

USO SUSTENTÁVEL AQUIFERO CARSTE DE CURITIBA

Álvaro Amoretti Lisboa¹; Everton da Costa Souza¹;

Ernani Francisco da Rosa Filho²; Eduardo Chema Hindi² & Till Harum³

Resumo - O artigo apresenta uma síntese em relação aos resultados obtidos no projeto de cooperação internacional desenvolvido no âmbito do aquífero Carste no município de Colombo (Paraná). A área investigada perfaz um total de 85 Km² situando-se no município de Colombo, aproximadamente 20 km ao Norte da cidade de Curitiba. O aquífero do ponto de vista Hidrogeológico, é compartimentado devido de um intenso enxame de diques de Diabásio com direção NW-SE os quais seccionam uma seqüência dobrada de Filitos e rochas carbonatadas. As rochas carbonatadas apresentam-se carstificadas configurando assim um importante aquífero. Os diques podem ser considerados como barreiras impermeáveis as quais compartimentam o aquífero. A maior parte das fontes localizam-se o contato do aquífero com os diques. Foi utilizada a interação de estudos multidisciplinares nas áreas de geologia, tectônica, e coleta de isótopos de modo ao desenvolvimento de um modelo conceitual para avaliar a recarga e o tempo de residência do manancial subterrâneo. O Projeto Carste apresentou como resultados uma metodologia adequada com validade para toda a área do aquífero. A implantação de um sistema de monitoramento da superfície piezométrica do aquífero e o Balanço Hídrico efetuado configura-se como uma ferramenta poderosa para promover o gerenciamento, pesquisa, desenvolvimento e uso sustentado neste aquífero.

Abstract The paper gives an overview about the first results of an international co-operation project carried out in the karst aquifer in the municipality of Colombo, (Paraná). The investigated area comprises about 85 km² and is situated approximately 20 km North Curitiba city, in the municipality of Colombo. The aquifer is separated into compartments due to NW-SE striking volcanic dikes which cut through a sequence of folded phyllites and carbonate rocks. The carbonate rocks are karstified and therefore represent an important aquifer. The dikes can be considered as impermeable layers separating the aquifer to isolated compartments. Most of the springs are located at the contact of the aquifer to dikes. Combined investigations on geology, tectonics, catchment and

¹ Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental SUDERSHA, Rua Santo Antônio, 239 – Bairro Rebouças, Curitiba – PR/Brazil CEP: 80230-120, phone: ++55 41 333-4774, fax: ++55 41 333-3621, email: lisboa2@pr.gov.br

² Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico - Jardim das Américas -CaixaPostal 19001 – Curitiba – PR/Brazil CEP 81531-990, phone: ++55 41 361-3163, fax: ++55 41 266-2393, email: ernani@setuva.geologia.ufpr.br

³ Institute of Hydrogeology and Geothermics, JOANNEUM RESEARCH, Elisabethstrasse 16, A-8010 Graz/Austria, phone: ++43 316 876 1372, fax: ++43 316 876 1321, email: till.harum@joanneum.ac.at

isotope to develop a conceptual model of groundwater recharge and transit times. The results of the Karst Project, represent a correct methodology to be used for all karst area. The establishment of a monitoring system for the groundwater table and the water balance are powerful tool to promote the sustainable control, use and development of the groundwater resources and their research in this aquifer.

Palavras chave : carste; compartimentado; balanço hídrico.

INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento urbano adotado no Estado do Paraná, privilegia assentamentos urbanos junto a divisores de bacia hidrográficas, situando-se em zonas de cabeceira de drenagens, sempre à montante dos mananciais superficiais são utilizados para abastecimento público.

As bacias de captação possuem portanto áreas limitadas, para suportar o uso crescente, isto é, o fornecimento de água para o abastecimento, e ao mesmo tempo volume de água destinado à diluição dos efluentes gerados por este abastecimento, em sua maior parte lançado in natura na drenagem superficial. Esta situação é agravada pela migração da população rural, em direção aos grandes pólos urbanos, em busca de melhores oportunidades, as quais além de incrementar o consumo d'água, assentam-se na periferia destas cidades, normalmente junto aos fundos de vale, degradando mais ainda a qualidade dos mananciais de abastecimento. Como decorrência, as novas captações para o atendimento do incremento de demanda, vão distanciando-se cada vez mais, e com potenciais hidráulicos negativos em relação ao ponto de abastecimento, tornando-os cada vez mais onerosos.

A ampliação da área de captação, ultrapassa os limites urbanos, invadindo áreas rurais onde o uso indiscriminado de agrotóxicos, assoreamento das drenagens por perda de solo, encarecem a utilização destes mananciais devido a necessidade de sofisticação dos processos de tratamento, chegando em muitos casos à inviabilizar o seu uso.

Tal situação é perfeitamente identificada quando analisamos a problemática de abastecimento das populações assentadas na Região Metropolitana de Curitiba (RMC).

A população da cidade de Curitiba, em 1945 era de apenas 150.000 pessoas passando em 1970 para 609. 026 , em 1980 1.024 975 e em 1996 alcançou 2.431. 975 habitantes segundo dados IBGE.

Desta forma Curitiba, e sua Região Metropolitana, apresentou a maior taxa de crescimento de todas as capitais brasileiras nas duas últimas décadas. O adensamento populacional, por sua vez, faz com que rapidamente sejam atingidos os limites de suporte físico das áreas ocupadas, estabelecendo cada vez mais o decréscimo da qualidade de vida destas populações.

