanto, revelam dados muito próximos da situação real;

2 - o cadastramento atualizado dos poços de Campinas, principal cidade das duas bacias e que reflete o comportamento do desenvolvimento regional de um modo geral, foi bastante oportuno, permitindo adotar o índice medido de crescimento do número de poços naquele município como base mais consistente para uma estimativa do número de poços na região;

3 - como o crescimento em cada município das duas bacias não se deu de forma homogênea, decidiu-se atribuir uma ponderação ao índice de crescimento do número de poços de cada município baseado na proporção do crescimento populacional verificado em cada município no mesmo período;

4 - é certo que o crescimento do número de perfuração de poços em determinadas regiões, municípios ou áreas, não deve apenas a taxa de crescimento populacional, dependendo mais, em muitos casos, de fatores circunstanciais de ordem econômica, técnica e social;

5 - de qualquer forma, a metodologia adotada, apesar de subjetiva, procura evitar distorções maiores e, principalmente, estabelecer um critério mais técnico na determinação desses números tão importantes;

6 - em 1980 foram cadastrados pelo DAEE 244 poços tubulares no município de Campinas, dos quais 140 situados na bacia do Piracicaba e 104 na bacia do Capivari;

7 - em 1992 foram cadastrados pelo I.G. 672 poços tubulares no município de Campinas, projetando cerca de 740 poços ao final de 1993, mantida a taxa média de crescimento verificada no período de 1980 a 1992, dos quais 420 situados na bacia do Piracicaba e 320 na bacia do Capivari;

8 - assim, o índice de crescimento do número de poços verificado em Campinas e adotado para as estimativas nas duas bacias é de 3,03 ou pouco mais de 200% de aumento no número de poços entre 1980 e 1993, correspondendo a uma taxa de crescimento da ordem de 10% ao ano;

Na Tabela 9.1 são mostrados os números populacionais de cada município em 1980 e 1991, a taxa de crescimento nesse período, a população projetada em 1993, o percentual de crescimento entre 1980 e 1993 e o índice de crescimento comparado no período, tomando por base o índice de Campinas, onde os índices de crescimento dos poços e da população foram medidos praticamente nesse mesmo período e nas mesmas épocas.

Na Tabela 9.2 são mostrados o número de poços para cada município em 1980, e o número de poços estimado para 1993, resultante da aplicação do índice de crescimento do número de poços de Campinas, corrigido pelo índice de crescimento populacional do município no mesmo período.

Legenda para os Aquíferos explotados:

CZ = Cenozóico

BA = Bauru

SG = Serra Geral / basaltos

BT = Botucatu

DB = Diabásio

PD = Passa Dois

IT = Itararé / Tubarão

CR = Cristalino

Total de municípios considerados: 59

Observação: Existem outros municípios limítrofes que possuem parte de seu território nos domínios da área das bacias dos rios Piracicaba ou Capivari e não foram considerados neste estudo em razão da importância pouco significativa que representam no contexto da água subterrânea nas duas bacias em particular.

Tabela 9.1 - População e índices de crescimento populacional nos municípios das bacias dos rios Piracicaba e Capivari

Municípios	Popul. 1.980 (a)	Popul. 1.991 (b)	Tx. Cres ano (c)	Projeção Popul. 1.993 (d)	% 93/ 80 (e)	Ind. ref. CPN (f)
BACIA DO PIRACICABA:						
01) Aguas de S. Pedro	1.023	1.695	4.69	1.857	81	1.36
02) Americana	122.004	142.581	1.42	146.659	20	0.90
03) Amparo	41.598	50.566	1.79	52.392	52	0.93
04) Analândia	2.301	3.019	2.49	3.171	37	1.03
05) Artur Nogueira	15.941	28.044	5.26	31.072	94	1.45
06) Atibaia	67.807	86.189	3.69	92.667	36	1.02
07) Bom Jesus Perdões	7.090	9.840	3.02	10.443	47	1.10
08) Bragança Paulista	84.043	108.448	2.34	114.693	36	1.02
09) Campinas	664.555	846.084	2.21	883.894	33	1.00
10) Charqueada	8.399	10.739	1.72	11.112	32	0.99
11) Cordeirópolis	9.386	13.335	3.24	14.213	51	1.13
12) Corumbataí	2.797	3.153	1.09	3.222	15	0.86
13) Cosmópolis	23.232	36.646	4.23	39.812	71	1.28
14) Holambra (*)						
15) Hortolândia (*)						
16) Ipeúna	1.849	2.699	3.49	2.891	56	1.17
17) Iracemápolis	8.278	11.949	3.39	12.773	54	1.15
18) Itatiba	41.631	61.503	3.61	66.024	58	1.18
19) Jaguariuna	15.210	25.002	4.62	27.252	79	1.34
20) Jarinu	6.209	10.891	5.24	11.980	92	1.44
21) Joanópolis	7.752	8.185	0.49	8.265	06	0.79
22) Limeira	150.553	207.405	2.95	217.775	44	1.08
23) Monte Alegre Sul	4.860	5.430	1.01	5.539	13	0.84
24) Morungaba	6.525	8.200	2.09	8.528	30	0.97
25) Nazaré Paulista	8.412	11.544	2.99	12.237	45	1.09
26) Nova Odessa	21.893	34.094	4.10	36.821	68	1.26
27) Paulínia	20.755	36.629	5.29	40.292	94	1.45
28) Pedra Bela	4.690	5.144	0.84	5.195	10	0.82
29) Pedreira	21.383	27.811	2.41	28.923	35	1.01
30) Pinhalzinho	6.396	8.394	2.50	8.814	37	1.03
31) Piracaia	13.748	19.097	3.03	20.243	47	1.10
32) Piracicaba	214.295	283.540	2.57	297.717	38	1.03
33) Rio Claro	110.212	137.609	2.03	143.113	29	0.96
34) Rio das Pedras	13.466	19.075	3.21	20.219	50	1.12
35) Saltinho (*)						
36) St Bárbara D'Oeste	76.621	121.631	4.28	131.361	71	1.28
37) Santa Gertrudes	7.982	10.485	2.51	11.387	42	1.06
38) St Maria da Serra	2.824	4.380	4.07	4.730	67	1.25
39) St Antonio Posse	10.872	14.329	2.54	15.045	38	1.03
40) São Pedro	13.175	20.032	3.88	21.434	62	1.21
41) Sumaré	101.834	226.361	7.53	260.315	155	1.91
42) Tuiuti (*)						
43) Valinhos	48.822	67.867	3.02	71.939	47	1.10
44) Vargem (*)						
45) Vinhedo	21.641	33.571	4.07	36.257	67	1.25

Sub-totais:	2.012.064			2.932.254	45	
BACIA DO CAPIVARI:						
01) Capivari	25.173	39.495	4.17	42.655	69	1.27
02) Elias Fausto	8.288	11.628	3.12	12.326	48	1.11
03) Louveira	10.327	16.248	4.20	17.548	69	1.27
04) Mombuca	2.657	2.596	-0.2	2.050	-29	0.87
05) Monte Mor	14.020	25.546	5.60	28.356	102	1.51
06) Rafard	5.929	7.712	2.41	8.020	35	1.01
Sub-totais:	66.394			110.955	67	
Municípios limítrofes:				(*)		
01) Itirapina (2.117)	(*) 6.926	9.918	3.31	10.585	52	1.14
02) Mogi Mirim (3.385)	(*) 50.634	64.748	2.26	67.708	33	1.00
03) Serra Negra (2.253)	(*) 17.314	21.658	2.05	22.533	30	0.97
01) Indaiatuba (5.610)	(*) 53.237	100.736	5.54	112.207	110	1.57
Sub-totais proporcion.	8.309			13.365	60	
Municípios Mineiros:						
01) Camanducaia	5.993	10.412	1.05	11.479		
02) Extrema	6.169	10.717	1.05	11.815		
03) Itapeva	1.834	3.186	1.05	3.513		
04) Toledo	720	1.310	1.03	1.378		
Sub-totais:	14.716			28.185	91	
TOTAIS:	2.101.483	.	.	3.084.759	46	.
	(*)			(*)		

Observações:

1) (*): Os números populacionais referentes aos municípios limítrofes foram considerados proporcionalmente nos totais apresentados em função da área rural abrangida, da mesma forma que em relação ao número de poços;

2) Legenda da Tabela 9.1:

a = População do município no Censo do IBGE de 1980;

b = População do município no Censo do IBGE de 1991;

c = Taxa média anual de crescimento populacional entre 1980 e 1991;

d = População do município projetada para o ano de 1993;

e = Percentual de crescimento populacional do município no período;

f = Índice de crescimento populacional do município em relação ao crescimento populacional de Campinas no mesmo período.

