

O Sistema Aquífero Guarani e a crise hídrica nas regiões de Campinas e São Paulo (SP)

*Ricardo Hirata, Bruno Pirilo Conicelli,
Antonio Pinhatti, Mariana Bernardino Luiz,
Rubem Porto, Luiz Ferrari*

resumo

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um dos mais importantes mananciais do estado de São Paulo, e foi estudado para abastecer os municípios do noroeste da bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, como parte da estratégia para amenizar os efeitos da crise hídrica que atinge a região. Essa foi a primeira vez que um volume tão grande de água subterrânea foi projetado para o abastecimento público urbano no país. O estudo demonstrou que o SAG na região aflorante de Itirapina (SP) pode produzir $>1 \text{ m}^3/\text{s}$, a partir de 24 poços tubulares (até 300 m). Esse aporte adicional, além de aumentar a oferta, também traria maior segurança hídrica pela diversidade da fonte de abastecimento e alta resiliência do recurso hídrico subterrâneo.

Palavras-chave: segurança hídrica; abastecimento público; recurso hídrico subterrâneo.

abstract

The Guarani Aquifer System (GAS) is one of the most important fresh water sources for São Paulo State. Because of its large capacity and high resilience to drought, it has been considered for supplying the municipalities located in the Northwest region of the Piracicaba, Capivari and Jundiaí Rivers watersheds, as part of a strategy to mitigate the effects of the water crisis striking the metropolitan region of São Paulo. This is the first time such a large volume of groundwater is being directed for urban public supply, which has turned such project into a pioneering experience. Studies have shown that the GAS in the outcropping Itirapina region (SP) could produce discharges of $>1 \text{ m}^3/\text{s}$ from 24 wells (300 m). Besides providing those cities with additional water supply, the GAS would also increase water security because of the variety of supplying sources and the high resilience of groundwater resources.

Keywords: water security; public water supply; groundwater resource.

As regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas têm vivido um sério problema de escassez hídrica, que se agravou nos anos 2013 a 2015 em virtude de um conjunto de fatores que incluíram: redução das chuvas no período; falta de uma política de consumo eficiente de água e redução de perdas da rede pública; reduzidos investimentos na busca de novos mananciais para o aumento da oferta segura de água; e ausência de obras de distribuição de água que privilegiem a integração de diferentes sistemas produtores. Tradicionalmente o investimento para suprir a demanda por água em grandes cidades brasileiras é centrado na busca exclusiva de novos mananciais de água superficial, geralmente não se contemplando alternativas importantes, como as águas subterrâneas ou o reúso de água. No caso particular das bacias hidrográficas, onde se localizam as regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas, há reduzidas disponibilidades hídricas naturais para atender a novas demandas. As águas subterrâneas têm sido uma das alternativas importantes que são amplamente usadas para abastecer de forma a complementar o sistema público. Estudos têm mostrado que se extraem mais de 10 m³/s, de 12 mil poços privados, o que faz desse recurso o quarto maior manancial de água da Bacia do Alto Tietê (Hirata & Ferreira, 2001; Hirata et al., 2002). Valores expressivos também são estimados na região de Campinas, onde a quase totalidade

das indústrias e muitos serviços e condomínios fazem amplo uso das águas subterrâneas.

O uso da água subterrânea nas regiões de Campinas e São Paulo tem se incrementado de forma impressionante desde 2013, quando a seca começou a se avizinhar, como estratégia de particulares para reduzir a dependência da água da rede pública (Bertolo et al., 2015) ou de diminuir os custos com a compra de água da concessionária, que é mais cara do que as águas subterrâneas. Muito embora a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) tenha capacidade de incrementar a vazão em mais 10 m³/s (elevando para 20 m³/s) de forma sustentável, desde que os novos poços obedeçam a uma boa distribuição e se afastem dos centros de alta densidade de exploração (Conicelli, 2014), o aumento da vazão pela iniciativa privada está se dando de

RICARDO HIRATA é professor do Instituto de Geociências da USP e vice-diretor do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – Cepas/USP.

BRUNO PIRILO CONICELLI é pesquisador do Cepas/USP.

ANTONIO PINHATTI é pesquisador do Cepas/USP.

MARIANA BERNARDINO LUIZ é mestranda em Hidrogeologia no Instituto de Geociências da USP.

RUBEM PORTO é professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP.

LUIZ FERRARI é doutor em Geociências (Hidrogeologia) pela USP.

forma paulatina e não conseguirá responder às demandas exigidas pela crise que a região vive, devido à reduzida vazão individual dos poços (associada ao tipo de rocha do aquífero).

O aquífero com capacidade para grandes produções e que se encontra mais próximo às regiões de Campinas e São Paulo é o Sistema Aquífero Guarani (SAG), que é o manancial subterrâneo mais promissor e estratégico para o abastecimento público no estado de São Paulo. Entretanto, como a sua ocorrência não coincide com as regiões de demanda de água, a alternativa estudada foi a de suprir em mais 1 m³/s, com águas do SAG, os municípios das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), com o intuito de aumentar a oferta para a RMSP. Este trabalho atendeu a um pedido do Governo do Estado de São Paulo ao grupo de pesquisadores do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – Cepas da USP.

