

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS NO AQUÍFERO URUCUIA – FAZENDA BOMBARDA

José Cláudio Viégas Campos¹; Elena Maria Briz² & Joana Angélica Guimarães da Luz³

Resumo – Em abril de 2009, a UFBA, Campus Edgard Santos, localizado na cidade de Barreiras, realizou dois testes de aquífero na Fazenda Bombarda situada na porção sul da bacia do rio Grande (sub-bacia Alto do Rio Grande). Os testes foram realizados em 2 poços de alta vazão (> 400 m³/h) e a observação do rebaixamento foi feita em piezômetros situados, em ambos os casos, a, aproximadamente, 30 metros de distância. Os parâmetros hidrodinâmicos encontrados para o poço 1 é de 1196 m²/dia para transmissividade, $4,424 \times 10^{-3}$ para o coeficiente de armazenamento e $4,959 \times 10^{-1}$ para a porosidade eficaz, enquanto para o poço 2 a transmissividade calculada foi de 2034 m²/dia, um coeficiente de armazenamento de $8,8 \times 10^{-3}$ e uma porosidade eficaz de $4,66 \times 10^{-1}$.

Abstract – In April 2009, UFBA's Campus Edgard Santos, located in the city of Barreiras, developed two aquifer tests at the Fazenda Bombarda, which is located in the southern region of the Rio Grande basin. Tests were performed in two wells of high discharge (> 400 m³/h) and drawdown observations were made in piezometers located 30 meters from the pumped wells. In well 1, the transmissivity, storativity, and specific yield was found to be 1196 m²/day, $4,424 \times 10^{-3}$, and $4,959 \times 10^{-1}$, respectively. In well 2, the transmissivity, storativity, and specific yield was found to be 2034 m²/day, $8,8 \times 10^{-3}$, and $4,66 \times 10^{-1}$, respectively.

Palavras - Chave – Urucuia, teste de aquífero, parâmetros hidrodinâmicos

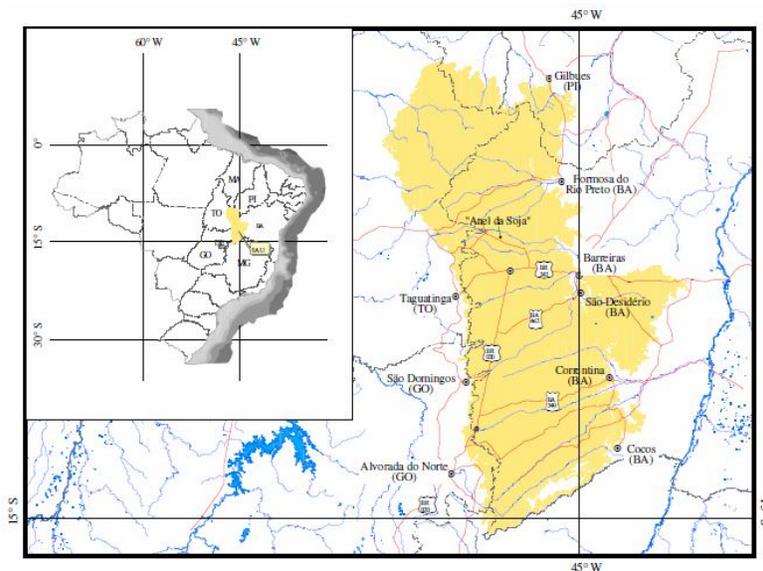
INTRODUÇÃO

O aquífero Urucuia é um dos mais potenciais aquíferos da Bahia e tem importância estratégica para o desenvolvimento da região oeste uma vez sua água é utilizada na irrigação da cultura de algodão, milho, soja, dentre outros produtos. Sua área de exposição é de aproximadamente 120.000 km², sendo que 75-80% somente no estado da Bahia (Bonfim e Gomes, 2004), englobando boa parte da sua região oeste, margem esquerda do rio São Francisco (figura 1).

¹ UFBA, Rua Professor José Seabra s/n, Barreiras, Bahia, CEP 47805-100 tel (77) 3614-3500 jcviegas@ufba.br

² Universidade da Florida, 19472 NW 59 Place, Miami, FL 33015, email: elena.briz@gmail.com

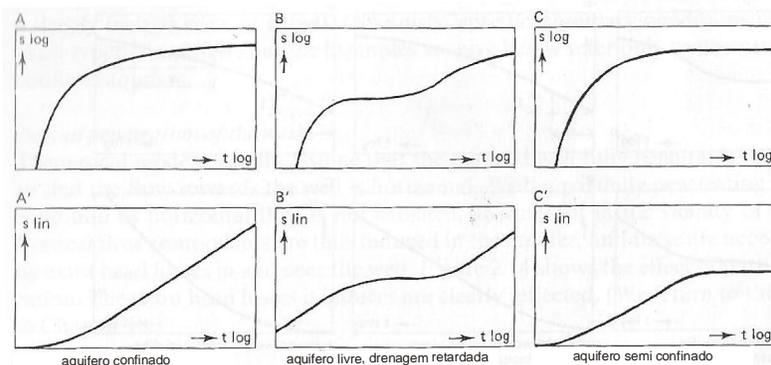
³ UFBA, Rua Professor José Seabra s/n, Barreiras, Bahia, CEP 47805-100 tel (77) 3614-3500 jgluz@ufba.br



Fonte: Gaspar (2006).

Figura 1 – Localização do aquífero Urucuia.