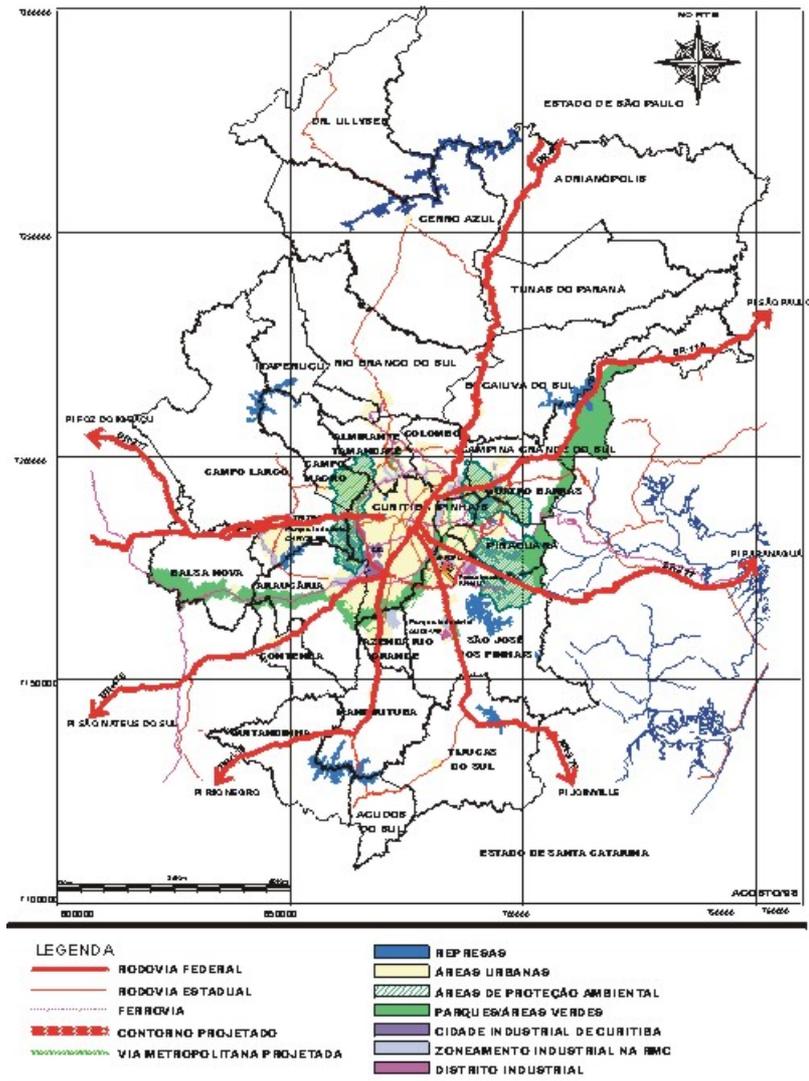


Figura 1- Mapa de Localização da RMC (COMEC –1996)

O abastecimento de água de Curitiba e RMC através do manancial superficial é feito atualmente através da captação do rio Passaúna e do sistema Alto Iguaçu. Na parte oeste da cidade de Curitiba, a captação é feita na barragem rio Passaúna cuja capacidade operacional do sistema é de 1700 l/s. Na parte leste de Curitiba, a captação é feita na barragem do rio Irai, cuja produção atual é de 1.100 l/s, e no rio Iguaçu cuja produção é da ordem de 3.400 l/s, totalizando uma produção de 6.200 l/s. (SANEPAR- Ushg)

O abastecimento atual de água de Curitiba e RMC através do manancial subterrâneo proveniente da exploração do aquífero Karst é o seguinte:

Tabela- 1 Vazão dos poços no aquífero carste usados no abastecimento da RMC

LOCALIDADE	NO DE POÇOS	VAZÃO (l/s)
Alm. Tamandaré (Sede)	5	106,00
Alm. Tamandaré(Tranqueira)	5	117,00
Bocaiúva do Sul	2	45,00
Campo Largo	3	51,00
Campo Magro	3	10,00
Colombo (Sede e Fervida)	11	216,00
Colombo (Várzea Capivari)	2	88,00
Itaperuçu	2	23,00
Rio Branco do sul	4	110,00
TOTAL	37	766,00

O montante total produzido para abastecimento público considerando os dois tipos de mananciais (Superficial e Subterrâneo) é de 6.966 l/s, sendo o aquífero Carste responsável por aproximadamente 11 % da demanda total da RMC.

No que se refere a caracterização hidrográfica, a RMC está situada numa área abrangida pôr duas bacias hídricas , Bacia do Iguaçú e Bacia do Ribeira respectivamente.

A bacia do **altíssimo Iguaçú, corresponde a 46% da área total, assentando 87 % (2.115.669 habitantes)** da população desta, apresenta sérias dificuldades, em termos de produção de água para abastecimento, devido a degradação da qualidade d'água de seus mananciais, pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais na drenagem de superfície, em sua maior parte(60%) *in natura* .

A bacia do Ribeira, abrange **54 % da área total da RMC e abriga atualmente apenas 13 % da população (316.134 habitantes)**. Os recursos hídricos, nesta região, encontram-se mais preservados em termos de qualidade.