Tabela 9.2 - Número de Poços Tubulares existentes nos municípios das bacias dos rios Piracicaba e Capivari

Municípios	No. Poços 1980 / (cadastrados)	No. Poços 1993 / (estimados)	Aquíferos explotados
BACIA DO RIO PIRACICABA:			(e/ou)
01) Aguas de São Pedro	07	28	IT - PD
02) Americana (**)	38	105	IT - DB
03) Amparo	61	172	CR - CZ
04) Analândia	04	12	BT - PD
05) Artur Nogueira	16	70	IT - DB
06) Atibaia	63	195	CR - CZ
07) Bom Jesus dos Perdões	03	10	CR
08) Bragança Paulista	35	108	CR
09) Campinas (*.1)	140	424	CR - IT - DB
10) Charqueada	09	27	BT - PD
11) Cordeirópolis	06	21	IT - DB
12) Corumbataí	01	03	IT - PD
13) Cosmópolis (**)	13	41	IT - DB
14) Holambra (**)	-	134	IT
15) Hortolândia (*.2)(**)	41	113	IT
16) Ipeúna	03	11	IT - PD - CZ
17) Iracemápolis	02	07	IT - DB
18) Itatiba	41	147	CR
19) Jaguariuna (**)	16	110	CR
20) Jarinu	09	39	CR
21) Joanópolis	02	05	CR
22) Limeira	69	226	IT - DB
23) Monte Alegre do Sul	10	25	CR
24) Morungaba	02	06	CR
25) Nazaré Paulista	01	03	CR
26) Nova Odessa (**)	24	52	IT - DB
27) Paulínia (**)	29	110	IT - DB - CZ
28) Pedra Bela	01	03	CR
29) Pedreira	14	43	CR
30) Pinhalzinho	02	06	CR
31) Piracaia	06	20	CR
32) Piracicaba	40	125	IT - PD - DB
33) Rio Claro	37	108	IT - PD - CZ
34) Rio das Pedras	05	17	IT - DB
35) Saltinho (*.3)	04	12	IT - PD - CZ
36) Santa Bárbara D'Oeste	27	105	IT - DB
37) Santa Gertrudes	06	19	IT - PD - DB
38) Santa Maria da Serra	04	15	BT - SG - CZ
39) Santo Antonio de Posse	09	28	CR - IT - DB
40) São Pedro	18	66	BT - SG - CZ
41) Sumaré (*.2) (**)	41	122	IT
42) Tuiuti (*.3)	02	06	CR
43) Valinhos	109	363	CR
44) Vargem (*.3)	01	03	CR
45) Vinhedo (*.1)	15	57	CR
Sub-total da bacia:	986	3.322	

<u>(Municípios limítrofes)</u>			
01) Itirapina	10	31	BT - SG - CZ
02) Mogi Mirim	05	15	IT
03) Serra Negra	07	20	CR
Sub-total na bacia	22	66	
<u>(Municípios Mineiros)</u>			
01) Camanducaia (*.4)	-	05	CR
02) Extrema "	-	05	CR
03) Itapeva "	-	05	CR
04) Toledo "	-	03	CR
TOTAL DA BACIA:	1.008 poços	3.406 poços	índice: 3,37

BACIA DO RIO CAPIVARI:

01) Capivari	14	54	IT - DB
02) Elias Fausto	11	37	IT
03) Louveira	49	188	CR
04) Mombuca	03	09	IT
05) Monte Mór	40	182	IT
06) Rafard	09	28	IT - DB
07) Campinas (*.1)	104	316	CR - IT
08) Vinhedo (*.1)	14	53	CR
Sub-total da bacia:	244	867	
<u>(Municípios limítrofes)</u>			
01) Indaiatuba	13	39	IT
TOTAL DA BACIA:	257 poços	906 poços	índice: 3,52
TOTAL DAS DUAS BACIAS:	1.265 poços	4.312 poços	índice: 3,41

Observações:

- (**): O número de poços destes 8 municípios em 1993 está estimado a partir de um cadastramento recente, efetuado pelo I.G. em 1994, como parte de um trabalho em andamento na região;
- (*.1): Os municípios de Campinas e Vinhedo têm um número significativo de poços distribuídos nas áreas das duas bacias e, portanto, constam das relações dos municípios das bacias do Piracicaba e do Capivari com o número de poços correspondente;
O número de poços de Campinas em 1993 está projetado a partir dos 672 poços cadastrados pelo I.G. em 1992;
- (*.2): Os 82 poços cadastrados pelo DAEE em Sumaré em 1980 foram divididos igualmente entre Sumaré e Hortolândia;
- (*.3): Os poços de Saltinho, Tuiuti e Vargem em 1980 foram desmembrados dos poços dos municípios dos quais eram distritos até 1992;
- (*.4): O número de poços dos 4 municípios de Minas Gerais está estimado em razão da falta de informações mais precisas.

9.2 - Número de poços em operação

Uma vez estimado o número de poços existentes nas bacias, é necessário considerar que uma parcela desses poços encontra-se inativa por motivos diversos.

Então, para a avaliação do número de poços em funcionamento, explotando água subterrânea nas bacias, foi utilizada uma média simples entre os dois índices disponíveis sobre poços inoperantes, obtidos a partir dos cadastramentos de poços realizados nos estudos hidrogeológicos anteriores, do DAEE e do IG, que apresentaram os seguintes resultados:

- 25% de poços inativos entre os 1.918 poços cadastrados pelo DAEE no Estudo de Água Subterrânea da Região Admin. 5, em 1980;
- 35% de poços inativos entre os 672 poços cadastrados pelo IG no trabalho realizado no município de Campinas, em 1992;

Assim, para os 4.312 poços tubulares estimados para as duas bacias, consideramos que 70%, ou 3.020 poços, encontram-se em operação na região.

9.3 - Estimativa da vazão de água subterrânea explotada

Tendo o número estimado de poços em funcionamento nas bacias, é necessário estabelecer uma vazão operacional média para esses poços visando uma estimativa para o volume de água subterrânea atualmente explotado na região. Mais uma vez recorreremos aos dados disponíveis de vazão explotada por poço, obtidos a partir dos poços que dispunham de informações sobre a vazão bombeada e o período de funcionamento do poço, representando uma parcela do total de poços cadastrados pelo DAEE em 1980 e pelo IG em 1992, com os seguintes resultados:

- Vazão média regional por poço (DAEE): 2,91 m³/h = 25.500 m³/ano;
- Vazão média por poço em Campinas (IG): 2,60 m³/h = 22.800 m³/ano;
- Vazão média por poço adotada nesta avaliação: 2,75 m³/h;

Assim, considerando os 3.020 poços ativos na região, operando com uma vazão contínua de 2,75 m³/h, devemos ter:

- Vazão total de água subterrânea explotada nas bacias = 2,3 m³/s;

que equivalem a:

Q(total) = 72,5 milhões de m³/ano, ou:

11% da disponibilidade de água subterrânea estabelecida para as bacias do Piracicaba e Capivari no capítulo 8, ou ainda:

7% do consumo total de água verificado nas bacias em 1991 no capítulo 4.

9.4 - Estimativa da vazão explotada por aquífero

Adotando-se índices inferidos a partir do estudo regional do DAEE de 1980, que estabeleceu os percentuais de distribuição dos poços cadastrados pelos aquíferos e volumes explotados, teremos:

Tabela 9.3 - Vazão explotada por aquífero

Aquíferos	% de Poços	Vazão (m ³ /s)
Cenozóico	0,5	0,01
Bauru	0,2	0,005
Serra Geral	0,3	0,007
Botucatu	3	0,07
Diabásio	6	0,14
Passa Dois	4	0,09
Itararé	37	0,85
Cristalino	49	1,13
Totais:	100	2,30

9.5 - Estimativa da vazão explotada para os diversos usos

Da mesma forma, adotando-se índices inferidos a partir do estudo regional do DAEE de 1980, que estabeleceu percentuais de distribuição das vazões explotadas para os usos a que se destinava a água subterrânea, teremos:

- Uso Sanitário: 1,15 m³/s (50% do total explotado)
(8,5% do consumo de água verificado na bacia para essa finalidade)
Observação: este valor inclui usos para abastecimento público, condomínios, uso particular doméstico e recreação;
- Uso Industrial: 1,06 m³/s (46% do total explotado)
(7,2% do consumo de água verificado na bacia para essa finalidade)
Observação: este valor inclui usos em saneamento da industria e no processo industrial;
- Uso em atividade Agro-pastoril: 0,09 m³/s (4% do total explotado)
(1,7% do consumo de água verificado na bacia para essa finalidade)
Observação: este valor inclui usos em irrigação e na criação de animais;
- O total de água subterrânea explotada representa cerca de 7% do total da água utilizada nas bacias do Piracicaba e Capivari.

9.6 - Níveis da utilização atual dos aquíferos nas bacias

Uma vez estimadas as vazões de água subterrânea utilizadas na região e as reservas disponíveis nos aquíferos que ocorrem nas duas bacias, podemos estabelecer os níveis atualizados da utilização de água subterrânea frente a sua disponibilidade nos aquíferos. A Tabela 9.4 abaixo mostra os índices desse aproveitamento nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari.