O SISTEMA AQUÍFERO GUARANI E AS ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NO ESTADO DE SÃO PAULO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um enorme sistema hidrogeológico que corresponde a uma área de cerca de 1,1 milhão de km² localizado principalmente na bacia do Rio Paraná, no Brasil (62% de sua área conhecida), Paraguai, Uruguai e Argentina. O estado de São Paulo tem apenas 13% de sua área, mas extrai mais de 70% da vazão de todo o aquífero (OEA, 2009).

O SAG compreende uma sequência de camadas de arenitos quartzosos (fracamente cimentados) de idade triássico-jurássica, formadas por processos de deposição continental (eólicos, fluviais e lacustres) a partir de uma erosão regional de superfície permotriássica (há 250 milhões de anos), que são sobrepostas por rochas basálticas do Cretáceo (entre 145 e 130 milhões de anos), que quase cobrem todo o sedimento, podendo exceder espessuras de 1.000 m em algumas áreas. No estado de São Paulo, o SAG corresponde às rochas das formações Piramboia e Botucatu e possui uma espessura saturada média de 250 m.

O SAG possui alta produtividade, tendo poços que podem alcançar vazões superiores a 750 m³/h,

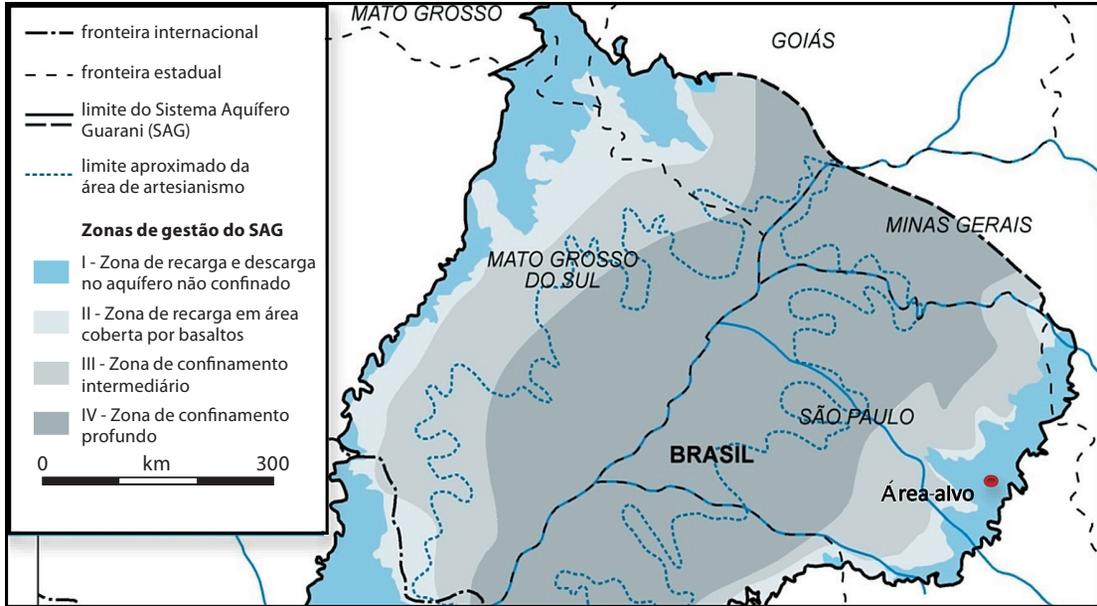
reflexo da grande permeabilidade de suas rochas e uma boa espessura produtora (transmissividade média de cerca de 300 m²/dia, chegando a 1.200 m²/dia). Entretanto, o terreno plano e os reduzidos gradientes hidráulicos na porção confinada (~0,1-0,3 m/km) implicam velocidades de fluxo de água subterrânea muito baixas (<0,5 m/ano). Modelagens numéricas do aquífero sugerem que o fluxo de água subterrânea ativo no aquífero confinado profundo é muito limitado, provavelmente equivalente a 10-15 mm/ano de infiltração vertical da recarga observada na área de afloramento (somente cerca de 1-2% da precipitação anual), em oposição às recargas na zona de afloramento, que devem ser superiores a 150-200 mm/ano e velocidades da água subterrânea superiores a 5 m/ano (OEA, 2009).

A qualidade natural das águas no SAG é geralmente muito boa, com baixa mineralização na maioria dos locais, sobretudo em sua área de afloramento (Sracek & Hirata 2002), sendo predominantemente potáveis.

