

ASPECTOS MACROECONÔMICOS DO SISTEMA AQÜÍFERO "KARST" PARANAENSE

Carlos Gilberto Fraga¹

RESUMO

O "karst" constitui um sistema aquífero muito pouco conhecido e estudado no Paraná. A exploração do mesmo requer, em função da forma e modo de ocorrência da água subterrânea, o aperfeiçoamento das tecnologias de perfuração e de produção.

No que tange aos aspectos macroeconômicos, o aproveitamento do "karst", em contraste às fontes-alternativas convencionais (mananciais de superfície), assegurará, em termos percentuais, uma economia da ordem de 33,8% por metro cúbico de água potável consumida na RMC – Região Metropolitana de Curitiba. A diagnose das alternativas de investimento comprova isso. Por outro lado, em função da qualidade, quantidade e custo da água, o Plano Diretor da RMC vem sofrendo, a longo tempo, alterações na concepção da forma e no modo de abordar as questões de disponibilidade e seleção de mananciais. O aproveitamento do "karst" irá protelar e/ou mesmo eliminar, com vantagens, os investimentos com futuras obras de captação superficial. Urge, entretanto, definir um plano de diretrizes para a exploração do "karst", onde sejam contemplados o desenvolvimento das seguintes atividades: mapeamento morfoestrutural das áreas de maior interesse; estudos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos; e mapa de vulnerabilidade de risco geotécnico.

(1) FRAGA, C.G. - Geólogo, doutor em hidrogeologia e recursos minerais pela USP - Universidade de São Paulo, técnico da SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná e Professor da PUC - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (Fone: 041-322-2125).

INTRODUÇÃO

A região do "karst" paranaense, ora em estudo, está localizada no Terceiro Planalto paranaense (figura 1). Esta área abrange uma superfície de aproximadamente 3.482 km², correspondendo, percentualmente a 1,64% do território paranaense.

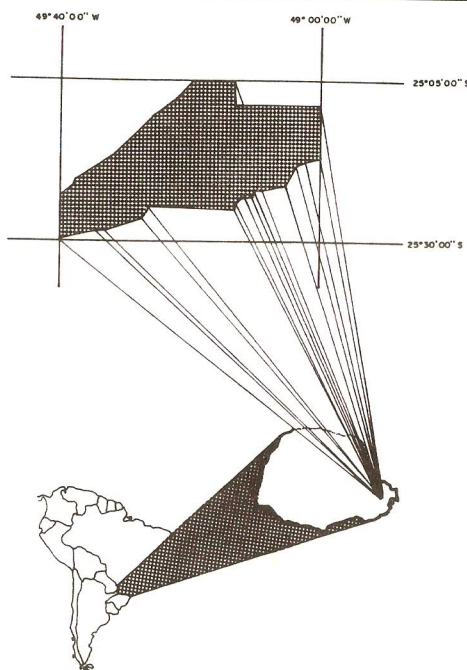


FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

Dentre os aspectos macroeconômicos, relativos ao aproveitamento em maior escala do aquífero "karst" paranaense, ênfase é dada inicialmente ao aperfeiçoamento das tecnologias de perfuração e de produção.

No âmbito da tecnologia de perfuração são comentados os riscos e as dificuldades impostas à completação dos poços, em face das características químico-mineralógicas e estruturais das rochas que formam o "framework" do sistema aquífero "karst" paranaense. Faz parte também deste assunto a abordagem dos princípios do método de revestimento simultâneo, recentemente introduzido no Paraná.

No âmbito da tecnologia de produção, são abordados os tópicos referentes à mobilidade da carga residual e seus efeitos no condicionamento hidráulico do aquífero. Neste capítulo são também fundamentados os riscos de ordem geotécnica, decorrentes das naturezas física e hidráulica do meio fraturado.

No que tange à diagnose das alternativas de investimentos para a RMC – Região Metropolitana de Curitiba, o custo marginal do aproveitamento do "karst" é confrontado com o projeto de captação superficial do rio Iraí. A importância e as diretrizes de seu aproveitamento são também fundamentadas, confrontando-as com altos custos em investimentos, necessários ao desenvolvimento, no meio físico, de ações preservacionistas, indispensáveis ao melhor aproveitamento dos mananciais superficiais.