Tabela 9.4 - Índices de aproveitamento dos aquíferos nas bacias

Aquíferos	Q-1 (m ³ /s)	Q-2 (m ³ /s)	Q-2/Q-1 (%)
Cenozóico	0,50	0,01	2
Bauru	0,29	0,005	< 2
Serra Geral	0,42	0,007	< 2
Botucatu	4,64	0,07	< 2
Diabásio	0,75	0,14	18
Passa Dois	1,17	0,09	8
Itararé	3,35	0,85	25
Cristalino	9,68	1,13	12
Totais:	20,80	2,30	11

Legenda da Tabela 9.4:

Q-1 = Reserva disponível de água subterrânea no aquífero;

Q-2 = Vazão atual de água subterrânea explotada do aquífero;

Q-1/Q-2 = Índice de aproveitamento do aquífero.

Observações:

1) o aquífero Cristalino, o mais explotado na região, utiliza pouco mais de 10% de seu potencial disponível, da mesma forma que o total de água subterrânea explotada em relação ao seu potencial nas duas bacias;

2) o aquífero Itararé apresenta o maior índice de aproveitamento e ainda assim utiliza-se um quarto de sua reserva estabelecida.

9.7 - Níveis da utilização de água subterrânea nas bacias frente a sua utilização no Estado de São Paulo

Neste item procura-se mostrar o nível atual de utilização de água subterrânea por aquífero nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari comparativamente as estimativas de água subterrânea atualmente explotadas dos diversos aquíferos no Estado de São Paulo.

As estimativas das quantidades de poços e volumes explotados para o Estado foram reavaliadas por este autor e inferidas para 1993 nesta oportunidade, a partir de dados de um estudo interno de avaliação da situação dos recursos hídricos no Estado de São Paulo, realizado pelo DAEE - FCTH em 1989 / 90, onde, a partir de projeções de dados sobre poços tubulares contidos nos "Estudos de Aguas Subterrâneas das diversas regiões administrativas do Estado de São Paulo", associados ao sentimento e experiência empírica de vários técnicos daquele órgão que trabalham no setor, entre os quais este autor, foram feitas as estimativas dos volumes de água subterrânea utilizados até 1989 no Estado.

Assim, na Tabela 9.5 estão mostradas as estimativas pouco precisas dos poços tubulares em operação no Estado, das vazões totais de água subterrânea explotadas a partir dos aquíferos paulistas e dos níveis percentuais dessa utilização nos aquíferos que ocorrem nas bacias do Piracicaba e Capivari.

De um total estimado de 25 m³/s de água subterrânea explotada em todo o território do Estado de São Paulo em 1993, pouco mais de 9% foram utilizados na área das bacias dos rios Piracicaba e Capivari. Do aproveitamento dos aquíferos nas bacias, destacam-se os aquíferos Diabásio, com quase 80 % da vazão total utilizada no Estado, e o Passa Dois, com 65%, seguindo-se o Cristalino com cerca de 43% e o Itararé com cerca de 40% do total utilizado no Estado.

Para o entendimento da Tabela 9.5, na página seguinte, deve-se considerar a seguinte legenda e condições:

PO = número total estimado de poços em operação por aquífero no Estado de São Paulo, em 1993 = 37.000;

QM = vazão média por poço, em m³/hora;

VA = volume anual de água subterrânea explotada, considerando um tempo médio de funcionamento de 8 horas / dia e 365 dias / ano para cada poço, estimado em cerca de 800 milhões de m³;

QE = vazão total de água subterrânea explotada por aquífero no Estado e total geral explotado no Estado, em 1993, que deve alcançar um valor da ordem de 25 m³/s;

QB = vazão de água subterrânea explotada por aquífero nas duas bacias e total geral explotado nas duas bacias, em 1993;

% = nível percentual de utilização da água subterrânea por aquífero e total nas bacias, relacionados ao aproveitamento no Estado;

Tabela 9.5 - Níveis da utilização de água subterrânea nos aquíferos das bacias frente a sua utilização no Estado

Aquífero	PD	QM (m ³ /h)	VA (X 10E6 m ³)	QE (m ³ /s)	QB (m ³ /s)	%
Cenoz.Interior	300	2	1,7	0,06	0,01	17
Cenoz.Litoral	300	2	1,7	0,06	*	-
Cenoz.S.Paulo	8.000	6	140	4,4	*	-
Cenoz.Taubaté	1.200	12	42	1,3	*	-
Bauru	12.000	6	210	6,7	0,005	<0,1
Caiuá	200	20	11,7	0,4	*	-
Serra Geral	1.800	10	53	1,6	0,007	<0,5
Botucatu	1.000	60	175	5,5	0,07	<1,5
Passa Dois	300	3	2,6	0,14	0,09	65
Diabásio	500	4	5,8	0,18	0,14	78
Itararé (Tubarão)	4.000	6	70	2,2	0,85	39
Cristalino	7.000	4	82	2,6	1,13	43
Total	37.000		797	25,14	2,3	9,2

Observações:

- 1) *: aquífero que não ocorre nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari;
- 2) foi considerado um tempo médio de funcionamento de 8 horas / dia e 365 dias / ano para cada poço.

10 - PERSPECTIVAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Uma vez estimadas as quantidades de água subterrânea disponível e de água subterrânea utilizada nas bacias dos rio Piracicaba e Capivari, é notório o sub-aproveitamento do recurso hídrico subterrâneo na região. Esse fato se justifica em razão do fraco desempenho dos aquíferos regionais, quando se trata de produzir vazões compensadoras nos poços perfurados na região para atendimento de demandas superiores a 5 l/s ou 18 m³/h.

Entretanto, em vista da grande reserva de água subterrânea potencialmente disponível nos aquíferos, das evoluções tecnológicas desenvolvidas pelo setor de construção de poços tubulares, do avanço, ainda que segmentado, do conhecimento hidrogeológico da região e da possível e desejável utilização efetiva desse conhecimento associado ao uso de técnicas hidrogeológicas de prospecção bem conduzidas para captação de água subterrânea, podemos esperar por resultados mais positivos na produção média dos poços tubulares perfurados na região, levando-nos a um prognóstico otimista de progresso marcante a ser experimentado na utilização de água subterrânea para os diferentes usos nas duas bacias.

Essa perspectiva promissora de atendimento de pequenas, até 10 m³/h, e médias, até 30 m³/h, demandas de água, induziu-nos a uma estimativa de vazões potenciais e profundidades de poços tubulares, com vistas a permitir uma avaliação prática preliminar das condições de aproveitamento da água subterrânea através de poços para o abastecimento de comunidades e empreendimentos localizados nos municípios e nos diferentes aquíferos que ocorrem em seus territórios, conforme mostra a Tabela 10.1.

No entanto, é necessário entender que o prognóstico apresentado pressupõe os poços tubulares localizados, projetados e construídos dentro de normas técnicas racionais e conforme critérios estabelecidos a partir de estudos de avaliação hidrogeológica desenvolvidos para as localidades específicas nos municípios das bacias e que demonstrem condições hidrogeológicas favoráveis e a viabilidade do atendimento da demanda solicitada.

Tabela 10.1 - Estimativa de vazões potenciais e profundidades para Poços Tubulares localizados em municípios da região

Localidades situadas em municípios da bacia do Piracicaba			
Municípios	Aquífero explorado	Profundidade prevista (m)	Vazão Potencial estimada (m ³ /h)
Aguas de São Pedro	PD + IT	300	30
Americana	IT	300	15
Americana	DB	150	10
Amparo	CR	150	10
Analândia	BT + PD	200	30
Artur Nogueira	IT	250	15
Atibaia	CR	150	10
Atibaia	CZ	30	10

Tabela 10.1 (continuação - 1)