Em um dos últimos estudos desenvolvidos no Urucuia (CPRM & UFBA, 2007), considerou-se que o aquífero tem caráter livre com drenança retardada com parâmetros hidrodinâmicos variando de 1300 a 3300 m²/dia para transmissividade (T), 10⁻¹ para a porosidade eficaz (S_y) e 10⁻³ para o coeficiente de armazenamento (S). O modelo proposto de aquífero livre para o Urucuia pode ser reconhecido pela curva de bombeamento tipo S (Figura 2). Nela é possível visualizar três segmentos: um segmento inicial inclinado, uma parte intermediária horizontalizada e um último segmento também inclinado. Isto quer dizer que nos momentos iniciais o aquífero livre reage como um aquífero confinado, onde a água produzida pelo poço é produzida pela expansão da água e compactação do aquífero. O segundo trecho reflete a drenança da parte superior do pacote sedimentar devido ao rebaixamento do nível d'água. O último segmento reflete a retirada da água pelo efeito da gravidade (Kruseman e DeRidder, 1990). Segundo ainda os mesmos autores, o coeficiente de armazenamento determinado no primeiro segmento não pode ser utilizado para realizar previsões do rebaixamento do aquífero.



Fonte: Kruseman e DeRidder (1990), modificado.

Figura 2 – Caracterização dos aquíferos com base na relação rebaixamento x tempo.

A definição clara do tipo de aquífero a ser explorado é de fundamental importância na definição de sua gestão. Sabe-se que o cone de depressão desenvolvido por aquíferos confinados é bem maior que nos aquíferos livres (Kruseman e DeRidder, 1990).

Os testes de aquífero, que visam a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos (permeabilidade e coeficiente de armazenamento), são extremamente escassos nos poucos estudos já desenvolvidos para o aquífero Urucuia. A prática usual é a realização do teste de bombeamento com a observação do rebaixamento no próprio poço bombeado. Tal prática impossibilita a determinação do coeficiente de armazenamento, determinando somente a permeabilidade. Na figura abaixo é apresentada a localização e os dados de testes realizados no Urucuia onde já foram determinados os parâmetros hidrodinâmicos, além da localização da Fazenda Bombarda (figura 3 e tabela 1).

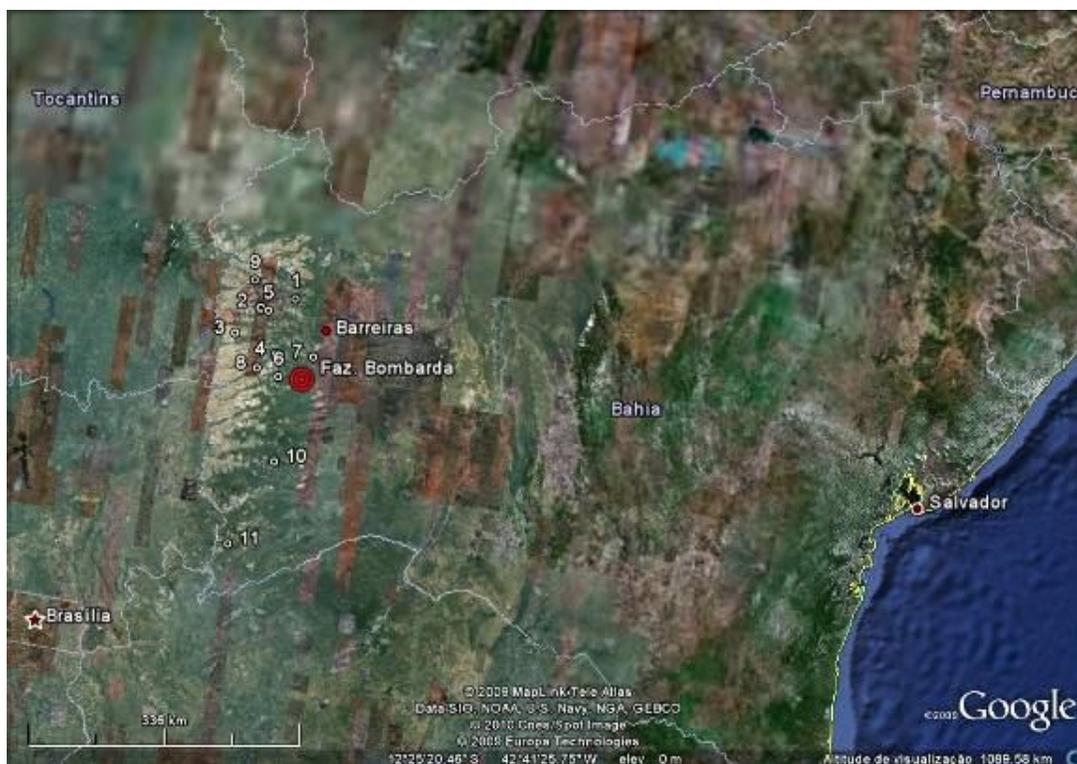


Figura 3 – Localização dos poços no aquífero Urucuia que apresentaram valores dos parâmetros hidrodinâmicos. 1- Fazenda Espírito Santo; 2- Fazenda Edílio Poleto; 3- Fazenda Marechal Rondon; 4- Fazenda Hirata; 5- CERB – LEM; 6- Fazenda Campinas; 7- Fazenda Santo Antônio; 8- Roda Velha de Baixo; 9- Fazenda Campo Aberto; 10- Fazenda Buritis; 11- Fazenda São Miguel

Tabela 1 - Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Urucuia

Número	Poço	T (m ² /dia)	S	Sy
1	Fazenda Espirito Santo	259	1,48·10 ⁻⁴	-
2	Edílio Poletto P4B-P3O	1411	1,5 x 10 ⁻⁴	-
3	Fazenda Marechal Rondon	279	1,48·10 ⁻⁴	-
4	Fazenda Hirata	223	1,01·10 ⁻⁴	-
5	Poço sede 2/LEM	405	1,87·10 ⁻⁴	-
6	Faz. Campinas P250 O	1321	7,5 x10 ⁻⁵	-
6	Faz. Campinas P90 O	1467	3 x 10 ⁻⁴	1,2x 10 ⁻²
7	Faz. Sto Antônio	1506	5,9 x 10 ⁻⁴	1,4 x 10 ⁻²
8	Pov. Roda Velha de Baixo	394,8	9,1 x 10 ⁻⁴	4,7 x10 ⁻²
9	Fazenda Campo Aberto	1427,3	2,8 x10 ⁻⁴	-
10	Fazenda Buritis	1382,4	4,7 x 10 ⁻³	1,7 x 10 ⁻¹
11	Fazenda São Miguel	3342,4	8,6 x 10 ⁻³	1,4 x 10 ⁻¹

Segundo Gaspar (2006), as investigações realizadas por meio de ensaios de bombeamento em poços na bacia do rio das Fêmeas (Nascimento, 2003), na bacia do rio do Cachorro (Schuster *et al.*, 2002) e rio de Janeiro (Schuster, 2003) apontaram resultados semelhantes (tabela 2).