O modelo conceitual da hidrogeologia do SAG apresenta importantes implicações em termos da definição de uma estratégia eficiente e sustentável para a gestão dos recursos de água subterrânea. Cinco “zonas regionais de gerenciamento do recurso” distintas podem ser definidas (Figura 1, Tabela 1) (Foster et al., 2009). Dessas, quatro ocorrem em São Paulo, incluindo a unidade aflorante (Zona I), onde a extração da água subterrânea é a que apresenta uma exploração completamente sustentável e renovada em períodos de décadas. As vazões-limite se referem a uma fração da recarga (até 300 mm/ano em São Paulo), que, entretanto, dependendo da forma de exploração, poderá induzir a uma recarga adicional à medida que haja um rebaixamento do nível d’água do aquífero (extração induzindo recarga). Sendo um aquífero completamente livre, é também a zona mais vulnerável à contaminação antrópica. Já a Zona II é aquela que se encontra abaixo dos basaltos (até 100 m de espessura), mas que pode receber recarga através dessas rochas, quando fraturadas. A renovação de suas águas leva comumente centenas de anos, o que faz a sua gestão mais sensível a prolongados e intensos bombeamentos. As zonas III e IV são aquelas associadas a espessas coberturas do aquitarde basáltico, com águas de milhares a centenas de milhares de anos, portanto, consideradas águas fósseis, embora

FIGURA 1

Zonas de gerenciamento da exploração do Sistema Aquífero Guarani no estado de São Paulo



Fonte: Foster et al., 2009

TABELA 1

Zonas de gerenciamento da exploração do Sistema Aquífero Guarani

Zona I <i>Não confinada</i>	Zona II <i>Recarga coberta por basaltos</i>	Zona III <i>Confinada intermediária</i>	Zona IV <i>Confinada profunda</i>
Exploração sustentável	Exploração parcialmente sustentável	– Exploração mineira (1 só vez) – Descendo gradual de nível e aumento de custo	
Acesso por poços de todo o armazenamento (Sy)	Acesso por poços de todo o seu armazenamento (Sy)	Acesso por poço de todo o seu armazenamento (S e Sy)	Problema de níveis dinâmicos >400 m (sem acesso a Sy)
Vazão segura deve ser uma fração da recarga e das funções ecológicas dos rios	Vazão segura baseada na recarga lateral e através dos basaltos e do armazenamento	A exploração deve considerar: a) interferência entre poços b) necessidade de aprofundamento de poços c) aumento dos custos com a queda dos níveis	
Vazão associada à recarga de 45 km ³ /a. A exploração deve considerar o impacto em rios (vazão de base)	Vazão depende da recarga e fluxo lateral de ZI e do armazenamento (S) e drenança (Sy)	Volume total 2.100 km ³ (S=10 km e Sy=2.090 km ³)	Volume do confinamento (S) de 40 km ³

Obs.: os volumes e vazões são aproximados para todo o SAG

Fonte: Foster et al., 2009

apresentem em sua maior parte águas de baixa salinidade e aptas ao consumo humano. Já a Zona V é restrita ao território argentino e possui em grande extensão águas com alta salinidade.

POÇOS EM ÁREA DE AFLORAMENTO DO AQUÍFERO GUARANI E ADUÇÃO PARA A BACIA DO PCJ

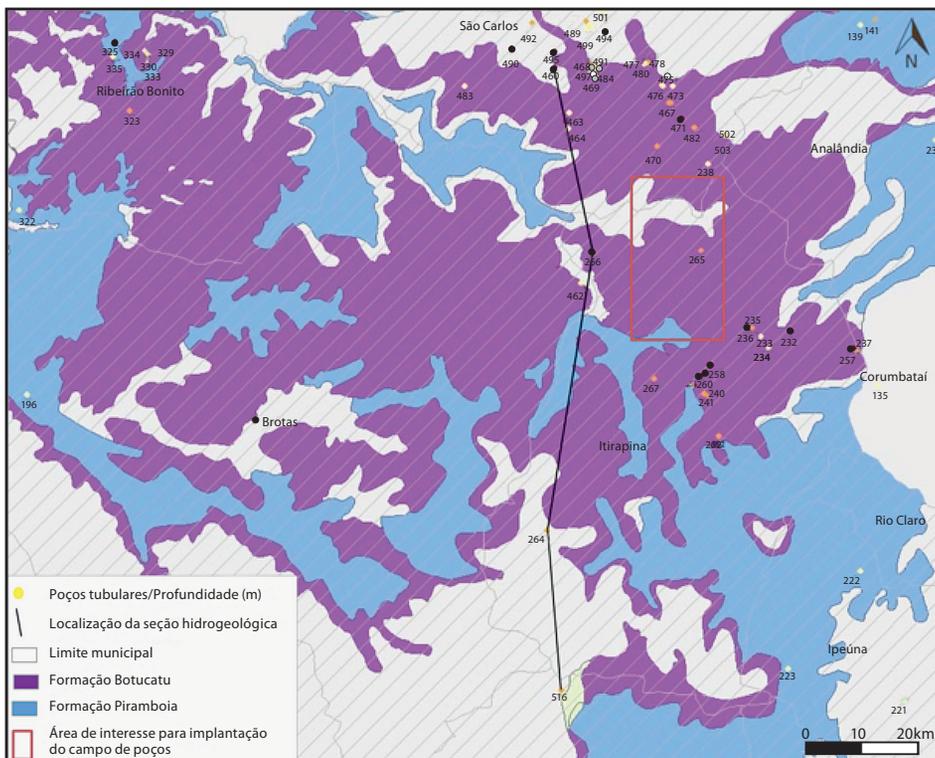
A área-alvo do estudo foi aquela que atendeu aos seguintes requisitos: a) permitir extrações elevadas, que no conjunto de poços possam fornecer mais de 1 m³/s; b) ter proximidade com a área de consumo de água; c) ter água naturalmente potável, sem a necessidade de tratamento; d) estar afastada de áreas com grande densidade de poços em operação; e e) localizar-se em cota topográfica superior à dos centros consumidores, reduzindo a