Municípios	Aquífero explorado	Profundidade prevista (m)	Vazão Potencial estimada (m ³ /h)
Bom Jesus dos Perdões	CR	150	10
Bom Jesus dos Perdões	CZ	30	10
Bragança Paulista	CR	150	10
Campinas	IT	250	15
Campinas	CR	150	20
Campinas	DB	200	10
Charqueada	BT + PD	200	20
Cordeirópolis	PD + IT	300	15
Cordeirópolis	DB	150	10
Corumbataí	PD + IT	300	25
Cosmópolis	IT	250	15
Holambra	IT	200	10
Hortolândia	IT	300	25
Ipeúna	CZ + PD	200	25
Iracemápolis	DB + IT	300	10
Itatiba	CR	150	10
Jaguariuna	CR	150	10
Jarinu	CR	150	10
Joanópolis	CR	150	15
Limeira	IT	400	30
Limeira	DB	200	10
Monte Alegre do Sul	CR	150	15
Morungaba	CR	150	15
Nazaré Paulista	CR	150	10
Nova Odessa	IT	300	15
Nova Odessa	DB	200	10
Paulínia	IT	250	15
Paulínia	DB	150	10
Paulínia	CZ	40	5
Pedra Bela	CZ	150	10
Pedreira	CR	150	15
Pinhalzinho	CR	150	15
Piracaia	CR	150	15
Piracicaba	PD + IT	350	20
Piracicaba	DB	150	10
Rio Claro	PD + IT	300	20
Rio Claro	CZ	40	5
Rio das Pedras	DB + IT	300	20
Saltinho	CZ	30	10
Saltinho	PD	200	5
Santa Bárbara D'Oeste	IT	300	15
Santa Bárbara D'Oeste	DB	150	10
Santa Gertrudes	PD + IT	300	30
Santa Maria da Serra	BT	150	40
Santo Antonio de Posse	IT	100	5
Santo Antonio de Posse	CR	150	10
Santo Antonio de Posse	DB	150	10
São Pedro	BT	150	30
Sumaré	IT	300	20

Tabela 10.1 (continuação - 2)

Municípios	Aquífero explorado	Profundidade prevista (m)	Vazão Potencial estimada (m ³ /h)
Tuiuti	CR	150	10
Valinhos	CR	150	20
Vargem	CR	150	10
Vinhedo	CR	150	10
Localidades situadas em municípios da bacia do Capivari			
Capivari	IT	300	25
Elias Fausto	IT	300	20
Louveira	CR	150	10
Mombuca	IT	300	20
Monte Mór	IT	300	20
Rafard	IT	300	25

Observações:

- 1) Legenda para a Tabela 10.1 - Aquíferos: CZ = Cenozóico
BT = Botucatu
DB = Diabásio
PD = Passa Dois
IT = Itararé
CR = Cristalino
- 2) Uma vez mais cabe salientar que as vazões potenciais foram estimadas em caráter preliminar para poços a serem construídos conforme critérios técnicos racionais em situações hidrogeológicas favoráveis para aquíferos muito heterogêneos.
- 3) Assim, deve-se ter em conta possíveis variações positivas ou negativas, normais da ordem de até 50% e excepcionais da ordem de até 80%, nos prognósticos estabelecidos.

11 - QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A água subterrânea dos aquíferos que ocorrem nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari apresentam em geral uma boa qualidade, o que permite sua utilização, normalmente sem restrições, para abastecimento público, usos industriais, criação de animais e irrigação.

A mineralização da água é baixa, possivelmente devido as altas taxas pluviométricas regionais, aos tipos litológicos pouco solúveis predominantes nos aquíferos e ao rápido escoamento da água pela zona não saturada do aquífero.

11.1 - Classificação hidroquímica da água subterrânea

Durante o Estudo de Aguas Subterrâneas realizado pelo DAEE na região em 1980 / 81, foram coletadas e analisadas 125 amostras de água subterrânea proveniente de poços tubulares perfurados nos diversos aquíferos que ocorrem nas duas bacias e áreas adjacentes. Destas, 116 (93%) foram classificadas, em função de sua composição e tipo hidroquímico, como bicarbonatadas. Das 9 amostras restantes, 5 (4%) foram classificadas como águas sulfatadas e as outras 4 (3%) como águas cloretadas. Quanto aos cátions, predominam o cálcio no aquífero Cristalino e o sódio no aquífero Itararé.

Secundariamente, ocorre o íon magnésio e as águas sulfatadas cálcicas e cloretadas sódicas constituem ocorrências localizadas.

De modo geral verifica-se ainda que as águas provenientes dos aquíferos Diabásio e Passa Dois e a água retirada de mais de um aquífero (mistas), apresentam uma classificação variada entre todos os diferentes tipos hidroquímicos citados.

Bertachini, em 1987, analisando 59 amostras de água subterrânea proveniente do aquífero Cristalino no vizinho município de Jundiaí, confirma a baixa mineralização da água subterrânea desse aquífero, e classifica sua água como bicarbonatadas cálcica a mistas com predominância do íon cálcio.

Estudos mais recentes realizados pelo IG - Instituto Geológico em 1990 / 91, confirmam a classificação de água bicarbonatada sódica a cálcio sódica para amostras de água proveniente do aquífero Itararé na região da bacia do Capivari.

11.2 - Composição química e potabilidade da água

O teor de STD - sólidos totais dissolvidos varia entre 100 e 300 mg/l nos dois principais aquíferos regionais, o Cristalino e o Itararé. No aquífero Botucatu os valores de STD situam-se, geralmente, abaixo de 100 mg/l e no aquífero Passa Dois esses valores ficam, em geral, acima de 200 mg/l.

O pH da água subterrânea dos aquíferos das bacias varia de 5 a 9, e os valores de condutividade elétrica são, em geral, inferiores a 350 uS/cm.

O aquífero com mais baixo teor de mineralização é o Botucatu, que apresenta condutividade entre 10 e 35 uS/cm e um pH mais ácido, entre 4,5 e 6, seguido pelo aquífero Cristalino que apresenta condutividade inferior a 200 uS/cm e pH entre 5 e 7.

O aquífero Itararé apresenta condutividade inferior a 350 uS/cm e pH frequentemente básico, variando entre 6 e 9.

Os aquíferos que apresentam os teores de mineralização mais elevados são o Diabásio e, principalmente, o Passa Dois, com uma condutividade sempre superior a 200 uS/cm, podendo chegar até 2.000 uS/cm neste último, pH básico e ocorrências localizadas de concentrações elevadas de sulfatos e cloretos que, em vários casos, podem restringir a utilização da água excedendo os padrões de potabilidade.

O atendimento satisfatório aos padrões de potabilidade da água subterrânea podem ser avaliados de maneira sucinta na Tabela 11.1, obtida do estudo do DAEE realizado em 1981 e elaborada a partir do resultado das análises das 125 amostras de água subterrânea coletadas em poços tubulares perfurados nos aquíferos da região.

Tabela 11.1 - Enquadramento das amostras de água subterrânea nos padrões de potabilidade

Parâmetros	Unidade	Padrão adotado	Resultado das análises dentro do padrão	
			no. de amostras	%
1) pH	-	5 a 10	117	93,6
2) Alcalinidade total	mg/l CaCO ₃	até 250	122	97,6
3) Nitrogênio Nitrato	mg/l N	até 6,0	123	98,4
4) Dureza total	mg/l CaCO ₃	até 200	124	99,2
5) Cloretos	mg/l Cl	até 250	123	98,4
6) Ferro solúvel	mg/l Fe	até 0,3	123	98,4
7) Fluoreto	mg/l F	até 1,2	113	90,4
8) Res. filt.(180o.C)	mg/l	até 500	120	96,0
9) Sulfato	mg/l SO ₄	até 250	122	97,6

Obs.: % referente ao total de 125 amostras analisadas.

11.3 - Vulnerabilidade dos aquíferos

Ao contrário do que se possa imaginar, mesmo não sendo vista por se encontrar "protegida" no interior dos aquíferos, a água subterrânea também é um recurso bastante vulnerável a degradação pela poluição. As atividades humanas, sejam elas agrícolas, domésticas, industriais ou de mineração e mesmo sendo desenvolvidas na superfície dos terrenos, são geradoras potenciais de poluentes que, quando dispostos de maneira incorreta e sem os devidos cuidados, podem comprometer a qualidade natural da água subterrânea.

O processo mais comum de poluição da água subterrânea ocorre quando substâncias nocivas geradas pelas diversas atividades são colocadas diretamente sobre o solo e, incorporadas pela água da chuva, são

transportadas para o interior do solo pela parcela dessa água que se infiltra, acabando por atingir a zona saturada e, por conseguinte, poluir os aquíferos.

Desta forma, nota-se que uma determinada região reúne condições potenciais mais favoráveis de degradação da água subterrânea proporcionalmente a intensidade dos impactos causados pelo seu desenvolvimento, entendido como seu grau de ocupação urbana e seus níveis de atividades industriais e agrícolas. O risco de poluição potencial também é mais intenso quanto mais chuvosa for essa região, quanto mais permeável forem as camadas de seus solos e quanto maior a proximidade da zona saturada, delimitada pela superfície freática, do aquífero com a superfície dos terrenos.

Cabe salientar que foge ao escopo e oportunidade deste estudo discutir índices de vulnerabilidade relacionados as características hidrodinâmicas intrínsecas de aquíferos tão heterogeneos, cuja avaliação na região se justificaria, a nosso ver, para a análise de situações concretas e específicas de poluição que ocorram nas bacias.

Nessas condições é possível estabelecer níveis do potencial de vulnerabilidade para os aquíferos das bacias em função de suas localizações, áreas de ocorrência, características litológicas e características hidrogeológicas gerais, associadas a uma maior ou menor suscetibilidade a poluição.

