

Captação de Água Subterrânea Através de Poços Tubulares Profundos na BACIA do PARANÁ.

* Mario N. Souza Filho

** Ivanir B. Mariano

ABSTRACT The results on captation of ground-water in Paraná Basin (Botucatu Formation) are obtained through the drilling of deep wells of large diameters. Since december 1977, CPRM is developing a program of deep drilling the following states: São Paulo, Paraná, Santa Catarina and Mato Grosso do Sul. In this program four rotary drills were done with depth varying from 600 to 1795 meters, São José do Rio Preto (two wells), Presidente Prudente, Jales, Fernandópolis and Piratininga (SP), Londrina and Cornélio Procopio (PR), Concórdia and São Miguel D'Oeste (SC), Campo Grande (two wells) and Dourados (MS). Other drilling are still being developed in Dourados II and Lins. The main aspects about the methodology, sand control and well developing will be discussed as well as geological features and possibilities of economic recovery of geothermal potential.

INTRODUÇÃO A Bacia do Paraná constitui-se numa "superprovíncia hidrogeológica", utilizando-se uma classificação no sentido mais amplo quanto ao modo de ocorrência regional de água subterrânea no Brasil (Mante et al., 1978). E, em relação as outras "superprovíncias" esta bacia apresenta o maior potencial de água subterrânea do País e as melhores condições de pleno aproveitamento econômico, em face de sua localização geográfica.

* Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

** Departamento de Águas e Energia Elétrica

Tal potencial está vinculado às características sedimentogênicas e paleo-ambientais, a que se sujeitou uma extensa área da plataforma brasileira a partir do Devoniano inferior até o Cretáceo Superior, constituindo-se uma ampla sinéclise de 1.600.000 km². O seu preenchimento se deu por sedimentos predominantemente clásticos e subordinadamente quínicos sendo que, durante o Mesozóico, intenso vulcanismo básico recobriu numa área de aproximadamente 1.000.000 km² dos quais 720.000 km² em território nacional.

A busca ao petróleo motivou a perfuração de quase uma centena de poços nesta bacia, sendo que os fracos e esparsos indícios de hidrocarbonetos encontrados, levaram a Petrobrás no início desta década, a abandonar a área em favor de outras regiões com maiores possibilidades de êxito, permanecendo, no entanto, os trabalhos voltados à prospecção de carvão, urânio, fosfato, cobre, etc.

Por sua vez, a pesquisa para a água subterrânea na Bacia do Paranã, tem-se valido, sobremaneira, das informações contidas naqueles trabalhos pioneiros para petróleo, permitindo afirmar que, até o momento, a água subterrânea é o principal bem contido na bacia e a ela está reservado um importante papel de suporte ao crescimento populacional e de infraestrutura da região ocidental do Estado de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e oriental do Mato Grosso do Sul.

Ao lado das imensas reservas de água subterrânea existentes nas Formações Botucatu/Pirambóia, cujo aproveitamento pela população é feito sem qualquer tratamento prévio, acrescenta-se ainda a possibilidade da utilização de seu potencial geotermal nos mais variados usos (industrial, residencial e lazer).

Apesar do sistema geotermal da Bacia o Paranã ser de baixa entalpia (gradiente geotérmico até 35°C/km), o mesmo poderá fornecer água com temperatura de 60°C a profundidade de 2.000 m, e a temperaturas de até 70°C em profundidades maiores. As vazões encontradas no entanto, superam em muito as preconizadas para um aproveitamento econômico do tipo "sistema de água quente", ou seja, acima de 30.000 litros/hora à temperatura de 60°C e profundidade de 2.000 m. Este fato é confirmado pelo poço perfurado em Presidente Prudente, o qual apresenta uma temperatura de 63°C à profundidade de 1795 m com vazão de 500.000 litros/hora. Valores menores foram obtidos nos poços de São José do Rio Preto que apresentaram temperatura de 45°C em profundidades de 1.080 m e 1.136 m, com vazões de 500.000 litros/hora. Já nos poços de Londrina (969 metros) e Jales (1.332 metros) as temperaturas obtidas foram 49°C e 61°C respectivamente, o que localmente caracterizam anomalias térmicas de baixa intensidade, objeto de possíveis e necessários estudos.