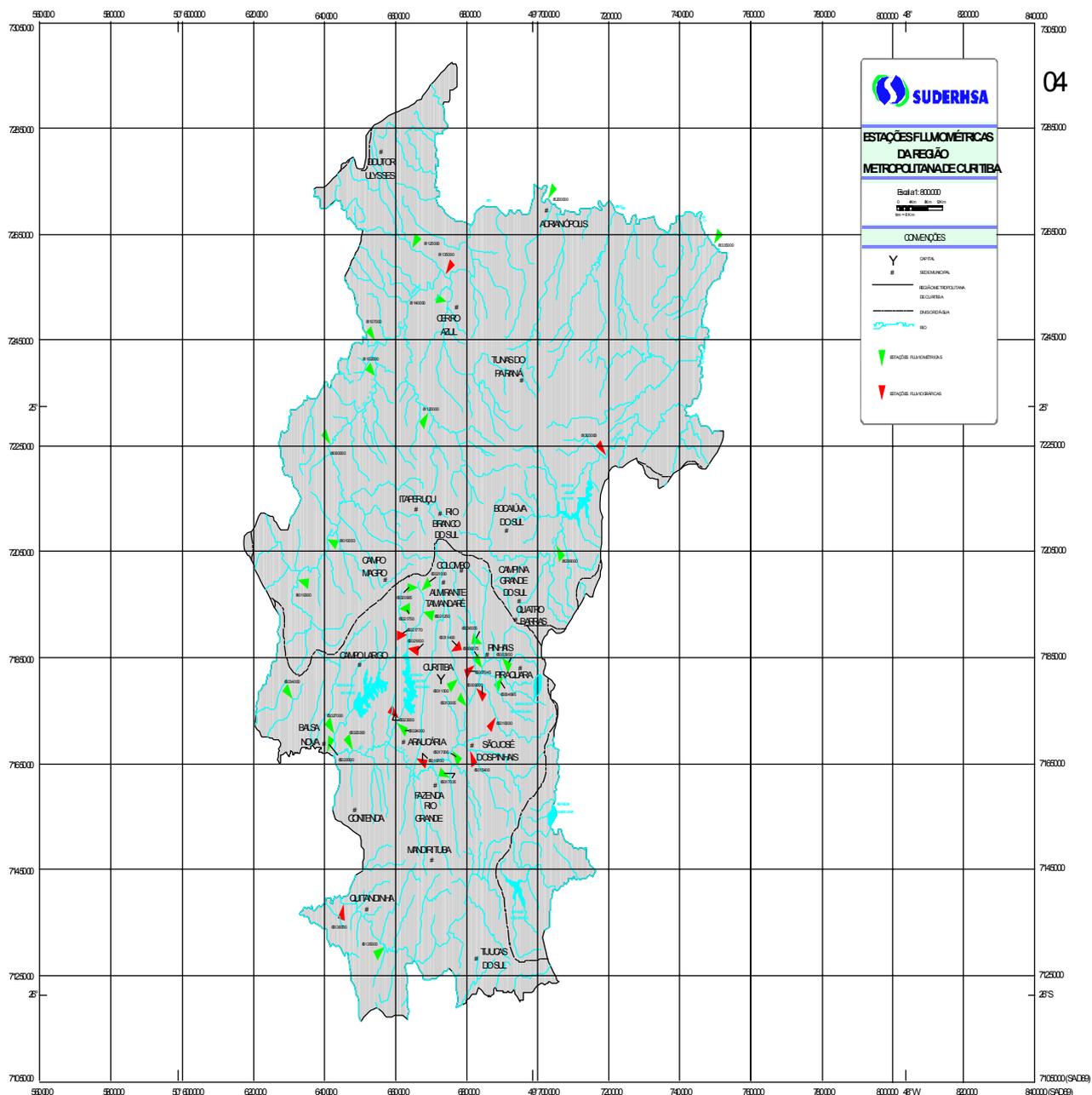


Figura 2- Mapa de Qualidades das Águas Superficiais na RMC

Por outro lado se considerarmos a compartimentação do meio físico, a RMC divide-se em dois grandes compartimentos geológicos, como se segue:

- **Unidade do complexo Gnáissico Migmatítico.**
- **Unidade das rochas metamórficas do grupo Açungui.**

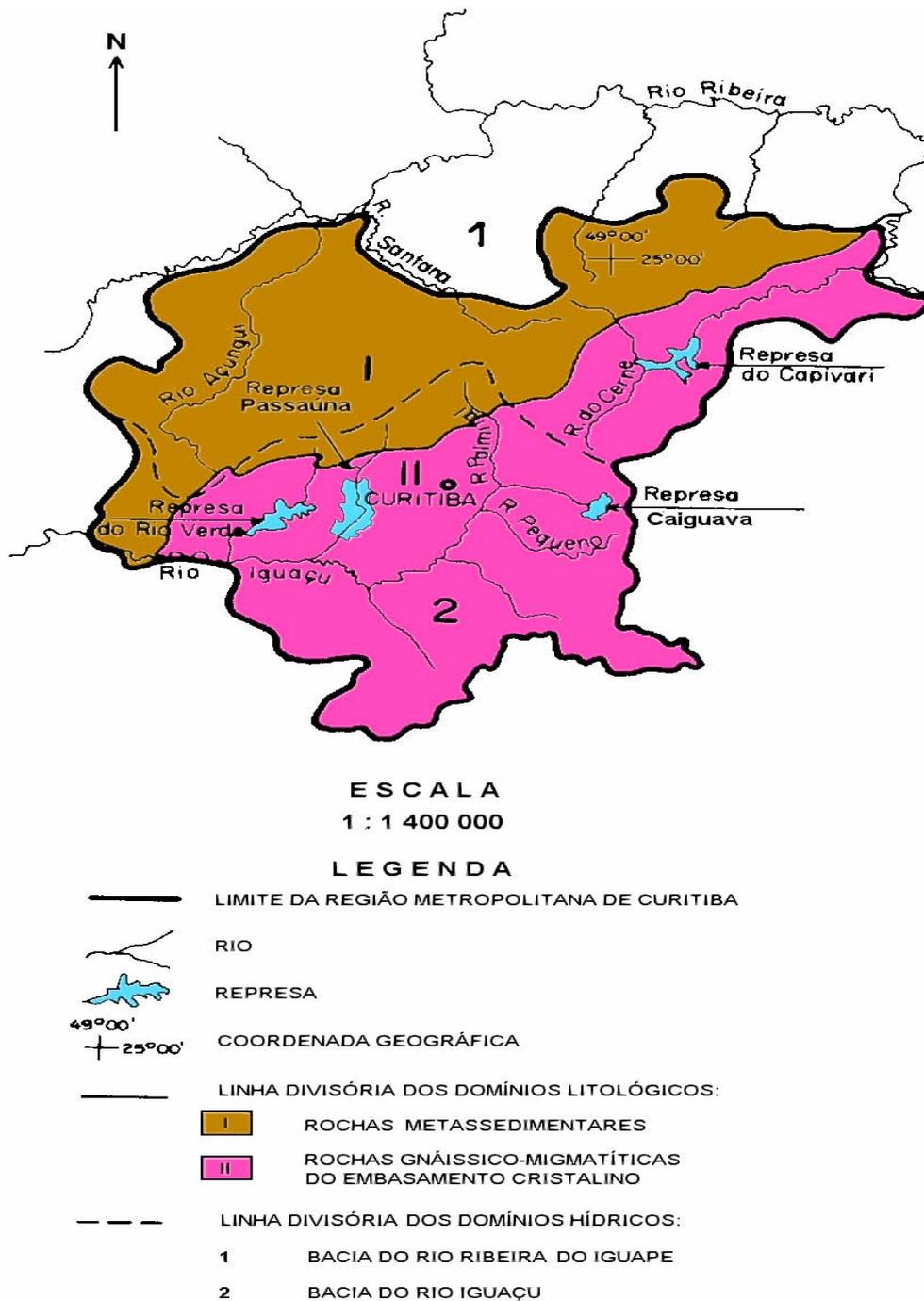


Figura 3 - Mapa de Compartimentação da RMC segundo o Meio físico

No que se refere ao potencial hídrico seguro para abastecimento, nota-se uma tendência nítida de aumento da vazão de base (Q_{10-7}) por área de bacia, na direção norte, acentuando-se este caráter na bacia do rio Ribeira e compartimento das rochas metamórficas, identificando assim uma maior disponibilidade hídrica.