ASPECTOS MACROECONÔMICOS

Antes que sejam abordados os aspectos macroeconômicos do "karst" paranaense, é importante salientar que a atual cronologia de ações desenvolvida pela SANEPAR, para aprofundar os estudos das fontes-alternativas disponíveis na RMC – Região Metropolitana de Curitiba constitui um avanço na materialização da questão de gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do Alto Iguaçu. Visto que, a nível nacional, as técnicas de otimização e de simulação aplicadas nos Planos Diretores de abastecimento d'água das grandes metrópoles se limitam tão-somente, no que tange ao aproveitamento das águas subterrâneas, a estudos de caráter introdutório (FRAGA, 1991a). É necessário que os elementos da matemática financeira sejam considerados na implementação das soluções-alternativas. Em outras palavras, o que se pretende é equacionar, fundamentalmente, a avaliação do fenômeno frente ao atendimento de uma demanda.

Não se pode esquecer, também, que o "karst" constitui um sistema aquífero muito pouco conhecido e estudado no Paraná. Somente a partir dos dois últimos anos é que os estudos de hidráulica e de hidrogeologia aplicada começaram a esboçar uma compreensão mais aprofundada do meio. Há expectativas de acréscimos de vazões, necessitando, entretanto, aperfeiçoar, em função da forma e modo de ocorrência da água subterrânea, as tecnologias de perfuração e produção (FRAGA, 1991b).

TECNOLOGIA DE PERFURAÇÃO

Particularmente, no âmbito da hidrogeologia aplicada, a natureza do aquífero "karst" requer, notadamente, em termos de perfuração e exploração, a introdução de tecnologias de construção de poços, diferenciáveis das demais unidades hidrogeológicas ocorrentes no Paraná. A natureza químico-mineralógica da rocha, os efeitos do quadro de deformações superpostas, associados à tectônica transcorrente, e o magmatismo intrusivo conferem ao aquífero, conforme se abordará mais adiante, o surgimento de zonas de carstificação extremamente fraturadas e instáveis (FRAGA, 1993).

Há ainda a considerar que, a água circula ao longo de condutos e/ou canais de dissolução, parcial ou totalmente obliterados por materiais silteco-argilosos de aspecto laterítico. A permeabilidade do "karst" é decorrente das características petroestruturais das rochas carbonatadas que formam o seu esqueleto ("framework"), e dos efeitos nestas, da tectônica e do clima da região. Em síntese, são esses os fatores condicionantes da geometria (espessura e extensão) e do desenvolvimento das feições de carstificação.

Em decorrência da natureza física diferenciável do aquífero "karst", a análise dos problemas, da história e das observações, até então registradas nos programas de perfurações dos poços revela que, quando são esses executados pelos métodos convencionais de perfuração, os riscos e as dificuldades impostas não asseguram a devida completação da obra. É comum a perda de circulação do fluido, a prisão da coluna de perfuração (método rotópneumático) e os desvios dos furos nos intervalos de maior carstificação. Da mesma forma, a operação de revestimento do poço é enormemente dificultada, em face da ocorrência de desmoronamentos. A perfuração do poço, pelo método de percussão a cabo, também esbarra numa série de dificuldades. E, não é incomum, o abandono do poço e/ou a perda da coluna de perfuração.

Com a introdução, no Paraná, a partir de 1991, do método de **revestimento simultâneo** ("tubex"), adaptável ao sistema de perfuração rotópneumático, a segurança e o avanço da perfuração foram substancialmente aumentados. Poços com profundidades da ordem de 70 m, e com diâmetros úteis das câmaras de bombeamentos em 8, 10, 12 e até 16 polegadas, passaram a ser concluídos num período de tempo compreendido entre 3 a 5 dias.