necessidade de bombeamento. Assim, a área com maior potencial para os estudos restringiu-se à Zona I (área de afloramento).

A análise dos dados de 610 poços tubulares existentes na Zona I paulista e que compõem o banco de dados do recente projeto do IPT (2011) permitiu avaliar as áreas mais promissoras para este estudo. Os dados desses poços possibilitaram também estabelecer a geometria do aquífero através de perfis geológicos. A área-alvo foi então definida em um quadrado de 25 km de lado (coordenadas UTM 7.530 a 7.555 km N; 195 a 220 km E), sendo que o município de Itirapina ocupa a sua maior parte (figuras 2 e 3). Essa área é também concordante com a proposta do prof. dr. Huang K. Chang, da Unesp, que inicialmente avaliou pioneiramente a possibilidade de uso das águas do SAG para o abastecimento da bacia do Alto Tietê (Lebac, IGCE, Unesp, 2004) a pedido da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (Abas).

FIGURA 2

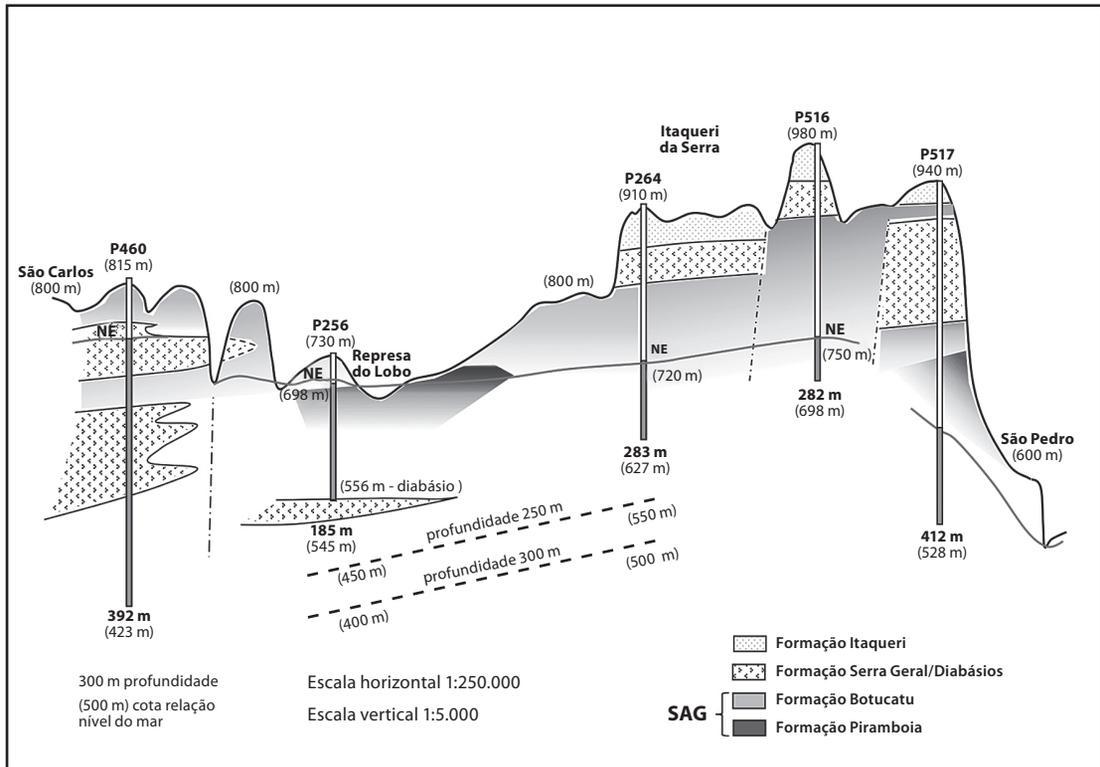
Detalhe da área-alvo com a indicação da seção hidrogeológica e do polígono de interesse para a construção dos campos de poços de captação do Sistema Aquífero Guarani



Obs.: o mapa-base representa a geologia aflorante

FIGURA 3

Seção hidrogeológica norte-sul



Obs.: a localização do perfil encontra-se na Figura 2

VAZÕES DE EXPLOTAÇÃO DO CAMPO DE POÇOS

Para atender ao abastecimento público, as vazões de exploração dos poços devem ser mantidas por longo período. Essas vazões dependem fortemente da relação entre as extrações e a recarga, que é representada pela infiltração da chuva local e de um bom projeto, construção e manutenção dos poços.