Estes resultados permitem antecipar uma nova e importante contribuição que o aproveitamento deste recurso energético pode vir a oferecer, consubstanciado numa adequada distribuição de poços, junto a projetos,

setoriais voltados à utilização dessa energia.

Afora aspectos de demanda energética e uso domiciliar, como são feitos em países do hemisfério norte (Islândia, Itália, Estados Unidos, México, etc), um aproveitamento mais amplo pode ser auferido a partir da utilização de águas com temperaturas acima de 40°C.

O mapa da bacia englobada pela isoterna de 40°C (figura 1) ressalta uma imensa área com cerca de 400.000 km² onde estão envolvidos municípios e cidades densamente populosas, intensamente ocupadas por atividades agrícolas. Com vistas a esse fato, um uso que mereceria um estudo de avaliação econômica, quanto ao aproveitamento deste termalismo é no combate aos efeitos das geadas nas plantações de café principalmente situadas no âmbito da isoterna de 40°C.

Países como a Hungria, Romênia, Checoslováquia e Rússia, aproveitam esta técnica para abastecer seus inúmeros balneários e no aquecimento de residências, estufas e solos, através de várias centenas de poços. Uma das fontes dessas águas por exemplo, com temperaturas entre 38°C e 50°C é representada na Hungria por poços perfurados na Bacia Panoniana, cujas características estratigráficas e hidrológicas são inferiores às da Bacia do Paraná.

Uma outra alternativa de utilização desse manancial seria aproveitar a (Jorrância) piezometria confinante do aquífero Botucatu buscando as cotas mais baixas e usar a jorrância espontânea para a geração de energia elétrica através de turbinas horizontais, como foi desenvolvida recentemente na França.

A CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO AQUIFERO BOTUCATU Nos programas de captação de água subterrânea executados para o DAEE e empresas de economia mista e privada, objetiva-se atingir a Formação Botucatu e/ou Pirambóia dependendo de certos aspectos estruturais e faciológicos que ultimamente vem sendo desenvolvidos. (Figuras 2 e 3).

A maioria dos poços perfurados ou em via de perfuração, inicia-se na Formação Bauru ou Serra Geral (figura 4), sendo que a maior espessura por nós perfurada no Bauru, foi de 214 metros no poço Presidente Prudente 01.

A Formação Serra Geral, inclui mais de três dezenas de derrames suculivos (cujas espessuras variam individualmente de 2 a 40 m), e as seqüências arenosas intertrapeanas. Foi também no poço Presidente Prudente 01, que registramos o maior número de extravasamentos basálticos (33) e a maior espessura da Formação Serra Geral (1.216 m).

A correlação entre os poços perfurados em São José do Rio Preto (RP-01 e RP-02) distantes 3 km um do outro, mostra uma pequena variação da espessura dos derrames basálticos (25 m) e do número de derrames (2) enquanto pode-se notar uma relativa diminuição lateral de espessura do arenito botucatu (46 m). No poço de Presidente Prudente, devido a baixa resolução dos perfis elétricos no Pirambóia, foi difícil a sua identifica

ção, razão pela qual na coluna não foi diferenciado do Botucatu.

Nos poços de Jales e Fernandópolis foi fácil identificar os topos do aquífero Pirambóia, caracterizado por um pacote da ordem de 10 metros de argila avermelhada, comum a todos eles.

Para os poços perfurados nos estados do Paraná e Santa Catarina, vem-se observando que os eventos geotectônicos da reativação wealdeniana, tem afetado sobremaneira o comportamento lateral e vertical do arenito Botucatu através de processos erosivos-deposicionais referenciados principalmente por acidentes, oriundos de uma tectônica germanótipo (falhas e basculamento de blocos) e altos estruturais vinculados a arqueamentos e intrusões dômicas.

Sobre estes acidentes tectônicos ocorre ou não deposição do arenito Botucatu ou, na maioria das vezes, sua erosão em tempos pré-Bauru.

Estes aspectos tem levado, em alguns casos, a resultados imprevisíveis quanto a captação de água subterrânea do Botucatu, como ocorrido no poço 04-LD-02-PR, Londrina - Paraná, onde não foi constatada a presença do arenito Botucatu, na coluna passando-se diretamente do Serra Geral para a Formação Pirambóia, comprometendo sobremaneira a vazão do poço, durante os testes de bombeamento.