Assim, podemos considerar os aquíferos Cenozóico e Botucatu como altamente vulneráveis, condição que se pode estender as áreas de ocorrência superficial de litologia predominantemente mais arenosa do aquífero Itararé. Particularmente, o aquífero Botucatu ocorre na bacia do Piracicaba, sendo em condições mais interessantes para seu aproveitamento atual na região, em situação estrategicamente muito importante por constituir uma área de recarga desse aquífero que se estende, confinado pelos basaltos, para todo o Oeste do Estado, onde vem sendo largamente utilizado como fonte de abastecimento para grande parte das cidades e, portanto, necessita medidas rigorosas e efetivas de proteção como manancial.

Mesmo ocorrendo na região mais ocupada pela expansão urbana e de maior atividade industrial das bacias, os aquíferos Itararé, no geral, onde predominam as litologias constituídas por lamitos variados, diamictitos e lentes arenosas, e Diabásio, aquífero com porosidade de fissuras, assumem um nível médio de vulnerabilidade, uma vez que suas heterogeneidade, descontinuidade e elevada anisotropia, a nosso ver, mitigam os efeitos mais extensivos da poluição imposta ao aquífero, principalmente pela disposição de resíduos sólidos e efluentes líquidos industriais, além dos processos de irrigação com efluentes agro-industriais.

O aquífero Passa Dois, pelas mesmas razões do Itararé somadas a sua permeabilidade muito reduzida, apresenta uma vulnerabilidade baixa, mesma classificação que apontamos para os aquíferos Bauru e Serra Geral, em razão de suas áreas inexpressivas de ocorrência na bacia do Piracicaba.

O aquífero Cristalino, apesar de mais extenso que os demais, ocorre numa região de atividade industrial mais moderada e com menor ocupação urbana, fator que aliado a sua extrema heterogeneidade e caráter eventual, associados a porosidade de fissuras condicionadas pela ocorrência de estruturas geológicas rúpteis, conferem ao Cristalino uma condição geral de baixa vulnerabilidade.

12 - ASPECTOS JURIDICOS E INSTITUCIONAIS DA AGUA SUBTERRANEA

Tendo em vista que os aproveitamentos dos recursos hídricos estão disciplinados por legislação pertinente, apresentamos neste capítulo um elenco de considerações envolvendo os aspectos legais particulares a água subterrânea aos quais sua captação e utilização devem ser submetidas no Estado de São Paulo e, portanto, nas bacias do Piracicaba e Capivari.

Essas considerações tem por objetivo avaliar a conjuntura atual e sugerir condições mais propícias para que o embasamento legal, fundamental para a gestão dos recursos hídrico, especialmente a água subterrânea, venha a se efetivar como instrumento prático de controle dos aproveitamentos de água subterrânea nas bacias.

- o tema relativo a legislação dos recursos hídricos, particularmente as águas subterrâneas, apresenta-se ainda um tanto complexo na medida em que instrumentos legais modernos, criados recentemente visando o disciplinamento e racionalização do uso das águas e resultantes das determinações constitucionais federais e estaduais, carecem de regulamentação e de legislação complementares, esbarrando em certos casos com leis mais antigas e ainda não revogadas ou reformuladas apesar de incompletas, ultrapassadas e incompatíveis com a realidade e o pensamento atuais do país;

- um poço tubular profundo, denominação técnica correta, ou também "poço artesiano" ou "poço semi-artesiano", denominações vulgares, constitui uma obra de Engenharia e como tal é tratado pelo CREA - Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia;

- portanto, a construção de poços está afeita as normas vigentes do CREA quanto a exigência da responsabilidade técnica de profissional capacitado para a elaboração de projeto inicial, perfuração, completação e equipamento de poços tubulares;

- a ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, elaborou e encontram-se em vigor desde Março de 1990, as Normas NB-588: "Projeto de poço para captação de água subterrânea", e NB-1290: "Construção de poço para captação de água subterrânea", que fixam as condições exigíveis para o desenvolvimento de projeto e construção de poços tubulares;

- o Estado de São Paulo dispõe na atualidade de uma legislação básica específica sobre recursos hídricos, envolvendo particularmente as águas subterrâneas, na qual estão instituídos os instrumentos e procedimentos necessários as diversas práticas da gestão, pelo poder público estadual e, sob delegação deste, pelo poder público municipal, do aproveitamento das águas subterrâneas;

- é facultado ao município suplementar a legislação estadual sobre a matéria no que couber e, exclusivamente, de forma a atender seus interesses relacionados a peculiaridades locais;

- a edição futura da Lei federal sobre águas subterrâneas, cujo projeto de lei tramita no Congresso Nacional, não deverá alterar significativamente a legislação estadual e as competências vigentes, tampouco deverá impedir o município de continuar legislando em caráter suplementar;

- o Estado não tem apenas o dever mas está obrigado a desenvolver programas permanentes de conservação e proteção da água subterrânea, além de promover sua utilização de forma racional e prioritária para o abastecimento das populações;

- legalmente compete ao DAEE, no âmbito do território paulista, autorizar, sem prejuízo da licença ambiental, a implantação de empreendimentos de qualquer natureza que demandem a utilização de água subterrânea; cadastrar usuários de água subterrânea, poços tubulares e obras de captação de água subterrânea; autorizar a perfuração de poços ou obras para captação de água subterrânea mediante a apresentação de estudos hidrogeológicos e projetos adequados; licenciar e outorgar o direito de uso da água subterrânea; controlar e fiscalizar as vazões bombeadas pelos poços, estabelecer áreas de proteção e zoneamento de restrições de exploração da água subterrânea; cobrar pelo uso da água subterrânea, uma vez estabelecidos critérios e as normas de sua cobrança;

- resultante de fatores que não cabe aqui discutir, é inegável o descontrole que ainda permanece na administração das águas subterrâneas pelo Estado, principalmente no que diz respeito a perfuração indiscriminada de poços e exploração predatória de aquíferos, em que pese a vigência da legislação;

- por outro lado, é dever constitucional do Estado incentivar a adoção, pelos municípios, de medidas no sentido de submeter a aprovação prévia por órgão estadual de gestão dos recursos hídricos, no caso o DAEE, dos atos de outorga de direitos que possam influir na qualidade ou quantidade das águas subterrâneas, cujos procedimentos estão formalizados na legislação concernente;

- através de convênios legalmente estabelecidos, o Estado poderá delegar aos municípios, organizados técnica e administrativamente para tanto, o gerenciamento das águas subterrâneas de interesse exclusivamente local;

- assim, um controle mais efetivo dos aproveitamentos de água subterrânea nas bacias pode se dar através do estabelecimento de convênios entre o Estado, no caso o DAEE, e os municípios, assumindo estes, por delegação, a competência para a gestão da água subterrânea na área do município, atendendo interesses locais;

- tal procedimento pode propiciar, além dos outros interesses, um controle efetivo dos aproveitamentos de água subterrânea e o estabelecimento de política tarifária relativa a cobranças de taxa sobre a utilização do sistema de coleta de efluentes, taxa eventual devida a disponibilidade potencial da rede de abastecimento de água do município, que pode funcionar como indutor da política de incentivo ou restrição de abastecimentos alternativos em áreas de interesse dentro do sistema de abastecimento do município;

- a alternativa é manter as responsabilidades quanto ao controle da prática efetiva da utilização racional da água subterrânea exclusivamente com o Estado, de quem deve ser cobrada então uma atuação mais eficaz na gestão da água subterrânea em consonância com os interesses peculiares da região.

- em qualquer das situações, conforme estabelece a legislação estadual em vigência, os poços tubulares existentes nas bacias devem ser cadastrados no DAEE, as novas perfurações devem ser submetidas a autorização e a utilização da água subterrânea está sujeita a concessão de licença e outorga pelo DAEE, a quem cabe avaliar os impactos do novo poço frente as condições locais e regionais de ocorrência do aquífero e sua exploração atual.

13 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo inclui alguns comentários gerais sobre tópicos relacionados ao assunto abordado neste trabalho, com base na experiência adquirida por este autor em pouco mais de 20 anos de trabalhos realizados na região e no setor de recursos hídricos subterrâneos.

Ainda que os aquíferos da região não demonstrem a produtividade desejada, capaz de atender as grandes demandas de água verificadas nas zonas mais desenvolvidas das bacias, a utilização dos recursos hídricos subterrâneos, crescente em todo o Estado de São Paulo, deve ser incentivada nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari. O uso da água subterrânea representa vantagens em relação aos mananciais de superfície em muitos casos, especialmente em cidades pequenas, nas localidades e bairros mais afastados de médias e grandes cidades, além dos mais diversos empreendimentos privados e públicos. Em situações hidrogeológicas favoráveis, que ocorrem naturalmente em muitas áreas da região, o abastecimento pode ser atendido através de poços tubulares ou mesmo por outras obras menos convencionais de captação de água subterrânea, cujos prazos de execução são mais curtos e de menor custo, permitindo maior flexibilidade de escalonamento dos investimentos necessários a implantação do saneamento básico e implementação de projetos industriais. Deve ser considerada também a característica de boa qualidade natural da água subterrânea e de seu baixo nível de comprometimento por agentes poluidores que, com raras exceções, dispensa os dispendiosos tratamentos.