A dificuldade em determinar com precisão a vazão dos poços, bem como a vazão sustentável de toda a bateria de poços, está no fato de que a maioria dos existentes na área-alvo e seu entorno foi perfurada para atender a usos que consomem pouca água (poços de pouca profundidade e de baixa vazão). Para estabelecer as probabilidades de vazão que se espera encontrar na área, utilizaram-se os dados da vazão específica dos poços, projetando-os às

vazões necessárias para esse empreendimento. Assim, estima-se que um poço tubular profundo fornecerá vazões superiores a 150 m³/h, com 80% de chance de sucesso. Para uma vazão de 1 m³/s, seriam necessários 24 poços tubulares, em regimes recomendados de extração de 18-20 horas. Ressalta-se que a região poderia fornecer pelo menos 1 m³/s, num primeiro módulo do projeto, e, caso novos poços fossem perfurados na área com a implementação de novos módulos, essa vazão poderia ser duplicada ou, talvez até, triplicada.

O poço tipo foi projetado com base nas características hidrogeológicas da área-alvo e nas expectativas de produção. Considerou-se a profundidade para esse poço de 300 m, visando atravessar toda a espessura do aquífero. Contudo, devido à sua geometria, existem situações em que alguns poços não atingirão essa profundidade. Estima-se que 250 metros seja a profundidade mínima a ser perfurada. Em alguns poços

é esperada a ocorrência de corpos de diabásio, que podem interferir na perfuração do poço, elevando o seu custo.

Em linhas gerais, projetou-se um poço tipo de 300 m de profundidade máxima, diâmetros de perfuração desde 26 até 17^{1/2} polegadas, com revestimentos de 10 e 8 polegadas, sendo a câmara de bombeamento de 10 polegadas. Os filtros são do tipo espiralado, em aço inoxidável, e o pré-filtro, do tipo pérola. O método de perfuração deve ser o rotativo, com circulação direta de fluido à base de polímeros orgânicos.

Quando existe um conjunto de poços de produção operando, o rebaixamento do nível de água observado é significativamente maior que o rebaixamento causado pela operação de um único poço devido à superposição dos cones de depressão de cada poço. Entretanto, o afastamento dos poços faz com que mais adutoras sejam necessárias e maior área do terreno seja ocupada, aumentando a disponibilidade de água advinda da recarga. Dessa forma, para determinar a melhor configuração dos poços em um campo, com vazões totais adequadas às recargas do aquífero, desenvolveu-se uma modelagem numérica, com o código de diferenças finitas Modflow-2000 (Hill et al., 2000) da Groundwater. Os resultados mostraram que a melhor distância entre os poços deveria ser de 500-600 m para que a vazão total fosse otimizada em relação ao comprimento total de adutoras e à recarga do aquífero.

Devido à alta vulnerabilidade do SAG (IG, Cetesb, DAEE, 1999) à contaminação antrópica, as áreas ao redor do poço e sobretudo a sua zona de captura (ZOC) também merecem cuidado quanto à sua ocupação (Foster et al., 2002). As atividades nessa zona podem interferir na qualidade das águas do aquífero e, portanto, algumas atividades ou empreendimentos devem ser proibidos, sob risco de contaminação das águas do poço. Assim, a mesma simulação numérica permitiu também estabelecer as áreas relacionadas à recarga do aquífero e que alimentam os poços (ZOC). A área média das ZOCs no total do campo seria de 7 km², considerando-se que os poços operassem simultaneamente, com vazões totais de 1 m³/s e dez anos de tempo de trânsito.

ESTIMATIVA DE CUSTO DO SISTEMA DE ADUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA PARA AS ÁREAS CONSUMIDORAS

Devido ao alto custo das adutoras para o transporte da água, optou-se por avaliar a possibilidade de abastecer vários municípios ao longo da linha de transmissão de água entre a área-alvo e a cidade de Limeira, o destino final projetado da adutora, numa primeira etapa do projeto. Essa estratégia se justifica, pois as cidades que poderiam receber as águas do SAG têm o sistema público de abastecimento urbano já operando próximo ao limite de sua capacidade, o que se agravará ainda mais até 2035, exceto na cidade de Limeira (Tabela 2). Todas essas cidades têm abastecimento público principal baseado em sistemas de água superficiais. Assim, a alternativa de prover de água em quantidade para essas cidades faz que se aumente não somente a oferta, mas também a segurança hídrica, pois, como a água vem de fontes subterrâneas, essas são mais resilientes a longos períodos de seca.