O princípio da simultaneidade do método das operações de perfuração e revestimento é alcançado porque o "bit" (broca de botão) tradicional foi substituído por um "bit" excêntrico, articulável a uma peça piloto. O conjunto do ferramental incrementa o diâmetro da perfuração no sentido direito do giro e diminui em sentido contrário. Mediante a abertura do excêntrico, torna-se possível perfurar poços com diâmetros maiores do que os diâmetros dos revestimentos projetados, viabilizando assim, a instalação simultânea dos mesmos (LISBOA, Comunicação Oral). Outra vantagem é a possibilidade, ultrapassado o intervalo crítico da perfuração, de se avaliar o "karst", pela introdução desse artifício, acoplado ao método rotópneumático, em trechos de maior profundidade.

No atual estágio de conhecimento do "karst", dentre os aspectos concernentes à tecnologia de produção, dois tópicos despertam maior interesse: **turbidez da água** e os **riscos geotécnicos** da exploração do aquífero em áreas mais densamente habitadas.

No primeiro caso tem-se observado que, na mobilidade da carga residual, responsável pela **turbidez da água**, sob condições normais de condicionamento hidrogeológico, a fração mais grossa é sedimentada e a fração mais fina permanece ou não em suspensão. Particularmente, nas áreas de grandes confinamentos e gradiente hidráulico do aquífero, o volume de detritos, em movimento, cresce substancialmente. O efeito final é de obstrução do poço e redução de vazão. Em termos de potabilidade, para essas condições hidráulicas, o enquadramento da turbidez da água só é alcançado mediante um tempo muito longo de bombeamento. Frequentemente, em função das condições geoclimáticas da região, a operacionalidade do poço requer monitoramento.

O controle da mobilidade da carga residual, do tipo siltico-argilosa e de aspecto laterítico, vem sendo estudada pelos técnicos da SANEPAR. Observa-se, pelo menos, para os casos mais críticos de ocorrência, que há necessidade de se desenvolver o poço para uma vazão de bombeamento muito maior do que à de operacionalização permanente do mesmo. Outro artifício é operar os poços sob condições de regime contínuo de bombeamento. A exemplo do que foi constatado em um dos poços de Colombo, onde um volume enorme de detritos, localizado próximo à base do revestimento do mesmo, foi parcialmente removido, e vem sendo controlado, operacionalmente, a 8 metros, por condições de velocidade de fluxo constante da água.

Quanto aos **riscos** de ordem geotécnica, gerados pela exploração acentuada do "karst", é importante, introdutoriamente mencionar que, a quantificação de fenômenos de recalque diferencial e/ou de subsidência do solo é uma tarefa de difícil diagnóstico e previsão. São muito poucos os trabalhos publicados que efetivamente têm contribuído para uma compreensão mais aprofundada do fenômeno em questão. A literatura científica mundial, notadamente divulgada nos Estados Americanos e no Continente Europeu, comprova isso. Na verdade, se preocupa muito mais a mesma em dar uma contribuição ao estudo da ocorrência do fenômeno, do que precisar as hipóteses dos trabalhos.

Especificamente, na abordagem dos aspectos geotécnicos ligados à exploração do aquífero "karst", no Paraná, há a se fundamentar que o caráter confinante e/ou semiconfinante do mesmo, comprovado pelo condicionamento hidráulico dos poços, lhe confere propriedades distintas dos sedimentos sobrepostos. A água contida no "karst" exerce uma força dirigida, de baixo para cima, auxiliando, portanto, no equilíbrio do peso das camadas do solo.

Do ponto de vista hidráulico, a cobertura sedimentar (aluvião, solo e regolito) se comporta como um aquífero freático suspenso. Quando a pressão neutra do "karst" diminui muito, pela extração da água (rebaixamento da superfície potenciométrica do aquífero), aumenta a pressão intergranular, gerando o fenômeno da subsidência do solo (FRAGA, 1991b).

Por outro lado, a gênese dos sedimentos que recobrem as rochas do "karst", diagnosticada pela descrição das amostras de calha dos poços perfurados em pontos centrais das áreas de "coalescência de dolinas" revela, pelo menos para as coberturas mais espessas, que constituem essas, na verdade, materiais de preenchimento de dolinas (figura 2). Geotecnicamente se afiguram como áreas mais vulneráveis ao processo de subsidência do solo. Neste caso, as áreas topograficamente mais deprimidas, circunvizinhas aos grandes acidentes geográficos, já teriam sofrido, no tempo geológico, um processo diferenciado de abatimento do solo.