A tecnologia para perfuração de poços tubulares vem experimentando uma evolução significativa ao longo destes últimos anos, destacando-se a disponibilidade atual de empresas e pessoal técnico mais qualificado, máquinas perfuratrizes hidráulicas de grande capacidade, recursos mais amplos em métodos, serviços e materiais para completação de poços, fluidos especiais para perfuração, técnicas até recentemente disponíveis apenas no ramo de exploração de petróleo. Tal desenvolvimento vem proporcionando ao DAEE, a SABESP e a iniciativa privada a proposição de projetos mais ousados e a consequente perfuração de poços de desempenho muito superiores as perfurações mais antigas.

Neste aspecto cabe salientar o papel tradicional de vanguarda desempenhado por este DAEE ao longo destas duas últimas décadas, refletido no incremento marcante da eficiência de muitos dos poços tubulares para exploração de água subterrânea construídos neste Estado para fins de abastecimento público de água, conforme projetos e patrocínio do DAEE.

Uma das técnicas de perfuração de poços tubulares em rochas sedimentares é o sistema rotativo com circulação reversa, conhecido desde longa data e, curiosamente pouco desenvolvido e utilizado em nossa região, em que pese notícias de sucesso em algumas poucas experiências realizadas na perfuração de poços tubulares para a exploração de água em áreas sedimentares do vale do Paraíba e da região metropolitana de São Paulo a mais de duas décadas.

O método rotativo com circulação reversa consiste na execução da perfuração pelo mesmo sistema rotativo convencional, diferenciando-

se pela inversão do fluxo do fluido no sistema furo / hasteamento, ou seja: - o fluido de perfuração contendo os fragmentos da rocha perfurada é bombeado do interior do poço através da broca e coluna de hastes até o tanque de sedimentação, de onde o fluido retorna ao poço por gravidade, através do espaço anelar formado entre a parede do poço e a coluna de hastes, mantendo-se o furo saturado com o fluido até a superfície do terreno.

Existem áreas e situações na região de ocorrência do aquífero Itararé nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari que, no nosso entendimento, apresentam situação apropriada para a utilização desse método. Entretanto, os resultados reais em termos quantitativos, qualitativos e exequíveis de poço perfurados através do sistema rotativo com circulação reversa, somente serão possíveis de avaliação na medida em que alguns poços pioneiros, de caráter experimental, sejam construídos na região.

Outra questão de relevante interesse, tratando-se de uma região carente em recursos hídricos, é a profundidade limite para a exploração de água do aquífero Itararé que, a exemplo do método de perfuração rotativo com circulação reversa, necessita da realização de experimentos práticos que seriam efetivados com a construção de alguns poços em diferentes áreas do Itararé, penetrando o aquífero até profundidades da ordem de 600 metros. Através desses poços seria possível avaliar concretamente, entre outros parâmetros, as condições de recarga, comportamento hidroquímico / qualidade da água e, conseqüentemente, a viabilidade de aproveitamento do aquífero Itararé a profundidades além dos 350 metros que alguns poucos poços alcançaram até os dias atuais.

Uma observação que desperta nossa atenção e, a nosso ver, requer empenho dos órgãos de pesquisa no seu esclarecimento, diz respeito a utilização do método roto-pneumático para perfuração de poços no aquífero Cristalino. Análises estatísticas aleatórias e simples, como a realizada pelo Instituto Geológico no estudo realizado em 1992 no município de Campinas, mostram uma média de 0,17 m³/h/m para os valores de capacidade específica de 40 poços perfurados pelo método roto-pneumático, contra uma média significativamente maior, de 0,29 m³/h/m, para 37 poços perfurados pelo antigo sistema de perfuração a percussão. Evidentemente que essas análises devem ser associadas a várias outras avaliações de caráter hidrogeológico e mecânico que fundamentem tais resultados, cuja efetivação a curto prazo é o propósito desta observação. De qualquer modo, ainda que pouco fundado, o fato existe e tem despertado argumentações e gerado explicações potenciais, que tanto servem para reverter como para agravar essa diferenciação da eficácia de poços perfurados pelos distintos métodos.

Se por um lado houve uma evolução no setor de tecnologia para a captação da água subterrânea, o mesmo não é notado com referência a administração da sua exploração, que continua a se processar de forma caótica, descontrolada e, muitas vezes, comprometedora. Apesar da existência de mecanismos institucionais e decorrerem 6 anos da promulgação da Lei Estadual no. 6.134 de 02/06/88 e de leis subsequentes que dispõem sobre os aproveitamentos de água subterrânea neste Estado, a regulamentação excessivamente burocrática,

destituída de eficiência nos seus procedimentos e sem nenhuma eficácia na consecução do objetivo de estabelecer um controle efetivo dos aproveitamentos de água subterrânea, impedem o próprio Estado ou quem de direito a exercer a gestão do recurso hídrico subterrâneo no território do Estado e menos ainda nas bacias. Agrava essa situação a falta de investimentos no setor da Hidrogeologia, por parte do Estado, com vistas a ampliação do conhecimento mais detalhado das condições de ocorrência e aproveitamento da água subterrânea nas bacias e no próprio Estado de modo geral. Daí a dificuldade na obtenção de dados e informações atualizadas neste setor, fundamentais para a execução de trabalhos ou prestação de serviços que tenham por objetivo racionalizar o uso da água subterrânea.

O estágio atual de conhecimentos, estudos e pesquisas de casos reais de comprometimento da qualidade da água subterrânea nas bacias encontrar-se ainda incipiente e até precário, coibindo o estabelecimento de um zoneamento geográfico criterioso e fidedigno da vulnerabilidade de seus aquíferos à poluição. Assim, é importante o desenvolvimento de estudos específicos para estabelecer critérios de aproveitamento das águas subterrâneas em conformidade com a preservação de sua qualidade natural, em função da susceptibilidade dos aquíferos à poluição e ao estágio regional ou local de degradação verificado nas áreas de interesse para exploração de água subterrânea nas bacias.

Sobre a questão da terceirização de aproveitamentos de água subterrânea destinados ao abastecimento público é uma alternativa bastante saudável e, possivelmente, com muito bom resultado, se implantada com critérios éticos e justos. Lamentavelmente neste país, onde sobrevivem e se multiplicam os aproveitadores, são necessários cuidados legais e uma estreita vigilância da sociedade com vistas a impedir que, em razão da tamanha precariedade experimentada atualmente pela administração da coisa pública, sua ineficiência e o enorme descontrole de seus custos operacionais, um processo sadio como a terceirização acabe por resultar somente em grandes benefícios econômicos para o terceiro e um mínimo de benefícios para a comunidade.

Finalmente e ousando um pouco mais, devemos nos preparar para situações conjeturais futuras, não tão distantes, iniciando a avaliação preliminar de alternativas que possam incrementar os aproveitamentos de água subterrânea como:

- implantação de baterias de poços no aquífero Botucatu, em áreas vizinhas às bacias e hidrogeologicamente muito favoráveis, situadas a jusante do reservatório de Barra Bonita, com perspectivas de retiradas de água subterrânea da ordem de 3 m³/s;
- perfuração de poços tubulares sub-horizontais em áreas cristalinas com ocorrência e predominância de estruturas sub-verticais;
- poços radiais e outras formas não convencionais para captação de água subterrânea em aquíferos aluvionares;
- utilização de técnicas mais modernas, como radares sofisticados e direcionados para usos geológicos, nos levantamentos para prospecção de água subterrânea principalmente nos aquíferos Cristalino e Itararé, que ocorrem em quase 70% da área das duas bacias.

14 - CONCLUSÕES

A região das bacias dos rios Piracicaba e Capivari foi alvo de inúmeros trabalhos sistemáticos, como os estudos, diagnósticos e planos diretores, elaborados anteriormente com vistas a caracterização e ao planejamento do uso de seus recursos hídricos. Com exceção do "Estudo de Água Subterrânea da Região de Campinas", realizado pelo DAEE em 1981, todos os demais trabalhos desconhecem a água subterrânea como componente dos recursos hídricos e como manancial de caráter exclusivo, alternativo ou suplementar, para o abastecimento de água de diversas cidades, localidades e os mais diversos empreendimentos industriais, comerciais, rurais, sociais e habitacionais, situados em áreas servidas ou não por rede pública de abastecimento de água.

Este trabalho complementa essa lacuna ao abordar o contexto dos recursos hídricos com ênfase especial para a água subterrânea, estabelecendo de forma objetiva os limites e parâmetros, físicos e dinâmicos, que condicionam a ocorrência da água subterrânea nas áreas das duas bacias.