O traçado das adutoras compreende um trecho entre Itirapina (área-alvo) e Cordeirópolis, com 51 km, passando por Santa Gertrudes, adicionando-se mais 11 km, e um outro trecho, que é uma derivação do primeiro, com extensão de 22,5 km, e partiria de Santa Gertrudes, atravessando Iracemápolis e chegando a Limeira (Figura 4). As adutoras principais seriam em aço carbono, com diâmetro de 800 mm (32 pol.), e a secundária, de 300 mm (12 pol.), em ferro fundido. Já as ligações entre os sistemas produtores no campo de poços seriam em tubos de diâmetro de 200 (8 pol.) a 800 mm. Um reservatório elevado de 15 mil m³ metálico reuniria a água antes da adução.

O investimento estimado para a implantação do sistema de aproveitamento do SAG, com capacidade de 1 m³/s, é de R\$ 350 milhões (Tabela 3), dos quais R\$ 40,8 milhões são para a construção do campo de poços e R\$ 309,2 milhões para o reservatório, bombas e adutoras que abrangem as cinco cidades, em dois sistemas adutores (Figura 4). A construção de cada poço e o seu conjunto de bombeamento têm custos previstos da ordem de R\$ 1,35 milhão e R\$ 0,35 milhão,

TABELA 2

Possíveis cidades beneficiadas pelo SAG

Cidades	População total (2014)		Vazão produzida (2008) (m³/s)	Demanda urbana de água (m³/s)		Demanda total de água (m³/s)*	
	Total	Urbana		2014	2035	2014	2035
Rio Claro	204.541	203.459	0,692	0,82	0,91	1,00	1,17
Santa Gertrudes	23.100	22.849	0,088	0,11	0,14	0,14	0,19
Cordeirópolis	24.051	21.649	0,081	0,10	0,12	1,08	1,60
Iracemópolis	20.396	20.178	0,082	0,14	0,19	0,64	1,17
Limeira	298.053	295.834	1,201	0,78	0,90	5,62	6,28

(*) refere-se aos usos urbanos, industriais e irrigação

Fonte: Macrometrópole Paulista (DAEE, 2013)

FIGURA 4

Sistema adutor constituído de dois trechos

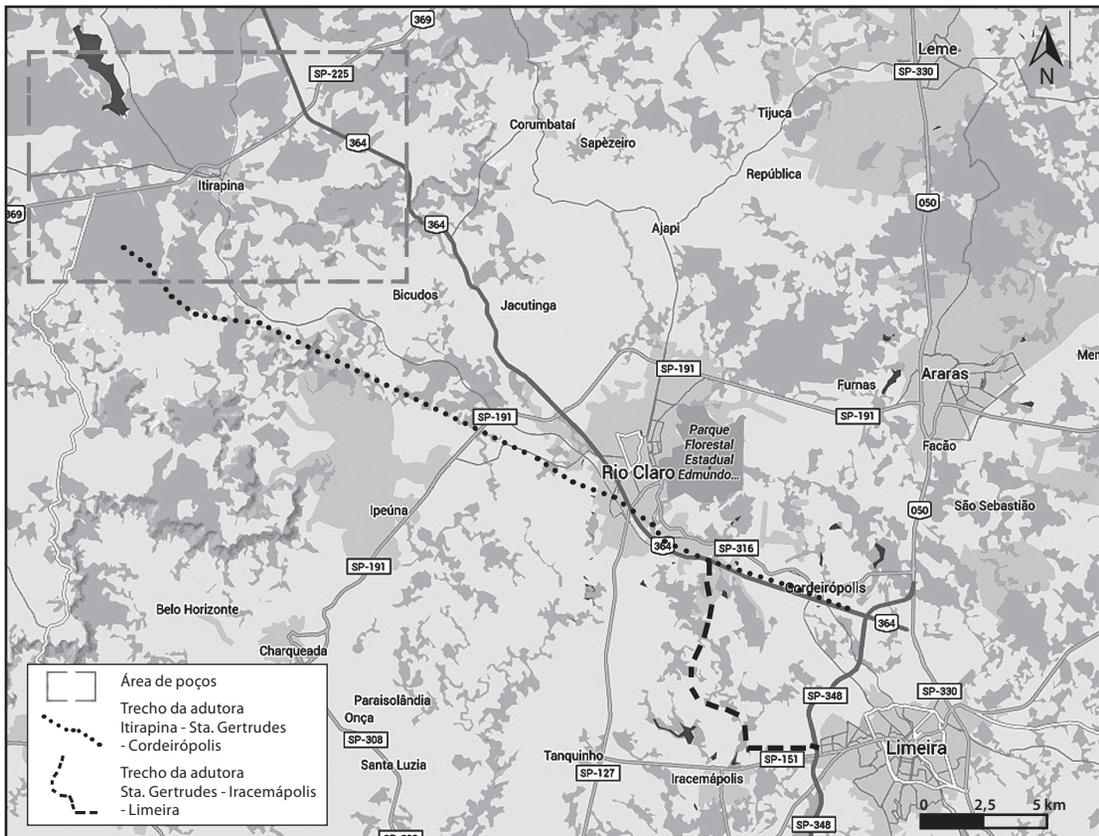


TABELA 3

Estimativa de custo do sistema produtivo em Itirapina (valores de outubro de 2014)