Com base na teoria elástica dos adensamentos, o consórcio GEOTECNICA et al (1992) conclui, para aquelas áreas onde o capeamento do material siltico-argiloso tem uma espessura de 15 m, e a exploração do poço produza um rebaixamento pontual da superfície potenciométrica do aquífero de 5 m que, o aumento da pressão intergranular, na base da camada capeante, será de 0,5 kg/cm². Em função disso, as vazões dos poços são limitadas para rebaixamento máximo do nível d'água de 1,5 m. Para estas condições, a redução da pressão neutra do aquífero não ultrapassará o valor de 0,15 kg/cm². O incremento da taxa de bombeamento dos poços só poderá ser efetuada após a análise de instrumentalização dos poços.

À luz das informações levantadas acima, a SANEPAR vem desenvolvendo estudos de monitoramento do aquífero "karst", pelo menos na região de Almirante Tamandaré, onde esse está sendo mais exigido. A intenção da empresa é aprofundar os estudos de quantificação do fenômeno de subsidência do solo, assegurar a credibilidade do projeto e obstaculizar problemas futuros. Hoje, em função da taxa pontual de descompressão do aquífero, teoricamente permissível, se vem ex-

traindo de três poços em Almirante Tamandaré, uma vazão-conjunta de 430 m³/h. Esse volume d'água vem abastecendo, harmonicamente, com a vocação natural de risco geotécnico da área, 13.000 economias.

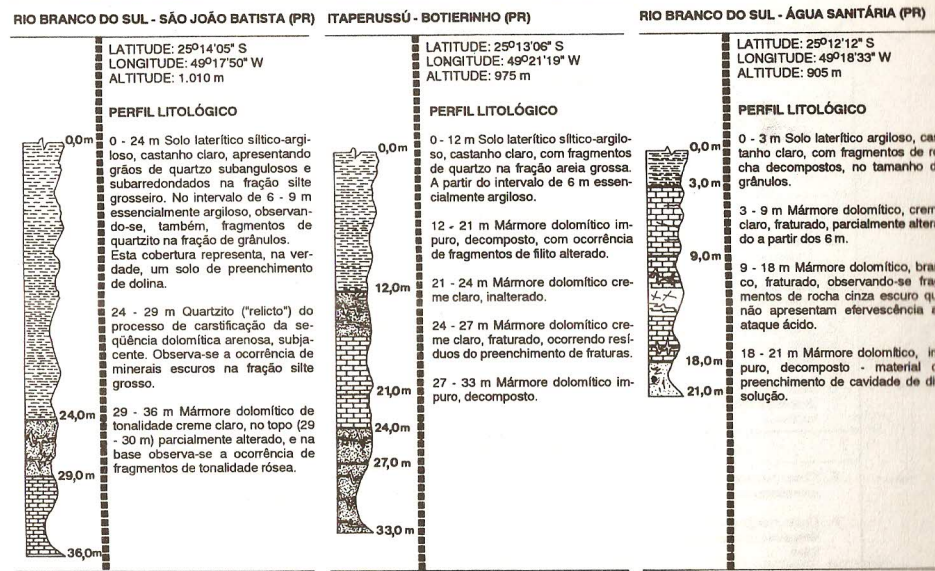


FIGURA 2 - PERFILS LITOLÓGICOS ILUSTRATIVOS DO AQUÍFERO "KARST" (POÇOS PARCIALMENTE PENETRANTES).

DIAGNOSE DAS ALTERNATIVAS DE INVESTIMENTOS

De conformidade com as exigências solicitadas pelas diretrizes do empréstimo 3100 do Banco Mundial – linha de crédito PEDU – Plano Estadual de Desenvolvimento Urbano, o custo marginal do aproveitamento do "karst" é confrontado, inicialmente, com o projeto de captação superficial do rio Iraí, que tem o início da sua primeira etapa programado para o ano de 1995.