A disponibilidade ou reserva explotável de água subterrânea, estimada em 20,8 m³/s para as duas bacias, equivale a uma fração que varia entre 15 e 30% da recarga média multianual dos aquíferos, que corresponde ao volume de água que é drenado pelos rios na forma de escoamento básico.

O volume de água que circula anualmente pelos aquíferos é bastante elevado, da ordem de 3 bilhões de m³, correspondendo a uma vazão de 94 m³/s e, seguramente, a exploração de uma parcela de 20,8 m³/s, equivalente a cerca de 22% da vazão básica das bacias, é exequível.

Essa reserva explotável não deve ser considerada de forma absoluta ou definitiva e sim como um limite viável que estabelece o potencial de água subterrânea disponível nas bacias, de modo a permitir um planejamento racional de seu aproveitamento. A qualquer tempo é possível a revisão desse limite total e dos demais limites estabelecidos para os aquíferos, associando-os a outros fatores de ordem econômica, tecnológica ou, simplesmente, de demanda.

A reserva explotável dos aquíferos é, portanto, uma questão técnica e também econômica quando se deve decidir o quanto desejamos influenciar no escoamento básico e, por conseguinte, nas vazões mínimas dos rios das bacias e seus aproveitamentos.

De um total estimado em 25 m³/s ou 800 milhões de m³/ano de água subterrânea explotada em todo o território do Estado de São Paulo em 1993, pouco mais de 9%, correspondentes a 2,3 m³/s, foram utilizados na área das bacias dos rios Piracicaba e Capivari.

Do aproveitamento dos aquíferos nas bacias, destacam-se os aquíferos Diabásio, com quase 80 % da vazão total utilizada no Estado, e o Passa Dois, com 65%, seguindo-se o Cristalino com cerca de 43% e o Itararé com cerca de 40% do total utilizado no Estado.

Da reserva disponível nos aquíferos das duas bacias, o aquífero Cristalino é o mais explorado, utilizando pouco mais de 10% de seu potencial disponível e o aquífero Itararé apresenta o maior índice de aproveitamento utilizando somente um quarto da disponibilidade estabelecida para esse aquífero.

O total de 2,3 m³/s de água subterrânea explorada representa 11% do seu potencial disponível de 20,8 m³/s nas duas bacias e esse baixo índice de utilização de água subterrânea se justifica devido, principalmente, aos aquíferos que ocorrem nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari apresentarem características pouco favoráveis para grandes retiradas de água subterrânea através de poços.

A produtividade pouco expressiva dos poços na região é consequência da baixa transmissividade, grande heterogeneidade e descontinuidade dos aquíferos, mormente nas áreas onde se concentram as maiores demandas de água das bacias.

Apesar das limitações de exploração desses aquíferos de uma forma tecnicamente mais racional e economicamente mais viável, estima-se em mais de 4.300 o número de poços tubulares perfurados nas duas bacias, dos quais cerca de 3.000 devem estar atualmente em operação.

Os 3.000 poços em funcionamento na região proporcionam um aproveitamento anual de água subterrânea que atinge mais de 72 milhões de m³ e atendem cerca de 7% do consumo total de água verificado nas duas bacias.

Metade da vazão explorada, 1,15 m³/s, destina-se ao uso sanitário e pouco menos, 1,06 m³/s, ao uso industrial.

A utilização de água subterrânea vem crescendo nos últimos anos por razões ambientais, técnicas e econômicas, atuando por excelência como fonte estratégica de água potável para a área rural, para pequenas cidades, comunidades isoladas e, principalmente, como fonte alternativa e suplementar de abastecimento de água em áreas urbanas atendidas por rede pública de distribuição de água tratada, por motivos de ordem qualitativa, quantitativa, econômica ou sua associação.

Salvo poucas exceções que ocorrem de forma localizada, a qualidade natural da água subterrânea dos aquíferos é boa, permitindo em geral sua utilização no abastecimento público, processos industriais, criação de animais e irrigação.

A avaliação de todos esses fatores relatados mostra uma condição plenamente favorável para um incremento acentuado no aproveitamento de água subterrânea que, certamente, deverá se verificar na região no decorrer dos próximos anos.

Diante desse panorama, torna-se fundamental a necessidade da adoção de medidas que efetivem a administração racional e integrada das águas superficiais e subterrâneas pelo poder público, o que vem sendo preconizado sistematicamente pelos meios técnicos e constitui um dos maiores anseios da comunidade regional.

BIBLIOGRAFIA

- AEAP, Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Piracicaba,.; 1987. "Campanha Ano 2000 - Redenção Ecológica da Bacia do Piracicaba". AEAP,JP & IOMP Ed. 32 p. Piracicaba.
- AGUAS E ENERGIA ELETRICA, Revista; 1988. "Bacia do Piracicaba - Proposta de Programas Prioritários". Assessoria de Recursos Hídricos do DAEE. Ano 5, No. 13, p. 5 / 13; DAEE Ed. São Paulo.
- AGUAS E ENERGIA ELETRICA, Revista; 1988. "Água Subterrânea - Reserva Estratégica". Assessoria de Recursos Hídricos do DAEE. Ano 5, No. 13, p. 14 / 35; DAEE Ed. São Paulo.
- AGUAS E ENERGIA ELETRICA, Revista; 1988. "Regionalização Hidrológica no Estado de São Paulo". Assessoria de Recursos Hídricos do DAEE. Ano 5, No. 14, p. 4 / 10; DAEE Ed. São Paulo.
- ASSIS, R. B.; 1992. "Atuação do Estado no Gerenciamento de Recursos Hídricos". Semana de Debates sobre Recursos Hídricos e Meio Ambiente / Etapa Piracicaba; Atas, p. 17 / 25; DAEE / FUNDAF Ed.; São Paulo.
- BARTH, F. T. et al.; 1987. "Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos". Nobel / ABRH ed. p. 01 / 86. São Paulo.
- BERTACHINI, A. C.; 1987. "Estudo das Características Hidrogeológicas dos Terrenos Cristalinos sob Clima Úmido, na Região de Jundiaí - SP". Dissertação de Mestrado. IG-USP. São Paulo.
- CAMPOS, H. C. N. S.; 1993. "Caracterização e Cartografia das Províncias Hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo". Tese de Doutorado. IG-USP. São Paulo.
- CAMPOS, J. E. & LOPES, M. F. C.; 1984. "Águas Subterrâneas na Região de Sorocaba - SP". 3o. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas; Anais, V. 2; p. 255 / 276. ABAS Ed.; Fortaleza -CE.
- CAVALCANTE, I. N.; 1990. "Estudo Hidrogeológico do Cristalino com Manto de Intemperismo - Área Piloto de Atibaia - SP". Dissertação de Mestrado. IG-USP. São Paulo.
- CBH-PCJ, Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, 1994. "Relatório de Situação dos Recursos Hídricos / 1993". DAEE Ed. 99 p. Piracicaba.
- CESP, Companhia Energética de São Paulo; DNAEE; ELETROPAULO & SABESP, 1983. "Plano Sanesp - Plano Diretor de Utilização Integrada dos Recursos Hídricos na Região Metropolitana de São Paulo" - CNEC, Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S/A. São Paulo.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1977. "Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo". Tahal Consulting Engineers Ltd. Rel. Final, 1 v. São Paulo.

- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1986. "Ação Integrada de Controle da Poluição na Bacia do Rio Piracicaba - Relatório Anual de 1986". Relatório Interno. 1 v. São Paulo.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1981. "Avaliação Regional das Disponibilidades Hídricas em Cursos D'Água de Pequeno e Médio Porte Situados nas Bacias dos Rios Tiete Superior e Piracicaba". Rel. Interno. São Paulo.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1986. "Estudo Regional de Regularização de Descargas nas Bacias dos Rios Médio Tiete e Piracicaba". Rel. Int. São Paulo.
- COMASP, Companhia Metropolitana de Água de São Paulo, 1971. "Relatório FP-03/03 - Operação do Sistema Cantareira" - CNEC, Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S/A. São Paulo.
- CONEJO, J. G. L.; 1992. "Política Estadual de Recursos Hídricos". Semana de Debates sobre Recursos Hídricos e Meio Ambiente / Etapa Piracicaba; Atas, p. 69 / 81; DAEE / FUNDAP Ed.; São Paulo.
- CONEJO, J. G. L. & LOPES, M. F. C.; 1984. "A Água Subterrânea no Planejamento de Recursos Hídricos". 3o. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas; Anais, V. 2; p. 318 / 322. ABAS Ed.; Fortaleza -CE.
- Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari & DAEE, 1992. "Plano Diretor para Captação e Produção de Água para Abastecimento dos Municípios Componentes das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari" - Jaakko Pöyry Engenharia Ltda. Rel. Final. São Paulo.
- CPLA, Coordenadoria de Planejamento Ambiental; Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1989. "Bacia do Rio Piracicaba - Diretrizes para Planejamento" - Rel. Téc. No. 1. São Paulo.
- CRH, Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 1990. "1o. Plano Estadual de Recursos Hídricos". Rel. Síntese. São Paulo.
- DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1988. "Bacia do Rio Piracicaba - Regularização de Vazões a Jusante do Sistema Cantareira". Rel. Int. 1 v. São Paulo.
- DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1988. "Barragens de Regularização: Parte Fundamental na Solução dos Problemas Hídricos da Bacia do Rio Piracicaba" - Sodotécnica S/A. Rel. Final, 1 v. São Paulo.
- DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1984. "Caracterização dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo". Relatório Final, 1 v. São Paulo.
- DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1984. "Plano Global de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piracicaba" - Coplasa S/A Engenharia de Projetos. Relatório Final, 8 v. São Paulo.