Os valores da descarga de base por área de bacia (Q_{10-7}/Km^2), na unidade do complexo Gnáissico Migmatítico giram entorno de 4 l/seg/Km^2 enquanto que para a unidade das rochas Metasedimentares são verificados freqüentemente descargas com valores acima de 101 l/seg/Km^2 .

COMPARTIMENTAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO AQUÍFERO

A área investigada perfaz 85 km². Situa-se aproximadamente à 20 km à N de Curitiba (Paraná) no município de Colombo, e uma pequena parte a Oeste do município de Almirante Tamandaré. Ela abrange as regiões de Fervida, Sede, cabeceiras do córrego Água Comprida e rio Atuba no município de Colombo, cabeceira do rio Uvaranal em Almirante Tamandaré e a região da Várzea do rio Capivari na fronteira dos municípios de Colombo e Bocaiúva do Sul. As áreas de investigação Colombo Fervida e Colombo Sede são separadas pelo principal divisor de bacia: o compartimento Oeste (Colombo Sede) drena para a bacia do rio Iguaçu, enquanto o compartimento a Leste do divisor d' água (Colombo Fervida) drena para a bacia do rio Ribeira.

Baseado nos mapeamentos de detalhe geomorfológico e geológico foi gerado um mapa hidrogeológico da área. Simultaneamente todas as fontes foram mapeadas em detalhe.

A área do carste, ao norte de Curitiba, em termos geológicos pertence ao Grupo Açungui. Os tipos litológicos na área pertencem a Formação Capiru compostos por meta-sedimentos de idade pré-cambriano superior. O ambiente deposicional varia de plataformas muito rasas com deposição de carbonato à taludes continentais com depósito de sedimentos turbidíticos.

O resultado do mapeamento mostra que a geologia na área de Colombo é representada por três vales esculpidos em Dolomitos na direção E - W – os quais são separados por cristas de filitos.

Ocorre também na área um intenso enxame (diques) de Diabásio com direção predominante NW-SE paralela ao eixo do Arco de Ponta Grossa. Os diques de Diabásio funcionaram como condutos alimentadores das atividades vulcânicas mesozóicas responsáveis pela extrusão dos derrames basálticos que constituem a Formação Serra Geral, os quais cobre uma extensa porção do oeste do estado do Paraná. Para a área em estudo, os derrames basáltico já foram totalmente erodidos restando somente os diques de diabásio.

A erosão diferencial destes diques condicionou a presença de cristas alinhadas na direção NW-SE. A espessura dos diques pode atingir 100 m. A direção do enxame de diques é determinada por um sistema de falhas do proterozóico.

No sudeste da área a carstificação faz limites com afloramentos de rochas do embasamento cristalino.

As principais conclusões em relação ao condicionamento das limitantes hidrogeológicas são as seguintes:

1. Os diques de diabásio, de direção NW-SE, configuram-se como evidentes fronteiras hidrogeológicas, não tendo-se observado evidências quanto à fraturamentos significativos dos mesmos durante os trabalhos de mapeamento.
2. Tanto os dolomitos carstificados quanto os filitos encontram-se dobrados, sendo possível o fluxo de águas do aquífero Karst sob os mesmos(Filitos).
3. Portanto o aquífero carste é subdividido em compartimentos independentes, sendo que o montante do fluxo nestes compartimentos depende principalmente de sua forma a qual é delimitada pelos diques, podendo, no entanto ocorrerem conexões nas direções NW e SE devido à possibilidade de fluxo sob os filitos.
4. As fontes normalmente estão situadas no contato entre os dolomitos com os diques ou filitos.

HIDROQUÍMICA

A hidroquímica do aquífero Carste, vai apresentar um ligação estreita com a composição química da rocha subjacente, no caso em pauta os mármore da Fm. Capiru.

A figura abaixo apresenta a relação entre Ca e Mg de amostras, de fontes selecionadas do projeto Carste, para a observação de longo prazo, analisadas com frequência mensal.

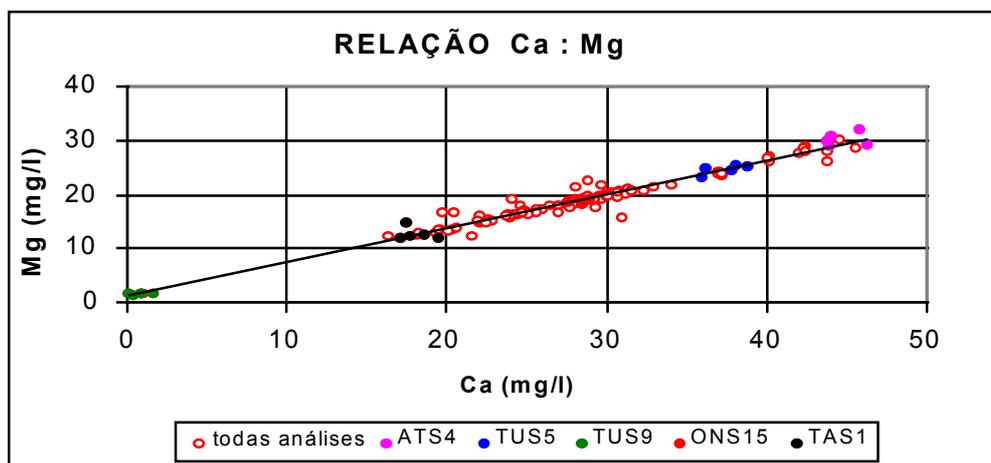


Figura 6 - Relação de Ca : Mg em mg/l

Do ponto de vista físico-químico as águas típicas provenientes do aquífero Karst, no estado do Paraná, tratam-se de águas bicarbonatadas calco magnesianas, com amplo predomínio do cálcio e o magnésio sobre o sódio e com Ph em torno da neutralidade até algo alcalino.