Dentro dos estudos de concepção do Alto Iguauçu, ambas as alternativas, fazem parte da mesma área de distribuição e adução. Assim, as hipóteses confrontadas se adequam melhor às exigências do estudo da análise de custo/benefício, quando comparada com a captação superficial do rio Passaúna, inicialmente proposta. Com respeito à essa última alternativa de captação, os custos disponíveis, levantados dentro da SANEPAR, se referem somente às obras já financiadas. Obstaculizam ainda a análise em questão, os custos subestimados, tendo em vista as modificações que irão ocorrer no escopo do referido projeto. Assim, em estudos deste gênero, a confiabilidade da análise econômica seria enormemente prejudicada.

Particularmente, na diagnose das alternativas dos investimentos, apresentada na tabela 1, o valor da tarifa média do sistema é de **US\$ 0,588/m³**. A taxa de desconto considerada é de 12% (30 anos). Nas alternativas, em questão, são confrontados o desembolso com os valores presentes totais de: investimentos, despesas operacionais fixas e despesas operacionais variáveis. Para ambas as alternativas (água subterrânea/água superficial) são calculados os respectivos custos marginais, chegando-se às seguintes conclusões: o custo do metro cúbico da água produzido é de **US\$ 0,547** para captação do rio Iraí, e de **US\$ 0,3617** para o aproveitamento do aquífero "karst". Em termos de produção, o manancial superficial proporcionará um incremento de vazão de 1,8 m³/s, saturável em 8 anos, mas requererá investimentos para 2,6 m³/s. O volume obtível com o aproveitamento do manancial subterrâneo é de 1 m³/s, saturável em 3 anos. Isso representará para a SANEPAR,

em termos percentuais, uma economia da ordem de 33,8% por metro cúbico de água potável consumida (FRAGA, 1992).

TABELA 1 - DIAGNOSE DAS ALTERNATIVAS DE INVESTIMENTO - ÁGUA SUBTERRÂNEA/ÁGUA SUPERFICIAL

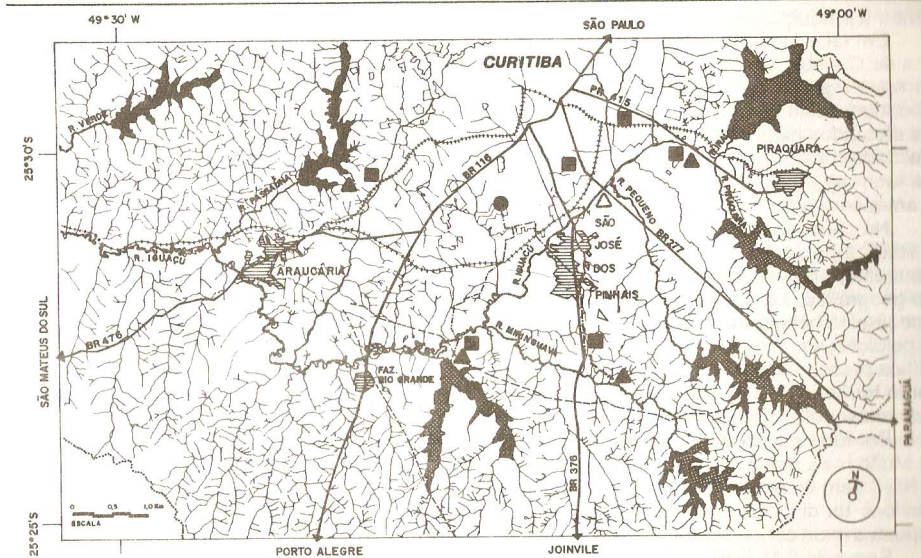
FONTE - ALTERNATIVA		
PRODUÇÃO	MANANCIAL SUBTERRÂNEO "KARST" SUBCOMPARTIMENTO ALMIRANTE TAMANDARÉ 1 m ³ /s SATURÁVEL EM 3 ANOS	MANANCIAL SUPERFICIAL CAPTAÇÃO RIO IRAÍ VAZÃO INCREMENTAL 1,8 m ³ /s INVESTIMENTO PARA 2,6 m ³ /s SATURÁVEL EM 8 ANOS
DESEMBOLSO (US\$)		
A. Valor presente do volume consumido	105.500.000 m ³	144.002.250 m ³
B. Valor presente total dos investimentos	19.366.000	55.255.590
C. Valor presente total das despesas operacionais fixas	14.450.000	16.147.570
D. Valor presente total das despesas operacionais variáveis	4.380.000	2.391.108
CUSTO MARGINAL (US\$)		
E. Custo marginal dos investimentos	0,1833/m ³	0,3840/m ³
F. Custo marginal das despesas operacionais fixas	0,1369/m ³	0,1120/m ³
G. Custo marginal das despesas operacionais variáveis	0,0415/m ³	0,0513/m ³
H. Custo marginal total	0,3617/m ³	0,5470/m ³
Tarifa média do sistema	0,5880/m ³	0,5880/m ³
I. Porcentagem da tarifa/custo marginal	161,51%	107,49%