Tabela 2 – Valores médios dos parâmetros hidrodinâmicos para o aquífero Urucuia

	T (m ² /dia)	S	Bacia
Schuster et al (2002)	1391	2,6 x 10 ⁻⁴	Rio dos Cachorros
	1408	1,5 x 10 ⁻⁴	Rio dos Cachorros
Nascimento (2003)	1313	7,5 x 10 ⁻⁴	Rio das Fêmeas
	1460	3,0 x 10 ⁻⁴	Rio das Fêmeas
Schuster (2003)	1391	2,74 x 10 ⁻⁴	Rio de Janeiro
	1753	5,39 x 10 ⁻⁴	Rio de Janeiro

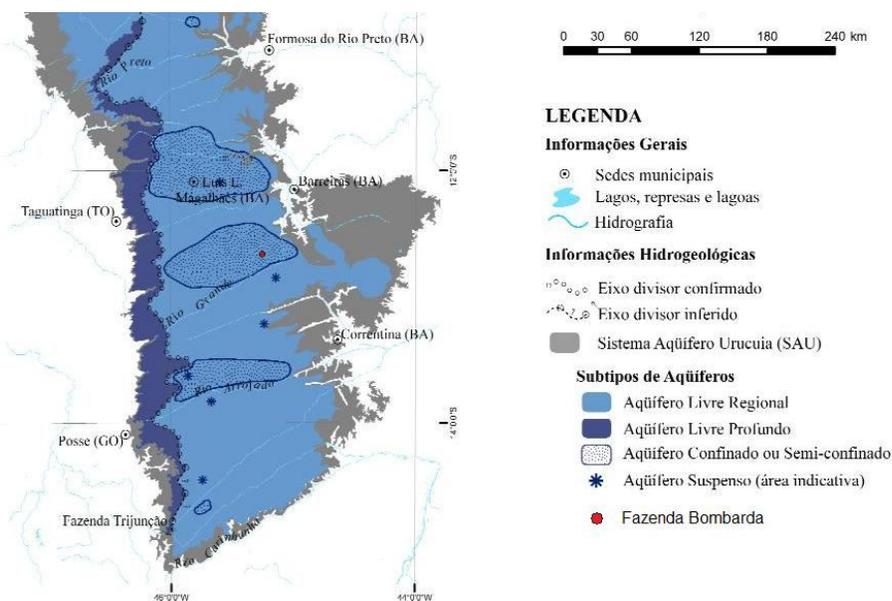
Fonte: Gaspar (2006) modificado.

DESENVOLVIMENTO DOS ESTUDOS

No trabalho desenvolvido por Gaspar (2006), é proposta uma compartimentação do sistema aquífero Urucuia em aquíferos confinado ou semi-confinado, livre regional e profundo, além da existência de aquíferos suspensos. A realização dos testes de aquífero neste trabalho, situa-se em

uma das áreas consideradas pelo autor acima como uma área de ocorrência de aquífero confinado ou semi-confinado. A Fazenda Bombarda (coordenadas 12°45'24"/45°19'40") está localizada no município de São Desidério e dista 98 km da cidade de Barreiras. Foram testados os poços 1 e 2, tendo ambos poços de observação com 100 metros de profundidade e distando 30 metros do poço de bombeamento (figura 4).

Sabendo-se que os poços bombeados possuem profundidade de 279 metros, e com base nos estudos geofísicos desenvolvidos por Amorim Jr. (2003), realizados próximo à área onde se localizam os poços, estima-se uma espessura de sedimentos do Urucuia na faixa de 300 metros, dessa forma considera-se que os poços testados são totalmente penetrantes (figura 5), entretanto os poços de observação com 100 metros de profundidade são parcialmente penetrantes.



Fonte: Gaspar (2006) modificado.

Figura 4 – Localização do poço da Fazenda Bombarda em relação aos sistemas aquíferos propostos por Gaspar (2006).

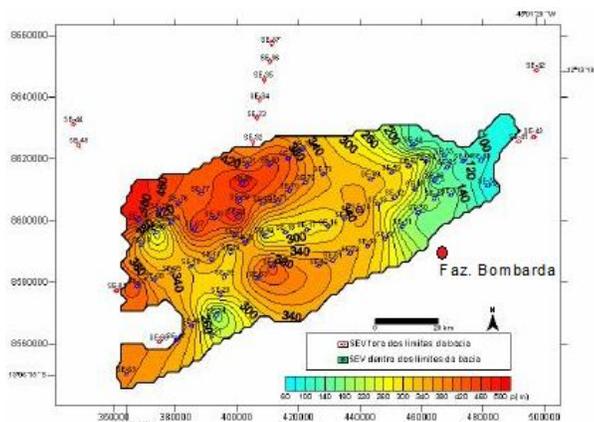


Figura 5 – Localização da Fazenda Bombarda em relação ao estudo desenvolvido por Amorim Jr. (2003) no oeste da Bahia.

Em ambos os poços testados, o monitoramento do nível d'água no poço de observação foi realizado através de um sensor eletrônico modelo 3001 Gold Levelogger LT M/10 da Solinst (Figura 3). O sensor foi regulado para realizar leituras a cada 1 minuto (fotos 1 e 2). Entretanto, para cada poço de observação foi determinado o nível estático com um medidor de nível, conforme ilustra a foto 2.