No que se refere ao conteúdo de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), apresentam valores entre 100 e 350 ppm, com um valor médio de 180 ppm.

Devido ao pequeno tempo de residência, e a alta solubilidade dos mármore dolomíticos, existe uma tendência de verificar-se baixos teores de sílica, normalmente inferiores a 15 ppm, sendo portanto este parâmetro ferramenta útil para diferenciar de outras águas provindas de rochas silicatadas (filitos, granitos, etc.).

Segundo dados do Projeto Karst (Estado do Paraná/ Instituto Joaneum Research Áustria) obtidos em fontes oriundas aquífero no município de Colombo, estima-se para a água do aquífero um tempo médio de residência em torno de 16 anos.

A estimativa do tempo de residência foi feita através dos conteúdos de trítio em águas de chuva, obtidos nas estações meteorológicas do Rio de Janeiro e Porto Alegre (IAEA, 1997), comparados aos conteúdos observados nas águas das fontes daquela região, no mesmo período.

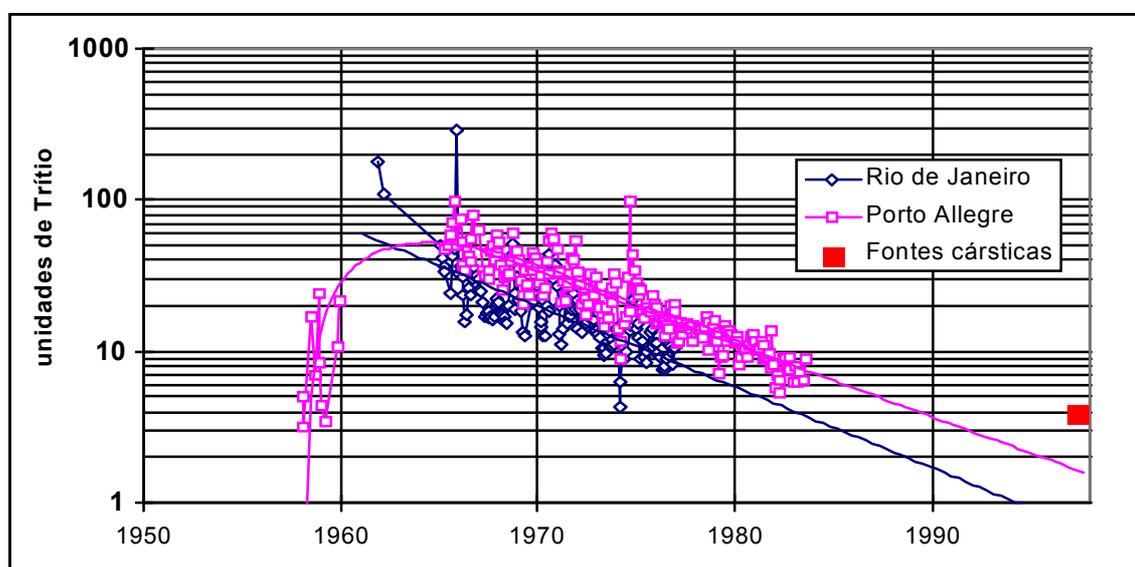


Figura 7 - Conteúdo de Trítio nas estações do Rio de Janeiro e Porto Alegre e em fontes “cársticas” amostradas em maio de 1997.

Conforme pode ser observado na figura 6 o teor de trítio da fonte é compatível com os teores observados em chuvas ocorridas a mais de uma década atrás.

O caráter predominante de águas bicarbonatadas calcó magnesianas do aquífero está relacionado aos processos de “carstificação” atuantes sobre a rocha carbonática.

BALANÇO HÍDRICO

A precipitação na área é relativamente bem distribuída com um valor médio anual observado para o período entre 1974-1993 de 1399 mm (D. GIUSTI et al., 1998).

A metodologia escolhida para estimativa da evapotranspiração foi primeiramente a utilização da fórmula meteorológica para evaporação potencial e consequentemente índices de vegetação para a evaporação real.

Produziu-se um mapa da sistemática de usos dos solos da área, através da classificação de imagem de satélite LANDSAT5 com uma resolução de 30x30 m. 20 classe cluster sendo que os canais escolhidos para a classificação foram: canal número 3 (vermelho) 0.63-0.69 m, canal número 5 (médio IR) 1.55-1.75 m, canal número 7 (médio IR) 2.08-2.35 m. A compartimentação obtida foi confirmada em campo sendo indentificando-se assim 8 classes diferentes de usos.

A evaporação potencial E_{tp} foi estimada através da equação de H.L. PENMAN (1956). A evapotranspiração real não depende somente dos meteorológicos, mas principalmente do tipo da cobertura vegetal. Usou-se a metodologia de C. GRASSI & G. CHRISTIANSEN (1966), onde a E_{tr} é calculada a partir da E_{tp} utilizando-se coeficientes obtidos da temperatura, tempo de duração do ciclo vegetal, porcentagem da duração total e fatores de cultivo (UNESCO, 1982).