Na concepção das alternativas de investimentos, confrontadas acima, alguns tópicos referentes principalmente à **distribuição** e à **qualidade** da água, não poderiam deixar de ser lembrados. Assim, em face do perfil da demanda de Curitiba, dos setores de distribuição que serão contemplados, e das zonas de pressões propostas, verifica-se, de conformidade com os fundamentos do projeto que: no custo marginal dos investimentos do "karst" estão embutidos pontos de distribuição d'água muito mais distantes do que os considerados na alternativa de captação do rio Iraí. O ponto de reservação do Atuba (15 km) ilustra muito bem isso.

Além do custo de 15 km de tubulação DN 800 referenciado, cujo custo é da ordem de US\$ 5.447.000,00, estão computados também os gastos de 170,7 km de redes de distribuições principais (US\$ 8.326.000,00). O horizonte de atendimento é de 80.000 novas ligações. A distribuição abrangerá os seguintes centros de reservação: Santa Cândida, Cachoeira, Bacacheri e Atuba (figura 3). Os valores dos diâmetros nominais considerados variam de 100 a 600 mm, perfazendo 2,13 m/ligação.

Faz parte também do aproveitamento da alternativa "karst" o investimento com a implantação de uma estação de tratamento para remoção da dureza da água, estimado em US\$ 1.500.000,00. Na verdade, este custo, inicialmente embutido, deverá ser eliminado das variáveis do desembolso. Os dados hidrogeoquímicos do aquífero "karst" comprovam isso. Os teores de dureza das águas variam de 126,0 a 292,0 mg/l de CaCO₃, com média de 184,6 mg/l, sendo que em 67% dos casos os valores são inferiores à média. De outra forma, a tendência, conforme se tem noticiado em áreas de similaridade geológica, é que com a exploração mais intensa do aquífero, os valores de

dureza da água tenderão a decrescerem. O tempo de permanência menor da água no subsolo não permitiria que, no sistema água/rocha, o equilíbrio iônico fosse atingido.



LEGENDA

- Centro de reservação
- ▲ Captação e elevatória de água bruta projetada
- Reservatório de barragem existente
- △ Captação existente
- ▣ Estação de tratamento de água projetada
- ▤ Reservatório de barragem projetada
- Adutora de água bruta
- - - Adutora de água tratada

FIGURA 3 - PLANO DIRETOR DE CURITIBA: BARRAGENS PROJETADAS, CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO E RESERVAÇÃO (Compilado de DALARMI, 1993).

Há, ainda, por fim, a se considerar que, na análise de risco do empreendimento superficial, os fatores antropogênicos e ambientais constituem uma ameaça constante à qualidade do manancial. Em que pese o esforço do governo, os índices de qualidade da água demonstram que as extensões dos trechos dos rios com águas impróprias para tratamento convencional crescem e se afiguram, diante da realidade da economia nacional, como um quadro onde os problemas não admitem solução. Não é só o Paraná que sofre com isso. Atualmente um ciclo generalizado de poluição atinge o nosso planeta, ameaçando, inclusive, a sobrevivência humana.

A IMPORTÂNCIA DO "KARST" E AS DIRETRIZES PARA O SEU APROVEITAMENTO

No mundo inteiro os sistemas aquíferos do tipo "karst" são muito estudados e aproveitados. A bibliografia científica internacional destaca ocorrências onde os caudais explorados ultrapassam o valor de 1 m³/s.