Figura 6– Sensor utilizado na medição do nível d'água durante os testes de bombeamento.



Fotos 1 e 2 – Sensor sendo instalado em um dos poços de observação.

Quando comparado o rebaixamento versus o tempo das diferentes fazendas, parece claro que em muitos dos testes não foram longos o suficiente para desenvolver completamente a última porção da curva (figura 7). Como resultado, torna-se difícil ajustar o último trecho da curva de bombeamento. Tal situação ocorreu nos testes da Fazenda Bombarda, onde sucessivas quedas de energia comprometeram a longa duração do teste.

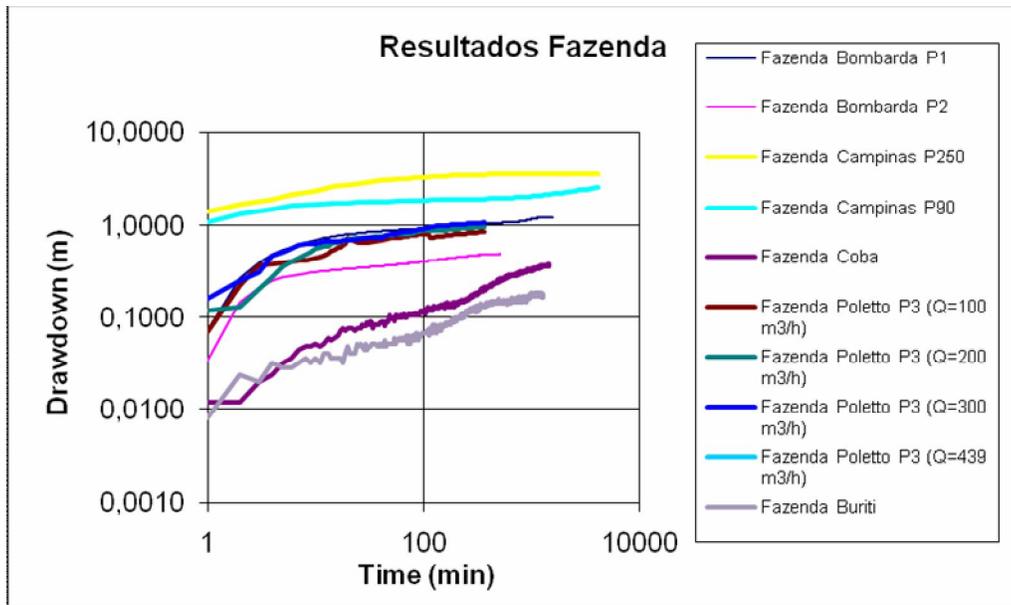


Figura 7 – Curva de bombeamento nos diversos testes de aquífero já realizados no Urucuia.

Avaliação no Poço 1

O teste no poço 1 foi preparado para ter uma duração de 48 horas, entretanto, devido a sucessivas quedas de energia, o teste teve uma duração efetiva de 26 horas. O teste iniciou as 21:20 h do dia 27 de março. Houve interrupções de energia as 23:13 h (28/03), o poço foi religado as 7:23 h (29/03), houve outra queda de energia as 16:07 h (29/03), sendo que o sensor foi retirado 15:24 h no dia 02/04. Devido a essas interrupções de energia, durante a fase de teste, somente o trecho antes da primeira parada de energia foi analisado (figura8). O nível estático determinado foi de 24,55 metros.

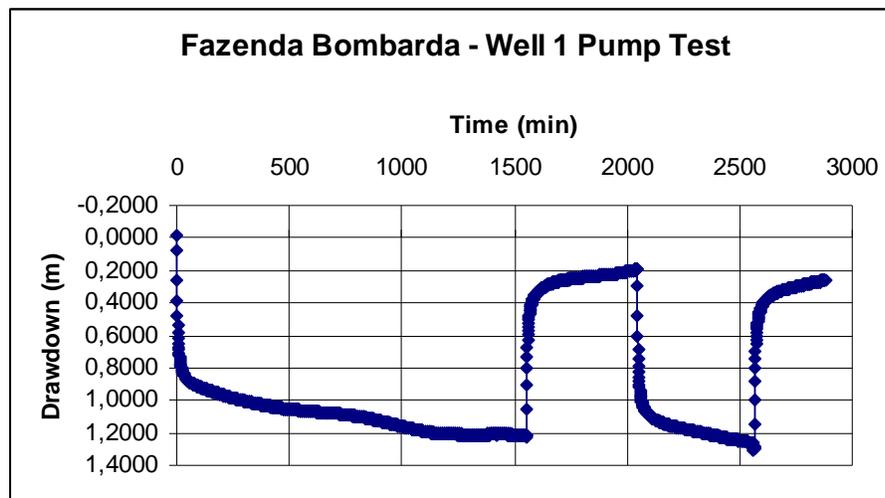


Figura 8 – Dados do teste de bombeamento do poço 1 da Fazenda Bombarda.

Uma das preocupações durante o teste foi de que a água retirada do poço não fosse jogada próxima de modo a não retornar. Dessa forma, optou-se por utilizar o método de ultra-som para medição da vazão, jogando a água para o pivô (fotos 3, 4 e 5) com leitura automática a cada minuto. O equipamento é um Dynasonics série FTX. Durante o teste de bombeamento a vazão oscilou muito pouco, de 492 a 507 m³/h, com uma vazão de bombeamento média de 497 m³/h.



Foto 3 – Um dos pivôs da Fazenda Bombarda e um poço de observação no canto esquerdo inferior da foto



Foto 4 - Aparelho utilizado na medição da vazão do poço



Foto 5– Sensores instalados para fazer a medição da vazão no cano pelo método de ultra-som

Após as 43 h de bombeamento, com interrupções, observou-se a recuperação por 4 dias, restando 5 cm para a recuperação do nível estático original de 24,55 metros (foto 6).