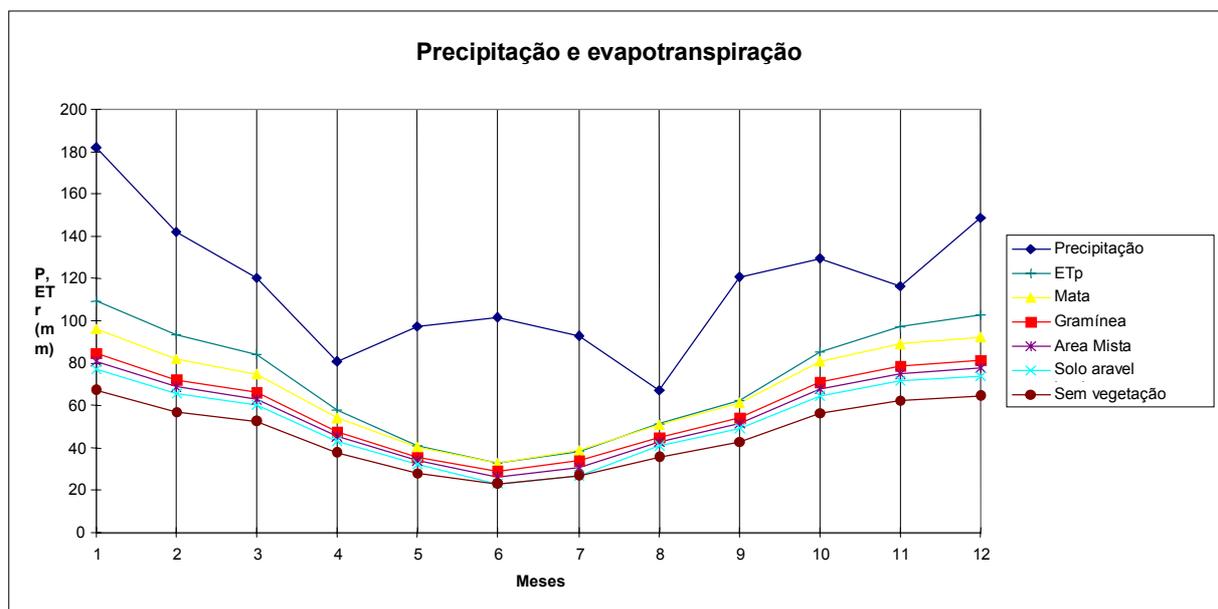


Figura 8- Precipitação média mensal P e evapotranspiração real E_{tr} para as diferentes classes de usos do solo na área de Colombo-Fervida.

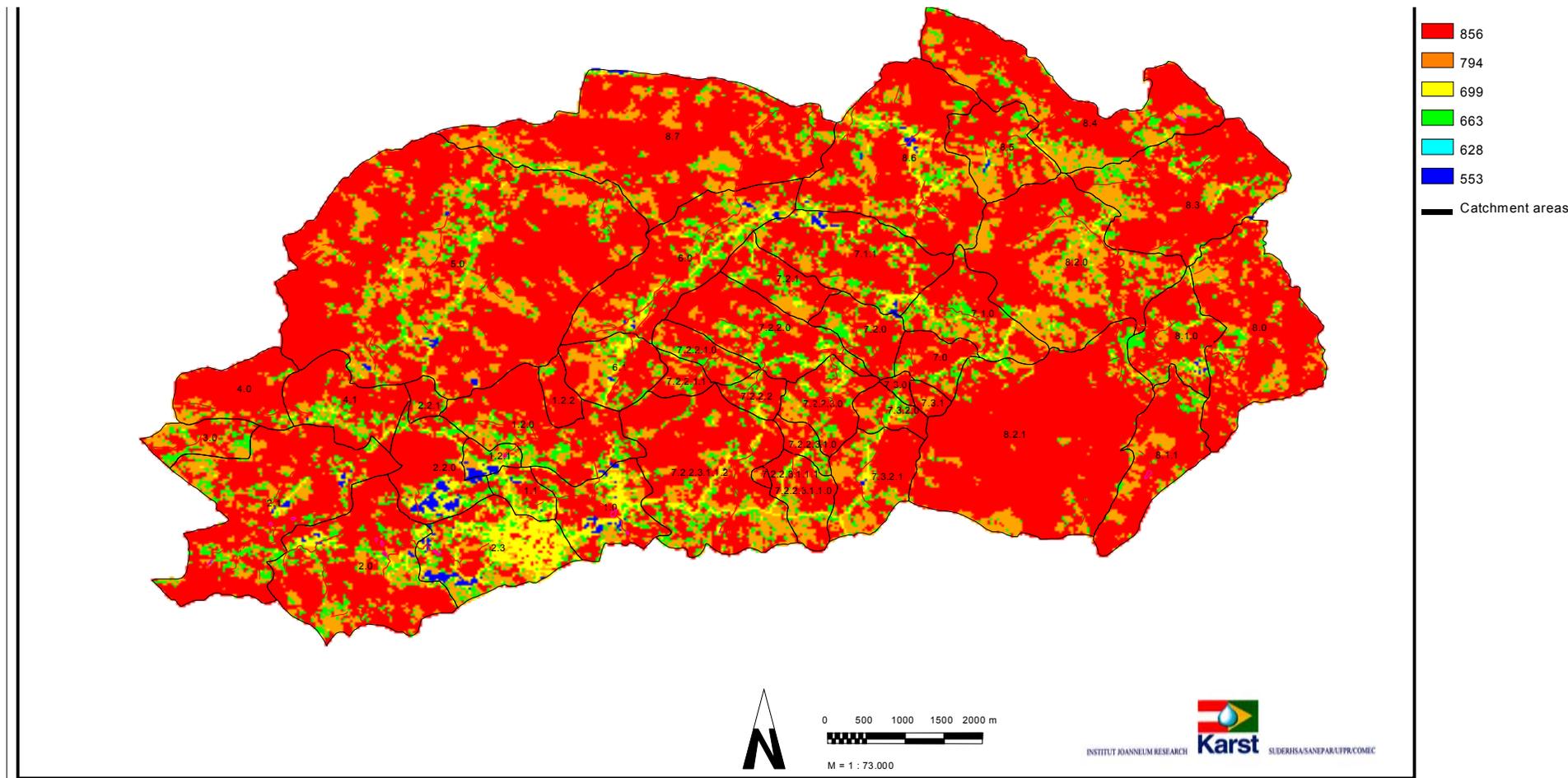


Figura 9 -Mapa da evapotranspiração média anual (mm/ano) e areas de captação da área em estudo