Em Concórdia - SC, no poço 04-CD-01-SC, o aquífero Botucatu / Pirambóia deveria ser perfurado a 170 metros abaixo do nível do mar, ocorrendo no entanto a 15 metros deste. Esta diferença afetou provavelmente o nível estático previsto para 40 metros acima da boca do poço, tendo-se situado a 165 metros abaixo, confirmando a existência da descontinuidade lateral motivada possivelmente por movimentação de blocos.

É importante frisar que neste caso, uma parte do arenito Botucatu foi substituída por um sill de diabásio o que viria a corroborar com a nossa tese preliminar sobre a variação do nível. Entretanto não descartamos a possibilidade de informações básicas erradas terem sido usadas na ocasião da elaboração do anteprojeto.

A tabela abaixo mostra os resultados obtidos nos poços executados no aquífero Botucatu / Pirambóia:

POÇO	PROFUNDIDADE (M)	NE	ND	Q(m ³ /h)	Q/s(m ³ /h/m)	ESPESS. DOS AQUÍF. (M)	T°C
04-PP-01-SP	1.080,00	24,86	75,00	500	10,40	290	45°
04-PP-01-SP	1.136,00	13,50	46,00	500	15,46	324	63°
04-PP-02-SP	1.136,00	41,35	74,90	500	14,90	250	45°
04-CD-01-SC	652,00	165,00	204,00	75	4,30	90	31°
04-LD-02-PR	969,00	30,00	78,00	280	5,66	110	49°
04-OG-01-MT	643,00	77,00	156,00	100	1,26	320	31°
04-CP-01-PR	979,00	172,00	190,00	100	5,55	159	36°
04-OG-02-MS*	679,60	97,00	350,00	400	1,58	401	31°
04-JL-01-SP	1.132,00	6,00	66,00	520	8,66	327	61°
04-FE-02-SP	1.683,00	32,00	115,00	500	6,02	295	59°
04-DO-01-MS	793,00	71,00	113,00	110	2,38	322	32°

(*) Valor estimado

NOTA EXPLICATIVA A identificação alfa-numérica dos poços executados auxilia e sintetiza a locação perfurada. Assim temos:

- . 04 - indica o tipo de atividade e é intrínseco à CPRM;
- . RP-01-SP - São José do Rio Preto - São Paulo;
- . PP-01-SP - Presidente Prudente - São Paulo;
- . RP-02-SP - São José do Rio Preto II - São Paulo;
- . CD-01-SC - Concórdia - Santa Catarina;
- . LD-02-PR - Londrina - 2º poço perfurado no Paraná;
- . CG-01-MT - Campo Grande - Mato Grosso;
- . CP-01-PR - Cornélio Procopio - Paraná;
- . CG-02-MS - Campo Grande II - Mato Grosso do Sul;
- . JL-01-SP - Jales - São Paulo;
- . FE-02-SP - Fernandópolis - 2º poço perfurado no Botucatu - São Paulo;
- . DO-01-MS - Dourados - Mato Grosso do Sul.

PROJETOS DOS POÇOS EXECUTADOS O projeto dos dois primeiros poços profundos realizados pela CPRM, na Bacia do Paraná, em Presidente Prudente e São José do Rio Preto, levou em conta fundamentalmente, obter vazões da ordem de 500 metros cúbicos por hora, com o menor rebaixamento possível.

Para que tal se realizasse, duas condições teriam de ser satisfeitas:

- 1). Construção de uma câmara de bombeamento em 17 1/2" (444,5 mm), aberta abaixo do nível dinâmico programado.
- 2). Abertura do poço de acesso em 12 1/4" (311 mm) até o topo do Arenito Botucatu.

Com essas duas condições satisfeitas, obteve o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE, os resultados desejados para a captação subterrânea dos aquíferos Botucatu e Pirambóia e sua consequente exploração em vazões de 500 m³/hora, durante 20 horas por dia.

O desejado aumento das vazões para 700 e 1000 m³/h e consequente redução no custo/m³ bombeado fez com que nos adaptássemos para perfurar o poço de acesso no basalto em 15" (Jales) e 17 1/2" (Lins em execução) revestindo os aquíferos em 9 5/8" tipo "super-weld" (Jales) e 10 3/4" (Lins previsto).