Descrição	Total (R\$)
Implantação das obras	
1 – Adutora de Interligação dos Poços (diâmetros adotados $200 \leq D \leq 800$ mm)	22.116.000,00
2 – Reservatório – V=15.000 m ³ (adotado metálico)	10.500.000,00
3 – Estação Elevatória (configuração adotada 1 + 1R = 100 l/s e 3 + 1R = 300 l/s + alimentação elétrica)	4.250.000,00
4 – Adutora Trecho 1 – DM 800 mm (32") em aço carbono (Itirapina-Santa Gertrudes)	160.224.500,00
5 – Adutora Trecho 2 – DM 300 mm em ferro fundido K9 (Santa Gertrudes-Cordeirópolis)	12.782.000,00
6 – Adutora Trecho 3 – DM 800 mm em aço carbono (Santa Gertrudes-Iracema-Limeira)	89.327.500,00
7 – Dispositivos de segurança para transientes hidráulicos para todas as adutoras	10.000.000,00
8 – Poços tubulares (24 poços) com bombas submersas	40.800.000,00
Total	350.000.000,00

respectivamente, totalizando aproximadamente R\$ 1,7 milhão por unidade de captação (preços de 2014). Nesses custos não estão contemplados os referentes a ligações elétricas para as bombas e tampouco o custo fundiário.

CONCLUSÕES

A maior vantagem do uso da água subterrânea no abastecimento público é a sua grande resiliência em longos períodos de seca. Aquíferos se caracterizam por armazenar gigantescas quantidades de água, o que permite manter extrações elevadas sem a necessidade de recarga. Essa característica, que se soma ao baixo custo da construção de poços e à boa qualidade natural da água, que não exige tratamento, faz dela uma excelente alternativa para o abastecimento de cidades, mas, por várias razões, ainda é pouco apreciada pelos tomadores de decisão de companhias de água e gestores dos recursos hídricos.

O uso da água subterrânea no Brasil tem aumentado de forma expressiva nas últimas décadas. No estado de São Paulo, 75% dos municípios já são total ou parcialmente abastecidos por água subterrânea, com forte predominância em cidades de pequeno e médio portes. Em grandes cidades, o abastecimento público exclusivo com águas subterrâneas é restrito, mas o fenômeno que se observa é a presença de milhares de poços privados, que completam o abastecimento público, geralmente deficiente. Assim, vê-se que, apesar de a água subterrânea ser extensivamente usada, não há até o momento um sistema único no Brasil de água subterrânea que produza grandes vazões. O sistema aqui estudado seria o primeiro a fornecer vazões superiores a 1 m³/s a partir de um campo de poços para o abastecimento urbano.

O Sistema Aquífero Guarani é um dos mais importantes e produtivos mananciais de água do estado de São Paulo e que em grande parte de sua extensão permite a extração de altas vazões de água potável através de poços tubulares

profundos, sendo um recurso apropriado para o abastecimento público. No estado, o SAG apresenta quatro zonas de gerenciamento distintas, baseadas em suas características hidrogeológicas. Em três delas (zonas II, III e IV) se extraem águas muito antigas (com idades superiores a 5 mil anos, mas chegando a mais de 250 mil anos), indicando que o seu aproveitamento deve considerar que o reservatório não será renovado nesse intervalo de tempo; assim, o uso não se configuraria como sustentável e se assemelharia bem mais à extração de uma mina (“extração de uma vez”). Nessas zonas, como o SAG apresenta um gigantesco armazenamento, a extração, se planejada ao longo do tempo, poderá se dar por séculos sem que problemas de exaustão ocorram em grande parte de sua área confinada. Já na Zona I, o SAG é livre, e a renovação da água se dá de forma rápida, em anos. A limitação da exploração nessa zona é que deverá ser uma fração da recarga local, desde que se respeite também a manutenção mínima dos fluxos de base dos rios da região.

Devido à grande capacidade produtiva e à alta resiliência à seca, o SAG foi pensado como uma alternativa para auxiliar na superação da última crise hídrica das regiões de Campinas e São Paulo. A ideia era avaliar a potencialidade de atender aos municípios que se utilizam das águas que abastecem o Sistema Cantareira, que, por sua vez, é o principal manancial da Região Metropolitana de São Paulo.

Este estudo mostra claramente que o SAG é uma alternativa para a produção de grandes vazões a partir de poços locados em sua área de afloramento (Zona I). Para o interesse deste trabalho, a construção de 24 poços tubulares profundos, localizados no município de Itirapina (SP), separados entre si em 500-600 m, poderia dar conta de vazões de 1 m³/s, com chance de sucesso superior a 80%, e com baixíssima probabilidade de falha no fornecimento ou de redução de vazão ao longo do tempo (<3%, em 30 anos). A construção desses

poços e a instalação de suas bombas custariam R\$ 40,8 milhões. Com esse sistema operando por mais de 30 anos, o valor da água (somente instalação do sistema) seria de R\$ 0,04/m³.