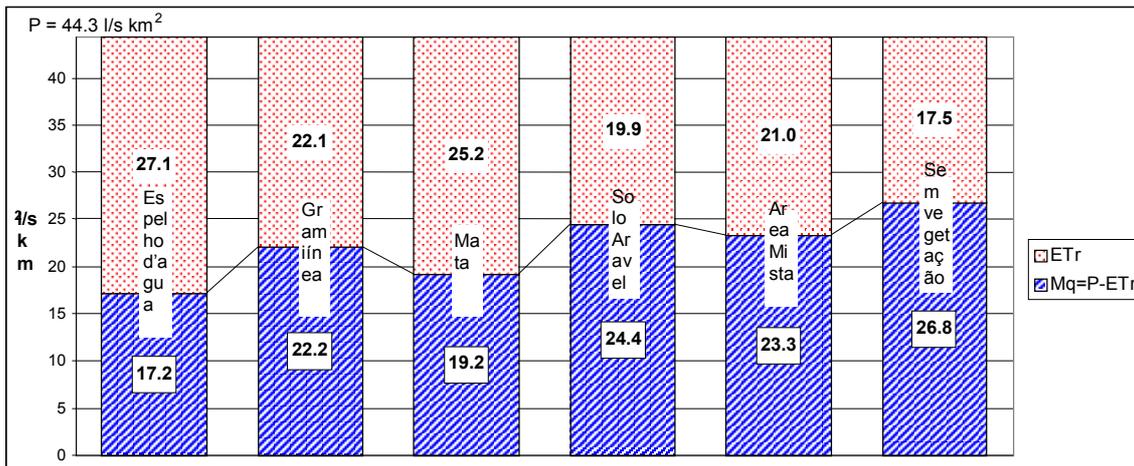


Figura 10 - Precipitação média anual P (em l/s km²) escoamento médio total (Mq=P-ET_r) para as diferentes classes de usos do solo na área de Colombo-Fervida.

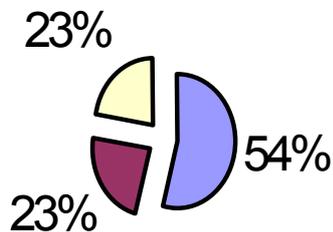
Segundo W. WUNDT (1953, 1958) o escoamento de base médio mensal MoMNqT é similar, quando se considera períodos longos de observação, ao escoamento subterrâneo de uma determinada área e conseqüentemente a recarga subterrânea. Para as áreas de captação do Rio Capivari e Praia Grande o valor da descarga de base por área de bacia MoMNqT = 10.3 l/s km² corresponde a recarga subterrânea anual média de 325 mm estimada para o período 1931-1969.

Utilizando-se este valor para toda área de investigação com 85 km², e para cada sub-compartimento de captação, é possível uma estimativa do balanço hídrico com a separação dos componentes do escoamento superficial QR e escoamento subterrâneo QW.

A área em estudo foi dividida em várias sub-bacias orográficas onde o escoamento superficial dos rios e córregos foram medidos sob diferentes condições hidrometeorológicas algumas estações com registros contínuos e outras de forma periódica. O principal objetivo desta campanha intensa de medidas, foi detectar as descargas e recargas do aquífero Carste nos rios ocasionando, respectivamente superávit hídrico e déficits na descarga de base por área de bacia (l/s km²) de cada sub-bacia.

A avaliação das séries de medidas na época de estiagem identificaram de maneira muito mais evidente as condições de recarga – descarga e o comportamento hidrogeológico dos sub-compartimentos na área, quando comparados com os dados teóricos da descarga média anual, obtidos a partir do balanço hídrico meteorológico.

BALANÇO HÍDRICO



	<i>Mm</i>	<i>L/s km²</i>	<i>l/s</i>
<i>P</i>	1399	44,3	3721
<i>Etr</i>	754	23,9	2006
<i>Recarga Subterrânea(R)</i>	325	10,3	864
<i>Escoamento Superficial(W)</i>	320	10,1	851

Figura 11- Balanço hídrico da totalidade da área de investigação.

Paralelamente aos estudos que viabilizaram o estabelecimento do Balanço Hídrico executou-se um programa intensivo de monitoramento das vazões e dos níveis dinâmicos dos poços em bombeamento com o objetivo principal de adequar as vazões a um nível dinâmico estabilizado evitando assim qualquer superexploração do aquífero. As medidas de nível dinâmico e vazão foram obtidas a partir de registradores contínuos de instalados nos poços em bombeamento.

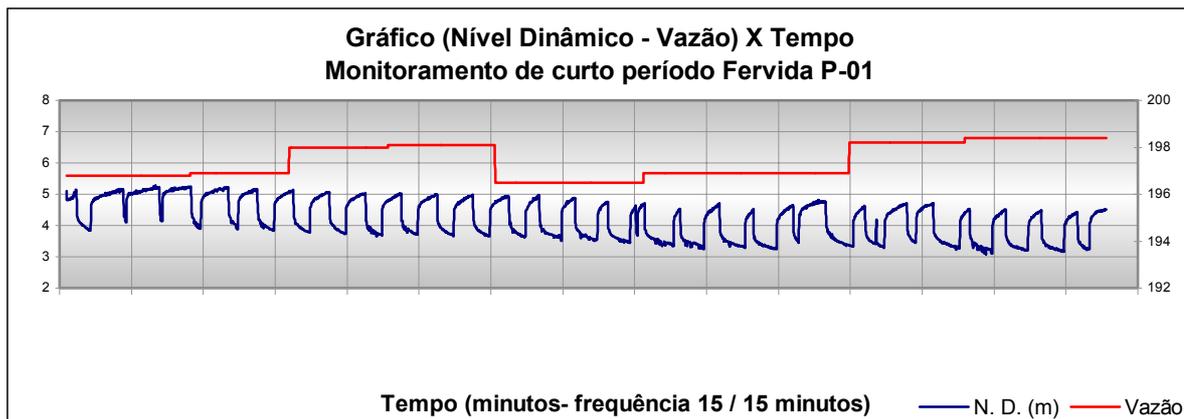


Figura 12- Monitoramento contínuo de curto período de Nível Dinâmico e Vazão

Após quatro anos de monitoramento com a adequação das vazões bombeadas para um nível dinâmico praticamente estabilizado, podemos dizer que o regime de equilíbrio foi alcançado, como pode-se observar para o poço FWP 1 (Poço Fervida No 1)