- DAEE, Departamento de Aguas e Energia Elétrica, 1984. "Plano Global de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piracicaba" - Tecnosan Engenharia S/A. Relatório Final, 12 v. São Paulo.
- DAEE, Departamento de Aguas e Energia Elétrica, 1968. "Desenvolvimento Global dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tiete e Cubatão"; Plano Diretor de Obras - Hidroservice, Brasconsult e Cesa (Planidro) (Plano Hibrace). São Paulo. 1 v.- Resumo.
- DAEE, Departamento de Aguas e Energia Elétrica, 1994. "Plano Integrado de Aproveitamento dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tiete, Baixada Santista e Piracicaba" - Consórcio Hidroplan: Coplasa, Etep, Figueiredo Ferraz, Hydroconsult e Maubertec. Rel. Int. de Andamento. 1 v. São Paulo.
- DAEE, Departamento de Aguas e Energia Elétrica, 1981. "Estudo de Aguas Subterrâneas da Região Administrativa No. 5 / Campinas". Rel. Final, 2 v. São Paulo.
- DAEE, Departamento de Aguas e Energia Elétrica, 1981. "Estudo de Aguas Subterrâneas da Região Administrativa No. 4 / Sorocaba". Rel. Final, 2 v. São Paulo.
- DAEE, Departamento de Aguas e Energia Elétrica, 1966. "Planejamento Geral da Bacia do Rio Piracicaba" - Pacific Consultants do Brasil Ltda. São Paulo. Rel. Final.
- DAEE, Departamento de Aguas e Energia Elétrica & CPP - Comissão Permanente de Planejamento, 1969. "Relatório das Disponibilidades Hídricas de Superfície". 1 v. São Paulo.
- DAEE, Departamento de Aguas e Energia Elétrica, 1978. "Aproveitamento dos Recursos Hídricos das bacias dos rios Mogi-Guaçu e Piracicaba". São Paulo.
- DINIZ, H. N.; 1990. "Estudo Hidrogeológico do Subgrupo Itararé no Médio Rio Tiete, Município de Tiete - SP". Dissertação de Mestrado. IG-USP. São Paulo.
- DNAEE - Departamento Nacional de Aguas e Energia Elétrica, 1982. "Planejamento da Utilização dos Recursos Hídricos da Bacia do Jaguari - Piracicaba" - CNEC, Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S/A. Relatório Final. Brasília.
- DNPM, Departamento Nacional da Produção Mineral, 1979. "Projeto Sapucaí - Estados de São Paulo e Minas Gerais" - CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. - Relatório Final de Geologia; Fls. de Campinas e Guaratinguetá; Escala 1:250.000; Brasília.
- FAPESP - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo & DAEE, 1987. "Ação Programada em Aguas Subterrâneas". Rel. Final, p. 125 / 233. São Paulo.

- FULFARO, V. J.; GAMA Jr., E. & SDARES, P. C.; 1980. "Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná". Rel. BP 008/80; Paulipetro / Consórcio Cesp - IPT; 155 p. São Paulo.
- GTPI, Grupo Técnico da Bacia do Piracicaba, 1989. "Relatório de Atividades". Rel. Int. DAEE. São Paulo.
- IG, Instituto Geológico, 1993. "Subsídios do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Campinas - SP". Programa "Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região entre Sorocaba e Campinas". Relatório Final; 2 v. São Paulo.
- JOHNSON, D. U. D. P.; 1972. "Água Subterrânea e Poços Tubulares". CETESB 3 Ed. 1978; 482 p. São Paulo.
- JORBA, A. F. & ROCHA, G. A.; 1980. "Manual de Operação e Manutenção de Poços". DAEE, ed.; 123 p. São Paulo.
- LEINZ, V. & SALLENTIEN, B.; 1962. "Água Subterrânea no Estado de São Paulo e Regiões Limitrofes". Boletim SBG, 7(1), p. 27 / 36. São Paulo.
- LOPES, M. F. C.; 1984. "Água Subterrânea no Estado de São Paulo - Síntese das Condições de Ocorrência". 3o. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas; Anais, V. 2; p. 305 / 317. ABAS Ed.; Fortaleza - CE.
- LOPES, M. F. C. et al.; 1982. "Geometria e Condições de Exploração do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo". 2o. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas; Anais; p. 53 / 63. ABAS Ed.; Salvador - BA.
- LOPES, M. F. C.; 1992. "Exploração e Proteção das Águas Subterrâneas nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari". Seminário Águas Subterrâneas nos Municípios; Prom. ASEMAB / ABAS / CIBPC; 15 p. Sumaré - SP.
- LOPES, M. F. C. & RODRIGUES, P. R.; 1981. "Utilização de Águas Subterrâneas na Região Administrativa de Campinas - SP". IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. Anais, p. ABRH Ed. Fortaleza - CE.
- MAKIBARA, H.; 1992. "O Comitê de Bacias Hidrográficas na Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí". Semana de Debates sobre Recursos Hídricos e Meio Ambiente / Etapa Piracicaba; Atas, p. 95 / 106; DAEE / FUNDAP Ed.; São Paulo.
- MANIAKAS, S.; 1986. "Estudos Geofísicos Integrados a Geologia da Bacia do Baixo Capivari (Sub-grupo Itararé e Intrusivas Associadas)". Tese de Doutorado. IG-USF. São Paulo.
- MEZZALIRA, S.; 1977. "Hidrogeologia da Região De Artur Nogueira, Cosmópolis e arredores - SP". Boletim No. 2; p. 45 / 64 - IG / IG Ed. São Paulo.
- MONTICELI, J. J. & MARTINS, J. P. S.; 1993. "A luta pela Água nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari". Eme Ed. 126 p. Capivari - SP.

- NEGRI, B.; 1992. "Urbanização e Demanda de Recursos Hídricos na Bacia do Rio Piracicaba - SP". Semana de Debates sobre Recursos Hídricos e Meio Ambiente / Etapa Piracicaba; Atas, p. 27 / 37; DAEE / FUNDAP Ed.; São Paulo.
- POMPEU, C. T.; 1988. "Recursos Hídricos na Constituição de 1988". Revista Aguas e Energia Elétrica; Ano 5, 1988, No. 13, p. 42 / 49; DAEE Ed. São Paulo.
- PROMOCET, Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Paulo / Prominério - Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais / Secretaria de Estado da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1981. "Mapa Geológico do Estado de São Paulo - Escala 1:500.000". IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas; 2 v. São Paulo
- PROMOCET, Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Paulo / Prominério - Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais / Secretaria de Estado da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1981. "Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo - Escala 1:500.000". IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas; 2 v. São Paulo
- SABESP, 1978. "Plano Diretor de Saneamento Básico para a Região do Médio Tiete Superior" - CNEC, Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S/A. Revista DAE, No. 118, p. 24 / 175. São Paulo. Resumo.
- SABESP, 1983. "Atualização dos Estudos das Condições Sanitárias na Bacia do Rio Piracicaba" - CNEC, Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S/A. São Paulo.
- Secretaria de Economia e Planejamento, 1978. "Plano Regional de Campinas" - Hidrobrasileira S/A. São Paulo.
- SOARES, P. C.; 1975. "Divisão Estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo". Revista Bras. de Geociências, Vol. 5; p.229 / 251; SBG Ed. São Paulo.
- SOUZA FILHO, E. E.; 1986. "Mapeamento Faciológico do Subgrupo Itararé na Quadricula de Campinas - SP". Dissertação de Mestrado. IG-USP. São Paulo.
- TODD, D. K.; 1980. "Ground Water Hydrology". J. Wiley & Sons, 2 Ed. 535 p. New York.
- UNESP, Universidade Estadual Paulista / Inst. de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro & DAEE (Convênio), 1984. "Mapa Geológico do Estado de São Paulo"; Fls. de Campinas, Bauru, Guaratinguetá, São Paulo e Santos; Escala 1:250.000; São Paulo.
- WALTON, W. C.; 1970. "Ground Water Resource Evaluation". McGraw-Hill Ed. 664 p. New York.

/.