Se o custo da produção da água é baixo, o mesmo não se pode dizer da adução. Trazer água de Itirapina para a cidade de Campinas implicaria um investimento de R\$ 550,25 milhões, valor pouco competitivo com valores da água de R\$ 0,60/m³ em 30 anos, sem considerar os de operação frente a diferentes alternativas existentes na região de Campinas. Assim, a opção foi estender a adutora até o município de Limeira, abastecendo também as cidades de Cordeirópolis, Rio Claro, Santa Gertrudes e Iracemápolis, onde vivem 570 mil pessoas (2014) e o fornecimento se dá por fontes superficiais. Nesse caso, o custo total de duas linhas adutoras somaria R\$ 309,2 milhões (R\$ 0,40/m³, em 30 anos) e teria uma extensão de 73,5 km.

Após a implantação do projeto, o gerenciamento adequado do sistema permitirá um abastecimento eficiente, que por si só justificará a realização de novos estudos para ampliação da vazão fornecida e, conseqüentemente, da abrangência geográfica do abastecimento.

Em conclusão, se os valores da água subterrânea produzida no campo de poços em Itirapina mostram-se bastante competitivos, em comparação a outras fontes de água, o custo de adução para centros consumidores por longas distâncias a torna pouco atrativa nos preços de hoje. Deve-se pontuar, entretanto, que com a redução das disponibilidades de água nas bacias metropolitanas de Campinas e São Paulo, frente ao aumento da demanda, os custos das águas aumentarão, e valores como os observados pelo SAG poderão tornar o projeto de abastecimento economicamente factível, sobretudo por se tratar de um recurso de grande resiliência a longos períodos de seca e estiagem, que poderão se agravar no Sudeste brasileiro também devido ao aumento das secas associadas às mudanças climáticas.

BIBLIOGRAFIA

- BERTOLO, R.; HIRATA, R.; CONICELLI, B.; SIMONATO, M.; PINHATTI, A.; FERNANDES, A. "Água Subterrânea para Abastecimento Público na Região Metropolitana de São Paulo: É Possível Utilizá-la em Larga Escala?", in *Revista DAE*, v. 63, 2015, pp. 6-17.
- CONICELLI, B. *Gestão das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê*. Tese de doutoramento (inédita). São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 2014.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, no Estado de São Paulo. Encomendado à Cobrape. São Paulo, 2013.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; SCHMIDT, G.; GARDUÑO, H. "A Iniciativa do Programa Sistema Aquífero Guarani – Rumo à Gestão Prática da Água Subterrânea em um Contexto Transfronteiriço", in S. Foster; K. Kemper (orgs.). *GWMATE – Banco Mundial. Coleção de Perfis de Caso*. 3ª ed., v. 9, 2009, pp. 1-28.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Groundwater Quality Protection: a Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environments Agencies*. 1ª ed. Washington, World Bank Group, v. 1, 2002, 103p.
- HILL, M.; BANTA, E.; HARBAUGH, A.; ANDERMAN, E. *Modflow-2000, the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model – User Guide to the Observation, Sensitivity, and Parameter-Estimation Processes and Three Post-Processing Programs*. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-184, 2000, 210 p.
- HIRATA, R.; FERREIRA, L. "Os Aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade Hídrica e Vulnerabilidade à Poluição", in *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n. 1, 2001, pp. 43-50.
- HIRATA, R.; FERRARI, L.; FERREIRA, L.; PEDE, M. "La Explotación de las Aguas Subterráneas en la Cuenca Hidrográfica del Alto Tietê: Crónica de una Crisis Anunciada", in *Boletín Geológico y Minero*, v. 113, n. 3, 2002, pp. 273-82.
- IG; CETESB; DAEE. *Mapeamento da Vulnerabilidade dos Aquíferos à Poluição no Estado de São Paulo*. 2 vol. São Paulo, Instituto Geológico, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1999.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Sistema Aquífero Guarani – Subsídios ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo*. Coordenação geral José Luiz Albuquerque Filho. São Paulo, IPT, Coordenadoria de Planejamento Ambiental – CPLA, 2011.
- LABAC-IGCE-UNESP. "Estudo de Viabilidade Técnico-econômica de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) pelo Aquífero Guarani", in *Relatório Técnico*. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – Abas, 2004. Disponível em: http://www.abas.org/imagens/publicacoes/estudos_guarani.pdf.
- OEA – Organização dos Estados Americanos. *Aquífero Guarani: Programa Estratégico de Ação. Relatório do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani*. Edição bilingue Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai. Montevideu, OEA, 2009.
- POLLOCK, D. W. "User Guide for MODPATH version 6 – A Particle-Tracking Model for MODFLOW: U.S.", in *Geological Survey Techniques and Methods*, book 6, chap. A41, 2012.
- SRACEK, O.; HIRATA, R. "Geochemical and Stable Isotopic Evolution of the Guarani Aquifer System in the State of São Paulo, Brazil", in *Hydrogeology Journal*, 10(6), 2002, pp. 643-55.