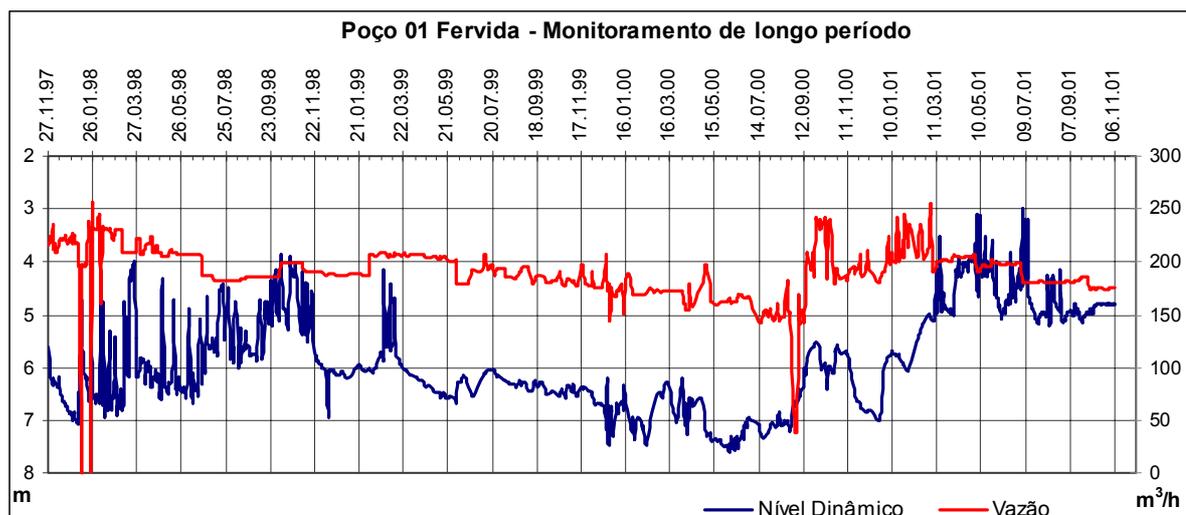


Figura 13 - Monitoramento de longo período(4 anos) de Nível Dinâmico e Vazão

Pode-se verificar no gráfico que para que haja um equilíbrio entre a recarga no compartimento em relação a vazão bombeada, são diminuídas as vazões nos períodos mais secos e aumentadas nos períodos mais úmidos.

O gráfico também evidencia uma sazonalidade para o uso do aquífero, sendo que o rebaixamento acentuado nos períodos secos cria um volume de espera o qual é repostado nos períodos de superávit hídrico. Desta forma podemos concluir que a componente da infiltração no Balanço Hídrico é incrementada nestes períodos uma vez que nas condições originais(sem o bombeamento)

este volume estaria completamente saturado impossibilitando a infiltração e favorecendo o Escoamento Superficial e a Evapotranspiração.

Desta forma podemos estimar o volume de recarregado no compartimento, para um determinado período, como o volume recuperado entre o fim de uma estiagem até o pico de recuperação do nível Dinâmico numa estação úmida.

“Considerando-se a heterogeneidade hidráulica do aquífero, a qual inviabiliza a aplicação da metodologia tradicional para estimativa dos parâmetros hidráulicos do aquífero e conseqüentemente seu potencial explotável, podemos considerar o Monitoramento associado ao Balanço Hídrico como uma ferramenta de grande utilidade para o estabelecimento do uso sustentável do mesmo”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R.** – 1959 – *Planta geológica de parte dos municípios de Rio Branco do Sul, Bocaiúva do Sul, Almirante Tamandaré e Colombo (PR)*. UFPR. Inst. Geol.
- HINDI, E.C.** *Caracterização hidroquímica e hidrológica das fontes cársticas das bacias dos rios Tumiri, Água comprida, Fervida e das Onças – Colombo – PR*. Curitiba, 1999. Dissertação (mestrado em Geologia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 127 p.
- LISBOA, A. A. & BONACIM, E. A.** 1995. Sistema aquífero cárstico - reservatório elevado da região metropolitana de Curitiba. *Sanare*, 4(4):26-30.
- LISBOA, A. A.** 1997. *Proposta de metodologia para Avaliação Hidrogeológica do Aquífero Cárstico, Compartimento de S. Miguel- Almirante Tamandaré- Curitiba*, 141 p. (Dissertação de mestrado - Instituto de Geociências/UFPR).
- MARINI, O.J.; BIGARELLA, J. J.** - 1967 - *O Grupo Açungui no Estado do Paraná*. In: BIGARELLA, SALAMUNI & PINTO - *Geologia do Pré-Devoniano e intrusivas subseqüentes da porção oriental do Estado do Paraná*. Bol. Paran. Geoc. p. 23-25, 43-104, 157-181, 307-324. Curitiba
- PROJETO KARST - IJR - INSTITUTE JONNEUM RESEARCH, ÁUSTRIA/ SUDERHSA-SANEPAR-UFPR-COMEC** - *Relatório progressivo, Fase I*, 1998, 87 pág.
- PROJETO KARST - IJR - INSTITUTE JONNEUM RESEARCH, ÁUSTRIA/ SUDERHSA-SANEPAR-UFPR-COMEC** - *Relatório progressivo, Fase II*, 1999, 68 pág.
- ROSA FILHO, Ernani; HINDI, Eduardo; GIUSTI, Donizeti; MANTOVANI, Luiz Eduardo.** *Efeitos de bombeamento de poços tubulares na descarga de fontes naturais - região de*

Almirante Tamandaré, PR. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, PR, n. 47, p. 45-50, 1999.

ROSA FILHO, E. F. da; LISBOA, A. A.; SCHOENAU, O. 1996. Abastecimento de água de Curitiba - situação atual e proposta de solução. In: Workshop Internacional Ampliações dos Sistemas de Abastecimento de Água Potável nas Grandes Metrôpoles, 1, Belo Horizonte, 1996. Atas...Belo Horizonte, no prelo.

SANEPAR (1997): Plano de Bombeamento para os pocos da area de Colombo-Sede e Fervida (Curitiba, 22.10.1997).

SANEPAR, 1992 *Plano Diretor do Sistema de água de Curitiba e Região metropolitana.* Relatório TÉCNICO volume I/IV .consultores: geotécnica, Proensi, OSM. Serenco. Curitiba

SUDERHSA - SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL. 1999. *Atlas Hídrico do Estado do Paraná,*

SUDERHSA - SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL. 2.002. *Banco dados Hidrogeológicos.*

SANEPAR – COMAPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANA. 2.002. *Banco dados Hidrogeológicos.*