A inexistência de filtros com abertura capaz de reter a areia fina do Botucatu (80% que 0,2 mm) levou a CPRM a programar a possibilidade de injetar pré-filtro à grandes profundidades.

Entretanto, os poços abertos em 12 1/4" (311 mm) para produzir 500 m³/h, deveriam ser revestidos com filtros de 8 5/8" (219 mm), ou sejam 1 13/16" (46 mm) de espaço anular para aplicar o pré-filtro.

Com esse espaço anular é impossível reter a areia fina da formação de tal sorte que o aquífero teve de ser aberto com uma ferramenta especial,

"underreamer" para 14" ou seja, um anular de 2 11/16" (68 mm), muito próximo do anular ideal, ou seja, 3" (76,2 mm).

Já no poço de Jales corremos o risco de injetarmos pré-filtro no espaço anular entre 15" e 9 5/8" e os resultados foram excelentes, pois com poucas horas de bombeamento o teor de areia caiu para 10 ppm.

METODOLOGIA DE COMPLETAÇÃO Concluída a perfuração e alargamento para 14/15" das Formações Botucatu e Pirambóia, a coluna de complementação programada, composta de tubos cegos intercalados com filtros produtores e índices, era descida no poço ligada aos tubos de perfuração mediante uma rosca esquerda.

A seguir fechava-se a boca do poço hermeticamente e iniciava-se a operação de encascalhamento, através de injeção de pré-filtro pelo espaço anular por meio de circulação reversa, mediante o transporte dos grãos por um fluido especial de completação.

Tal fluido, além de carregar as partículas numa proporção de aproximadamente 0,25 libras de pré-filtro/galão de fluido (29,7 g/l), numa vazão de 3 bbl/minuto (477 litros/minuto), proporcionava também a renovação do reboco formado no arenito durante as operações de perfuração e alargamento.

O total controle dos volumes injetados possibilitava prever o momento em que toda a coluna de completação estaria coberta por pré-filtro e a confirmação obtinha-se no momento em que o pré-filtro atingia os filtros índices, já que a pressão de bombeio aumentava de 100 para 300 psi.

Neste instante desligava-se o equipamento e quebrava-se a rosca esquerda, dando por concluída a operação de encascalhamento.

Para a execução destas tarefas, a CPRM contou com a colaboração da Petrebrás, que liberou a DOWELL SCHLUMBERGER, para encaminhar ("Gravel-Packing") todos os poços perfurados até hoje (São José do Rio Preto I, Presidente Prudente, Concórdia, São José do Rio Preto II, Campo Grande, Londrina II, Cornélio Procopio, Campo Grande II, Dourados I, Jales e Fernandópolis).

Toda essa sequência de operações era precedida de perfilagem dos poços, com a primeira corrida executada após a perfuração das Formações Botucatu e Pirambóia e Topo do Rio do Rasto.

Procurou-se a princípio homogeneizar as escalas de profundidades em 1:500 (apresentação) e 1:100 (trabalho), bem como para as constantes físicas a serem medidas:

- . Raios Gama de 5 a 20 choques por segundo, por divisão;
- . Potencial espontâneo de 5 a 10 milivolts por divisão;
- . Resistividade 16" de 5 a 50 ohms x metros por divisão;
- . Resistividade 64" de 2 a 10 ohms por divisão;
- . Calibração do furo com 1" (25,4 mm) por cm linear.

Procurou-se também executar esses serviços com o mesmo tipo de aparelho

lho no caso um Mount Sopris 5000 com 1.750 metros de cabo.

Com exceção de Presidente Prudente, (1.795 metros), perfurado pela SCLUMBERGER todos os demais foram corridos com os equipamentos da CPRM. Da interpretação das curvas obtidas, várias decisões puderam ser tomadas, como por exemplo:

- O dimensionamento e posicionamento da coluna de completação constituída de tubos cegos do tipo API-5L com rosca e luva e filtros do tipo ranhura contínua superreforçados com resistência ao colapso de até 750 psi ($52,31 \text{ kg/cm}^2$);
- Posição de colocação de rosca esquerda e dos filtros índices, quer no sentido de evitar colocá-los defronte a arenitos "intertrappeanos", bem como não deixar a rosca esquerda defronte ao basalto alterado;
- Necessidade de abrir e revestir a parte superficial do basalto, face a ocorrência de fraturas constatadas no perfil de calibração do poço, que impediam a perfeita injeção do pré-filtro sem perda de circulação;
- Calcular o volume exato do anular com o conseqüente estabelecimento do volume de fluido de completação necessário para injetar a quantidade de de pré-filtro medido.