Foto 6 – Localização do poço de bombeamento 1 e seu poço de observação posicionado a 30 metros de distância.

O poço 1 possui uma seção filtrante que capta água dos sedimentos arenosos no intervalo de 101 a 279 metros (tabela 3).

Tabela 3 - Perfil litológico do poço 1 da Fazenda Bombarda

Intervalo (m)	Descrição litológica
0-12	Arenito argiloso em tons amarronados
12-60	Arenito de tonalidade bege amarelado de granulometria média
60-117	Arenito resistente de coloração do bege a incolor, envolto em uma matriz fina
117-123	Mistura de materiais sem definição de um padrão
123-144	Material areno-argiloso, de tons bege escuro
144-180	Arenito de tonalidade bege amarelado de grãos subangulares
180-186	Material argiloso de tons do amarelo
186-234	Arenito de tonalidade do amarelo friável com grãos subangulares
234-255	Arenito de tonalidade do alaranjado friável de grãos subangulares
255-273	Mistura de materiais, sem definição de um padrão
273-292	Arenito de tonalidade do alaranjado friável de grãos subangulares

O poço de observação dista 30 metros de distância do poço bombeado, possui uma profundidade de 100 metros e diâmetro de 2 polegadas (foto7).

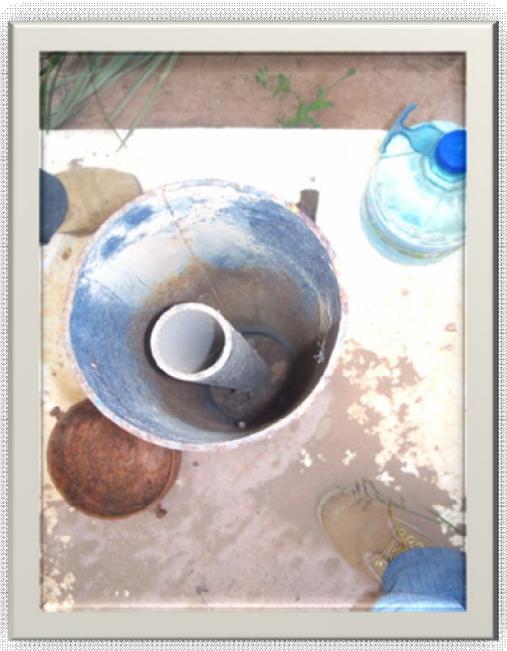


Foto 7 – Características do poço de observação no teste de bombeamento no poço 1

Avaliação no Poço 2

O teste realizado no poço 2 iniciou no dia 25/04/2009 as 13:37 h com a previsão de 48 horas de bombeamento, entretanto, devido a constantes interrupções por quedas de energia, somente os primeiros 506 minutos foram utilizados para determinação. Durante o teste no poço 2 a energia caiu 3 vezes como pode ser visto na figura 9. A primeira queda de energia ocorreu aos 506 minutos após o início do bombeamento, a segunda queda aos 582 minutos e a terceira aos 1932 minutos. Embora o teste tenha sido planejado para durar 48 horas apenas aproximadamente 8,5 horas de dados puderam ser utilizados para a análise.

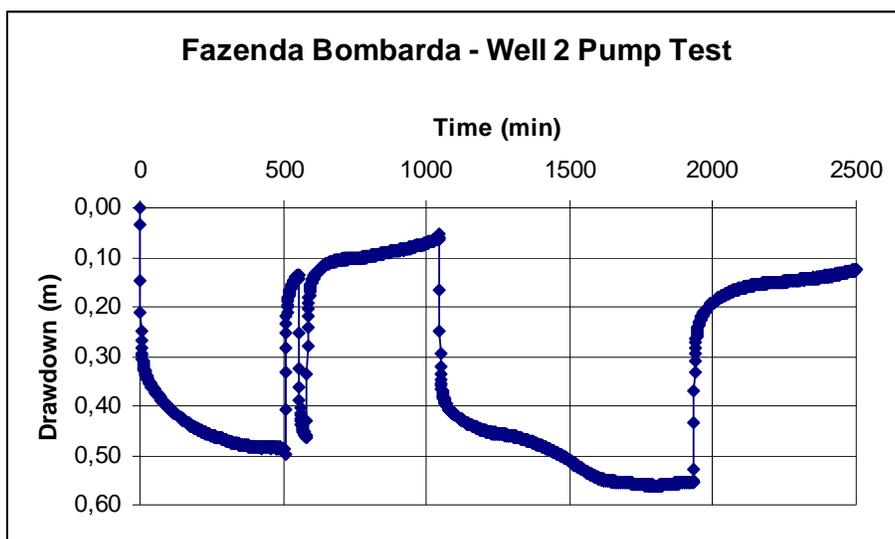


Figura 9 – Dados do teste de bombeamento do poço 2 da Fazenda Bombarda.

Neste poço não foi utilizado o método de ultra-som para determinação da vazão de teste. Na Fazenda Bombarda é prática comum a determinação da vazão com base na determinação do volume de água por medida de tempo que sai no pivô. Como se observa que a vazão dos poços ao longo do teste tendem a ter uma vazão constante, considerou-se a vazão determinada pelo pivô como característica do poço 2. A vazão de 520 m³/h foi utilizada na base de cálculos para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos.

O poço de observação dista 30 metros do poço bombeado, possui uma profundidade de 100 metros e diâmetro de 4 polegadas (foto 8 e 9).



Foto 8 – Poço de observação no teste de bombeamento no poço 2.



Foto 9 – Foto com situação do poço bombeado 2 e o poço de observação.

O poço 2 possui uma seção filtrante que capta água dos sedimentos arenosos no intervalo de 101 a 279 metros (tabela 4).