No Paraná, os mármores existentes na região norte de Curitiba, constituem grandes reservatórios de água subterrânea e, embora trata-se de uma área rarefeita de informações hidrogeológicas, esse sistema aquífero parece comportar-se, hidráulicamente, de forma similar às ocorrências já estudadas nos Estados Americanos e no Continente Europeu. E, em função da sua localização geográfica privilegiada, hidráulica e geometria, representa o mesmo uma unidade hidrogeológica de indiscutível valor.

Dada à rápida execução das obras de captação e suas características pontuais, as águas do "karst" paranaense são também uma fonte-alternativa de alto valor estratégico. Se essa alternativa

for confrontada com os investimentos tradicionalmente aplicados na construção de barragens, representa uma economia substancial de recursos. De outra forma, constituem às suas captações, a exemplo do que ocorre nos municípios de Almirante Tamandaré e Colombo, uma fonte para incrementar a produção do sistema e assegurar sua contínua operação.

Em face de que os mananciais superficiais, para abastecimento da RMC – Região Metropolitana de Curitiba, estão se exaurindo, a importância do aproveitamento do aquífero "karst" adquire um novo significado. A demanda hoje, oficialmente, para a RMC, é de 5,8 m³/s. Entretanto, se sabe, que existe uma demanda reprimida muito grande (LITZINGER, Comunicação Oral). Os estudos efetuados na periferia de Curitiba comprovam isso. Por outro lado, o conflito da degradação da qualidade da água, gerado pelo avanço demográfico sobre os recursos superficiais, e as dificuldades técnicas e econômicas impostas à execução de novas barragens, constituem obstáculos que se antepõem e/ou inviabilizam o seu futuro aproveitamento.

No contexto acima, o mais grave é que, segundo a dimensão e as diretrizes do Plano Diretor da RMC, a bacia do Alto Iguazu está sendo considerada, de imediato, como a unidade hidrográfica que melhor aproveitamento permitirá. Mas, não se pode esquecer que, em função da sua localização geográfica, essa bacia foi, é e será vista como um corpo receptor. Metade do seu potencial hídrico já está hoje comprometido com a diluição da carga de esgoto. Reverter esse quadro crônico de poluição, vai exigir do governo estadual, um desmensurável esforço para implantar uma forte política preservacionista. Haja recursos financeiros para o desenvolvimento de ações com: ordenamento territorial das bacias hidrográficas, fiscalização e monitoramento do uso do solo e da qualidade ambiental, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas e infra-estrutura urbana.

Por tudo que foi dito, desconsiderar o aproveitamento do aquífero "karst", não faz mais sentido. Muito mais ainda porque, em função da qualidade, quantidade e custo da água, o Plano Diretor da RMC vem sofrendo, a longo tempo, alterações na concepção da forma e no modo de abordar as questões da disponibilidade e seleção de mananciais. Somente a partir de 1980 é que surgiram respostas mais concretas para o alcance de um planejamento de produção de 30 anos.

Segundo DALARMI (1993), em função da projeção de uma demanda futura de 6,38 m³/s para 1995, e de 12,74 m³/s para o ano de 2020, os mananciais selecionados da bacia do Alto Iguazu vão envolver o aproveitamento de um conjunto de 11 rios barráveis, denominados de "Cinturão Azul". As distâncias dos pontos de captação não ultrapassam a 25 km do centro de Curitiba. A vazão total é estimada em 13,56 m³/s. O custo para atendimento da população do ano 2020, estimada em 5,2.10⁶ habitantes, só com as construções de seis novas barragens projetadas é de US\$ 167.238.000,00 (figura 3). Só isso já representará, em média, percentualmente, 33% do custo do metro cúbico da água produzido. E, a área total da RMC, comprometida com o processo de alagamento dos rios será de 47,41 km².