TRABALHO DE DESENVOLVIMENTO E BOMBEAMENTO Em quase todos os poços o desenvolvimento foi facilitado pois o fluido de completação limpava as paredes retirando parte do reboco de lama a base de bentonita utilizada na perfuração.

Entretanto, por precaução e para ganhar algum tempo, nos últimos poços foram bombeados colchões de hexametáfosfato de sódio, quando da substituição da lama de perfuração pelo fluido de completação. É bom frisar que este não possui sólidos em suspensão, o que facilita a operação posterior ao encascalhamento, ou seja, a troca por água.

A utilização de um compressor foi sempre indispensável pois nos fornece o nível estático de uma estimativa da razão a ser bombeada.

Normalmente, durante os trabalhos de desenvolvimento, saiam pequenas quantidades de areia da formação e do pré-filtro pois este é carregado para um silo, através de um compressor e posteriormente, é bombeado por um equipamento de alta pressão, onde pode ser triturado.

Os finos tendem sempre a diminuir, porém não desaparecem nos testes e esta é a razão pela qual uma parte do basalto de 70 a 100 metros é revestida, pois desta forma serve de recarga para o eventual acomodamento do pré-filtro no anular.

Em Presidente Prudente e Rio Preto I, o compressor chegou a extrair algo em torno de $300 \text{ m}^3/\text{h}$, sem areia.

Entretanto, com a instalação da bomba de eixo prolongado até atingir-se a vazão ideal saía areia em quantidades sempre decrescente, estabilizando-se em 10 ppm para uma vazão de $500 \text{ m}^3/\text{h}$.

Atingindo este valor o poço estava em condições de ser entregue.

O tempo de espera entre a realização do teste de bombeamento e a aquisição do equipamento definitivo é normalmente elevado.

Em Condiórdia-SC, o poço estava previsto para ser jorrante e o nível estático foi estabelecer-se aos 165 metros de profundidade.

O problema causado foi tremendo, pois a bomba para a realização do teste teve que ser especialmente construída e levou quase 6 meses para tanto.

Desta forma, iniciou o DAEE/CPRM um estudo visando tentar definir o parâmetro vazão específica, baseado na interpretação dos perfis, levando em conta os "logs" raios gama, potencial espontâneo, resistividade entre vários poços, correlacionando-os com as respectivas curvas e equações de exploração.

Os dados, ainda insuficientes estão sendo trabalhados no intuito de no momento em que se perfilar o poço, sabendo o seu nível estático poder calcular o nível dinâmico e vazão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1a. MENTE, A.; PESSOA, M.D.; MONT'ALVERNE, A.F. - 1978 - Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil: escala 1:2.500.000. An. XXX Congresso Brasileiro de Geologia. 6 : 2950-2962, Recife.
- 2a. PROJETO INVESTIGAÇÃO DOS RECURSOS DE ENERGIA GEOTERMAL NO BRASIL 1978 - Conv. DNPM/CPRM, Rel. Int. (Inédito).
- 3a. SOUZA F9., M.N., ALGARTE, J.P. - 1979 - A captação de Água Subterrânea no Aquífero Botucatu. 1979 - 29 Simpósio Regional de Geologia - Rio Claro - SP.
- 4a. SOUZA F9., M.N. - Análise econômica-financeira dos poços perfurados pela CPRM no sistema Botucatu-Pirambóia - 1980 - An. I Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 1 : 505-510, Recife.
- 5a. MARIANO, I.B., SOUZA F9., M.N. - Aquífero Botucatu - Projeto de captação de Água Subterrânea em São José do Rio Preto - SP. - 1978 - An. XXX Congresso Brasileiro de Geologia. 6 : 2943-2946, Recife.



Atividade sobre o nível do mar, sendo as isóbatas de 100 m e 200 m, e o mapa de isóbatas de 100 m e 200 m, e o mapa de isóbatas de 100 m e 200 m.



COLUNAS ESTRATIGRÁFICAS DOS POÇOS PROFUNDOS
PERFURADOS PELA CPRM NA BACIA DO PARANÁ