Tabela 4 - Perfil litológico do poço 2 da Fazenda Bombarda

Intervalo (m)	Descrição litológica
0-21	Solo areno argiloso em tons amarrorandos
21-45	Material mais arenoso do que argiloso na tonalidade do amarelado
45-171	Arenito resistente passando da tonalidade do amarelado para o rosa e para o bege, envolto em uma matriz fina
171-201	Arenito de tonalidade do bege, friável de granulometria fina
201-292	Arenito de tonalidade do alaranjado claro passando para o alaranjado escuro, friável de granulometria média

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para análise dos testes de bombeamento foram utilizados o conjunto de curvas de Neuman (1972) que é aplicado para aquíferos livres (figura 10). As curvas foram plotadas em uma planilha Excell e ajustadas para determinação de melhor ajuste dos ramos iniciais e finais da curva.

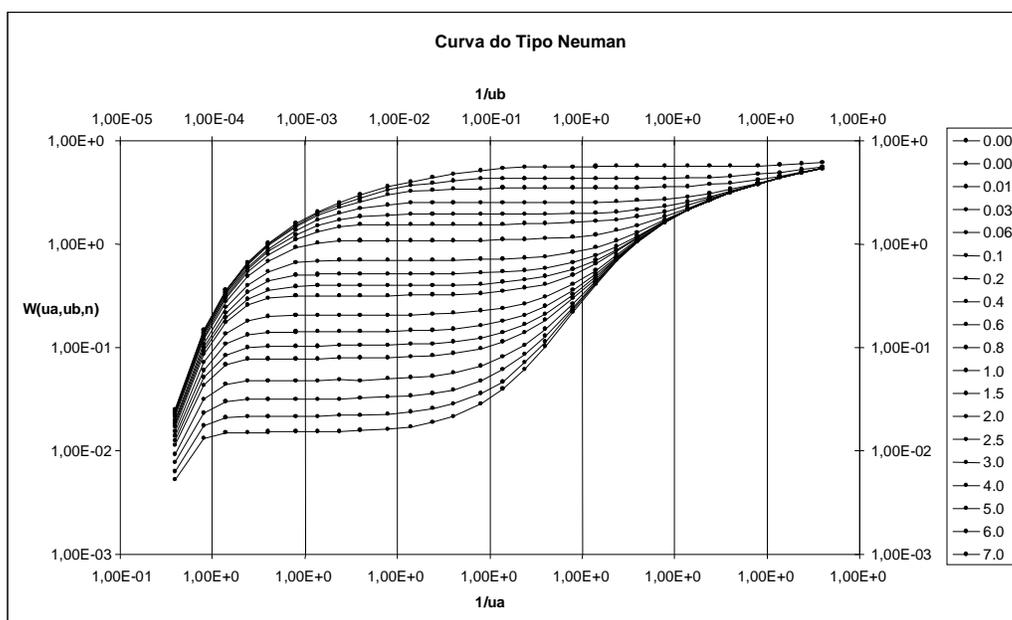


Figura 10 – Conjunto de curvas de Neuman (1972)

Na tabela 5 abaixo são apresentados os dados utilizados na determinação dos parâmetros dinâmicos para cada poço.

Tabela 5 - Propriedades do poço 1 e 2 na Fazenda Bombarda.

	Q (m ³ /h)	r (m)	Prof. do poço (m)	Prof. do piezômetro (m)
Poço 1	497	30	279	100
Poço 2	520	30	279	100

Determinou-se para o poço 1 uma transmissividade média de 1196 m²/dia, um coeficiente de armazenamento de 4,424 x 10⁻³ e uma porosidade eficaz de 4,959x 10⁻¹, conforme ilustrado nas figuras 11 e 12 e na tabela 6 abaixo.