No que tange às **diretrizes** a serem definidas para o aproveitamento do "karst", há a se mencionar que, como esse sistema aquífero é muito pouco conhecido e estudado no Estado do Paraná, muito terá que ser feito para compreender melhor suas características geométricas e hidrodinâmicas. De outra forma, considerando a importância e as vantagens do seu aproveitamento, o governo do Paraná não deve medir esforços para aprofundar o estudo hidrogeológico regional do "karst". Mesmo porque o Plano Diretor da RMC é extremamente flexível e o aproveitamento do "karst" poderá protelar e/ou mesmo eliminar, com vantagens, os investimentos com futuras obras de captação superficial. Em função disto, sugere-se, sumariamente, que o **plano de diretrizes** para a exploração do "karst" contemple o desenvolvimento das seguintes atividades:

- (A) **Mapeamento morfoestrutural** na escala de 1:10.000 das áreas dos subcompartimentos hidrogeológicos inicialmente reconhecidos. Os estudos de campo deverão ser dirigidos para a prospecção de áreas relativamente mais produtoras. Ênfase deverá ser dada aqueles aspectos paleoambientais e litostrostruturais, que têm conotação hidrogeológica. O estudo deverá ensejar, também, à introdução de parâmetros para estabelecer as linhas gerais de um modelo físico-hidrogeológico do aquífero, de modo a fundamentar a prospecção e a exploração das águas subterrâneas. Para tanto, esse mapeamento dirigido prevê a caracterização geral de feições estruturais, buscando-se a compreensão do modelamento das rochas e sua correlação com os processos de carsificação. Irá fazer parte também deste escopo, o reconhecimento e a natureza dos corpos geológicos; sua variação litológica, sua distribuição espacial, bem como o levantamento altimétrico de horizontes-guias para a confecção de mapas de controle estrutural e a definição de perfis geológicos mais significativos à locação de poços.

- (B) **Estudo hidrogeológico regional** do aquífero, na escala de 1:25.000, objetivando definir: características hidrodinâmicas do aquífero e geometria de fluxo. Com o desenvolvimento desta atividade serão reconhecidas as principais áreas de recarga e de descarga do aquífero, para cada subcompartimento hidrogeológico, e as suas relações com os recursos superficiais.

- (C) **Estudo hidrogeoquímico regional** do aquífero, na escala de 1:25.000, objetivando o reconhecimento, separadamente, das relações e distribuições espaciais dos fácies hidrogeoquímicas, para cada subcompartimento hidrogeológico. Esse estudo permitirá à prospecção de áreas onde o "karst" apresente águas com teores de dureza relativamente mais baixos, e fundamentará o plano de monitoramento e avaliação da suscetibilidade à contaminação do aquífero.

- (D) **Confecção do mapa de vulnerabilidade de risco geotécnico**. As áreas potencialmente mais suscetíveis, onde o "karst" se acha recoberto por um espesso pacote de sedimentos (colúvios, solos residuais e aluviões), deverão ser reconhecidas e delimitadas. Essa atividade irá fundamentar, posteriormente, com apoio dos ensaios de bombeamento dos poços, o programa de monitoramento e de instrumentalização da exploração do aquífero.

Finalmente, com a integração dos dados litostrostruturais, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos, sistematicamente gerados, será elaborado um **modelo matemático** de funcionamento hidráulico, de uso e de preservação do "karst".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GEOTÉCNICA, PROENSI, OSM SERENCO & CONSULT - 1992 - Aproveitamento do aquífero cárstico a Norte de Curitiba. **SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná**, Relatório Final, sem n° de páginas.
- DALARMI, O - 1993 - Resumo do Plano Diretor de Abastecimento d'água de Curitiba: mananciais superficiais. **SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná**, Relatório Final, 27 p.
- FRAGA, C.G. - 1991a - Subprojeto "karst": Fase de prospecção hidrogeológica. **SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná**. Relatório da GHG - Gerência e Hidrogeologia, 14 p.
- FRAGA, C.G. - 1991b - Características hidráulicas e geotécnicas do aquífero "karst" paranaense (região de Almirante Tamandaré - PR). **SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná**. Parecer técnico 065/93 - PJU, 3 p.
- FRAGA, C.G. - 1992 - Viabilidade econômico-financeira do subprojeto "karst". **SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná**. Relatório da GHG - Gerência de Hidrogeologia, 4 p.
- FRAGA, C.G. - 1993 - Programa de trabalho para solucionar os problemas operacionais do sistema de captação de Colombo - PR (Fundamentos e hipóteses sobre a origem da turbidez elevada da água). **SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná**. Parecer Técnico da GHG - Gerência de Hidrogeologia, 3 p.