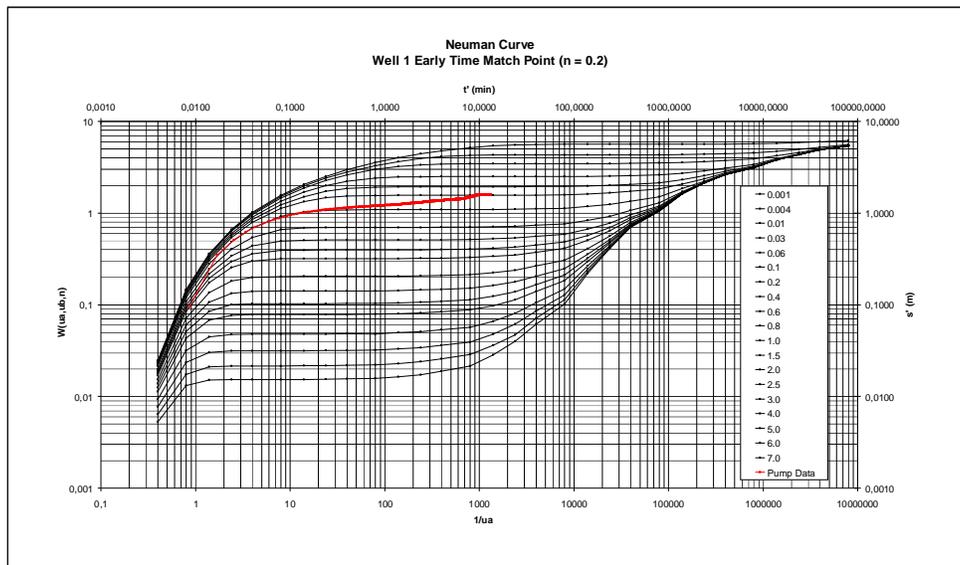


Figura 11 – Encaixe do ramo inicial da curva para o poço 1

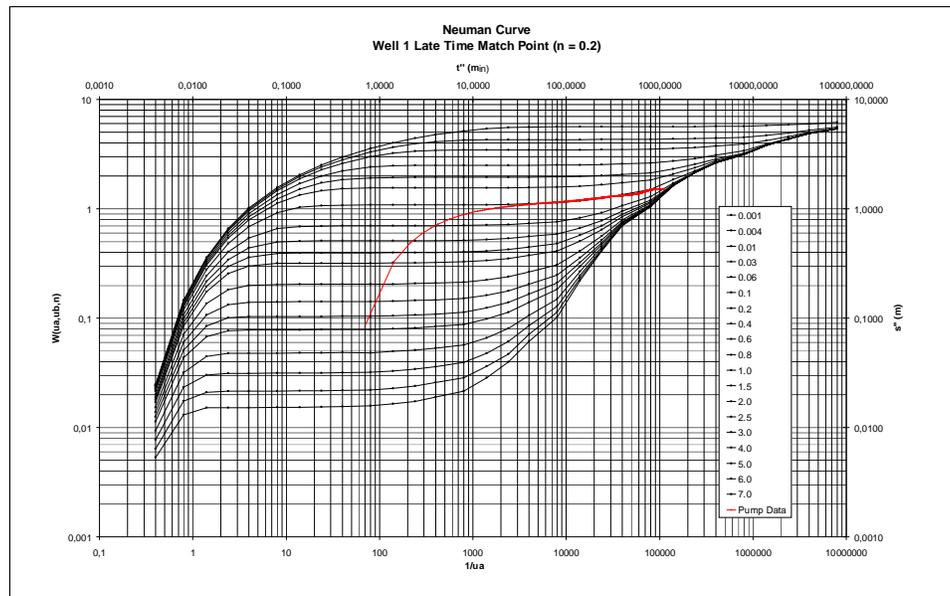


Figura 12 – Encaixe do ramo final da curva para o poço 1.

Tabela 6 – Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos para o poço 1

Poço	η	T early (m ² /dia)	T late (m ² /d)	S	S _γ
1	0,2	1,228 x 10 ³	1,165 x 10 ³	4,424 x 10 ⁻³	4,959 x 10 ⁻¹

Na avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do poço 2, utilizando-se as curvas de Neuman (1972), uma transmissividade média 2034 m²/dia, um coeficiente de armazenamento de 8,8 x 10⁻³ e uma porosidade eficaz de 4,66 x 10⁻¹, conforme ilustrado nas figuras 13 e 14 e na tabela 7 abaixo.

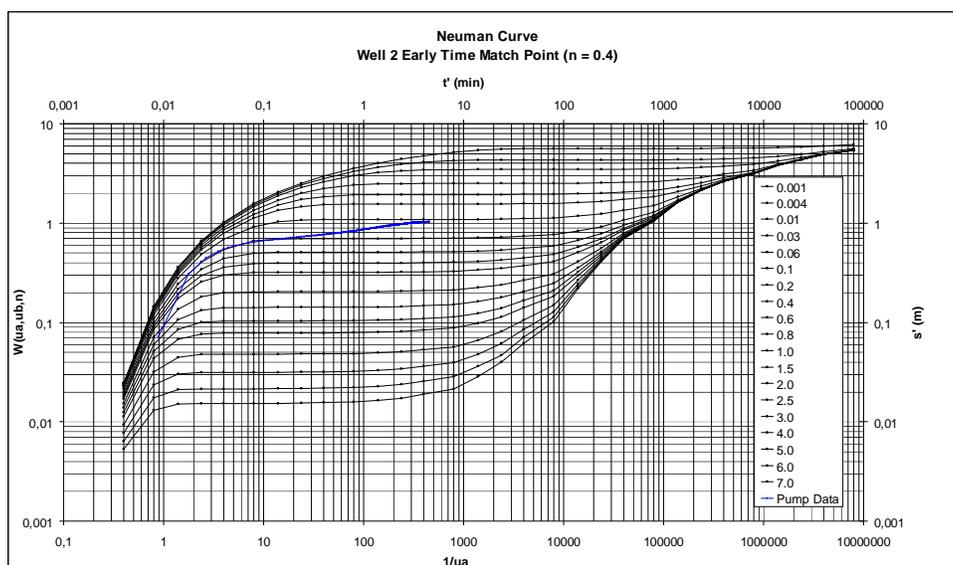


Figura 13 – Encaixe do ramo inicial da curva para o poço 2.

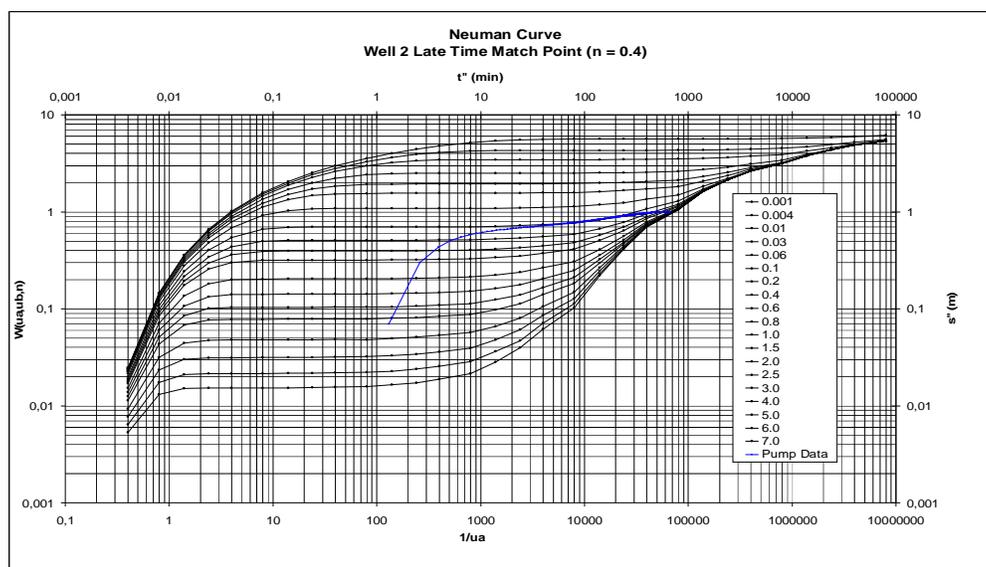


Figura 14 – Encaixe do ramo final da curva para o poço 2.

Tabela 7 – Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos para o poço 2

Poço	η	T inicial (m ² /dia)	T final (m ² /dia)	S	S _y
2	0,4	$2,036 \times 10^3$	$2,032 \times 10^3$	$8,800 \times 10^{-3}$	$4,660 \times 10^{-1}$

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores encontrados para a transmissividade do aquífero Urucuia na região da Fazenda Bombarda variam de 1196 m²/dia, $4,424 \times 10^{-3}$ de coeficiente de armazenamento e $4,959 \times 10^{-1}$ para

a porosidade eficaz no poço 1 e 2034 m²/dia para transmissividade, 8,8 x 10⁻³ de coeficiente de armazenamento e 4,66 x 10⁻¹ para a porosidade eficaz no poço 2.

É recomendado que os próximos testes de aquífero no Urucuia sejam mais prolongados, de modo a observar a parte final da curva de rebaixamento. Uma questão importante a ser considerada é a necessidade de utilização de um gerador de energia durante os testes de bombeamento para evitar possíveis interrupções. Isto se deve porque é comum a queda de energia em ensaios mais prolongados, pois os testes são normalmente realizados no final da estação chuvosa da região que é um período com muita incidência de raios, o que causa frequentes interrupções no fornecimento da energia elétrica.

A transmissividade determinada em ambos os testes encontra-se dentro da faixa do que vem se observando em outras avaliações (tabela 1), entretanto, os valores encontrados de porosidade eficaz são demasiadamente altos, tal fato se deve, possivelmente, a pouca definição do terceiro trecho da curva em ambos os testes realizados. Uma importante observação realizada nos testes é de que o rebaixamento nos poços de observação é demasiadamente pequeno frente ao volume retirado do aquífero e a distância do poço bombeado. No teste 1, após quase 26 horas de bombeamento a uma taxa média de 497 m³/h, houve um rebaixamento de 1,22 metro no poço de observação. No teste 2, após mais de 8 horas de bombeamento com uma vazão de 520 m³/h, o poço de observação rebaixou somente 49 cm. Comportamento semelhante foi observado no teste realizado pela CPRM & UFBA (2007) na Fazenda São Miguel (bacia do rio Formoso). Após 1491 minutos de bombeamento, o poço de observação, localizado a 22 metros de distância, rebaixou 38 cm para uma vazão média de 390 m³/h.

Outra forma de avaliar os resultados no poço da Fazenda Bombarda é aplicar o método de Theis (Fetter, 1988) através das equações apresentadas abaixo:

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad (1) \quad s = \frac{Q}{4 \Pi T} W(u) \quad (2)$$

onde,

u é a função do poço definido por Theis

r é a distancia do poço bombeado

S é o coeficiente de armazenamento

T é a transmissividade

t é o tempo de bombeamento

s é o rebaixamento

W(u) é a função do poço determinada a partir do cálculo de ***u***

Utilizando as equações acima, com os dados e os parâmetros determinados pelo teste de aquífero no poço 1, após 26 horas teríamos um rebaixamento teórico no poço de observação de

aproximadamente 1,7 metro, pouco superior ao valor observado em campo de 1,22 metro. O mesmo princípio pode ser aplicado para o poço 2 onde teríamos um rebaixamento teórico de 0,8 metro, sendo observado em campo 0,5 metro, após 8 horas de bombeamento.

Como dito anteriormente, os valores determinados de coeficiente de armazenamento em ambos os testes são bastante elevados, entretanto, caso o coeficiente de armazenamento fosse menor, na faixa de 10^{-4} , os valores de rebaixamento seriam muito superiores aos observados no campo, algo em torno de 8 vezes. Dessa forma, os valores de 10^{-1} estão bastante coerentes com o que foi observado em campo.

BIBLIOGRAFIA

Amorim Jr., V. 2003. Avaliação Hidrogeológica do aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas usando IP-Resistividade. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 82 p.

Bonfim, L. F. C. & Gomes, R. A. A. D. 2004. Aquífero Urucuia – Geometria espessura: Idéias para Discussão. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13, Cuiabá (MT).

CPRM & UFBA. 2007. Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-árida do Nordeste Brasileiro. Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Urucuia: Bacias Hidrográficas dos Rios Arrojado e Formoso. Outubro. CD-ROM.

Fetter, C. W. *Applied Hydrogeology*. New York: Macmillan. 1988.

Gaspar, M. T. P. 2006. Sistema Aquifero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, 214 p.

Kruseman, G. P. and de Ridder, N. A. 1990. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. ILRI Publication 47, Wageningen, 377 p.

Nascimento, K. R. F. (COORDENAÇÃO). 2003. Uso Conjunto das Águas Superficiais e Subterrâneas da Sub-Bacia do Rio das Fêmeas – BA. Relatório Final (Subprojeto 3.2-Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco ANA/GEF/PNUMA/OEA). Disponível em: www.ana.gov.br/gefsf.

Neuman, S. P. 1972. Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of the water table. *Water Resources Research*, vol. 8, n° 4, p. 1031-1045.

Schuster, H. D. 2003. Modelagem de Fluxo Subterrâneo com vistas à definição de parâmetros para outorgas de mananciais subterrâneos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros – Oeste do estado da Bahia. Projeto rio dos Cachorros e Anexos. 113p.

Schuster, H. D. M; Silva, F. F. da; Teixeira, S. L.; Batista, L. H. G. & Freitas, W. A. 2002. Estudos Hidrogeológicos do Aquífero Urucuia no Oeste baiano para Obtenção de Parâmetros nas outorgas de mananciais Subterrâneos. In: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, Santa Catarina, CD-ROM.