

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**COMPORTAMENTO HIDROQUÍMICO DE AMOSTRAS DE TESTES DE
BOMBEAMENTO COMO FERRAMENTA DE INVESTIGAÇÃO EM UM CASO
DE CONTAMINAÇÃO DE BÁRIO, REGIÃO DE MARÍLIA, SP**

Cauê Moara Gonçalves dos Santos.

Orientadora: Profa. Dra. Veridiana Teixeira de Souza Martins
Coorientadora: Geol. Dra. Tatiana Luiz dos Santos Tavares

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016 / 08)

SÃO PAULO
2016

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**COMPORTAMENTO HIDROQUÍMICO DE AMOSTRAS DE TESTES DE
BOMBEAMENTO COMO FERRAMENTA DE INVESTIGAÇÃO EM UM CASO DE
CONTAMINAÇÃO DE BÁRIO, REGIÃO DE MARÍLIA, SP**

Cauê Moara Gonçalves dos Santos



Orientadora: Profa. Dra. Veridiana Teixeira de Souza Martins

Coorientadora: Geol. Dra. Tatiana Luiz dos Santos Tavares

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016 / 08)

IGc-Instituto de Geociências



Comportamento hidroquímico de amostras de testes de
bombeamento como ferramenta de investigação e
M27127

SÃO PAULO

2016

TF
5237
CMG.C

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

COMPORTAMENTO HIDROQUÍMICO DE AMOSTRAS DE TESTES DE
BOMBAMENTO COMO FERRAMENTA DE INVESTIGAÇÃO EM UM CASO DE
CONTAMINAÇÃO DE BÁRIO, REGIÃO DE MARILIA, SP



Caio Moraes Gonçalves dos Santos

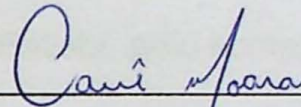
Orientadora: Profa. Dra. Vendiana Teixeira de Souza Martins
Coorientadora: Geol. Dra. Tatiana Luiz dos Santos Tavares

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016 \ 08)

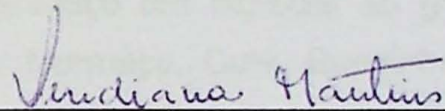
SÃO PAULO
2016

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**COMPORTAMENTO HIDROQUÍMICO DE AMOSTRAS DE TESTES DE
BOMBEAMENTO COMO FERRAMENTA DE INVESTIGAÇÃO EM UM CASO DE
CONTAMINAÇÃO DE BÁRIO, REGIÃO DE MARÍLIA, SP**



Cauê Moara Gonçalves dos Santos



Veridiana Teixeira de Souza Martins

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a minha orientadora, Veridiana, e a minha coorientadora, Tatiana por terem me orientado neste trabalho com dedicação e profissionalismo e por todos os ensinamentos. Queria agradecer em especial pela oportunidade de poder vincular este Trabalho de Formatura ao estágio no IPT. Obrigado pela oportunidade!

Agradeço também ao pessoal do IPT pelo aprendizado, pelo convívio e por sempre estarem à disposição para me ajudar: José Luiz, Ana Maciel, Nádia, Rosângela, Marcelo, Jéssica, Mauri, Cynthia, Larissa, Renato, Fernando, Diego, Érick, André e Álvaro. Agradeço também à Ana Rios por sempre se colocar à disposição para me ajudar com a interpretação de dados.

Gostaria de agradecer aos meus pais pelo apoio durante todos esses anos e por sempre me incentivarem a estudar.

Queria agradecer em especial à Graziela Batista, pelo companheirismo e por todo o apoio, inclusive neste trabalho!

Queria agradecer à Turma 55 (e agregados) pelo bom convívio durante toda a graduação e por todos os bons momentos. Agradeço em especial ao grupo do Rebanho 55 pela parceria durante esses anos: Mormaço, Café, Bundinha, Júlio, Garçom, Constipado, Hugo, Manja, Lucão, Pepê e Tênia.

Obrigado a todos!

RESUMO

Concentrações de bário acima do limite de potabilidade de 0,7 mg/l vêm sendo detectadas em poços de abastecimento no Sistema Aquífero Bauru, no oeste do Estado de São Paulo, pelo monitoramento da CETESB desde 2001. Pesquisadores do IPT estudaram melhor essa questão e concluíram que essas anomalias estão relacionadas com a lixiviação da cimentação carbonática dos arenitos das Formações Marília e Adamantina.

Este Trabalho de Formatura estudou o comportamento das anomalias de bário em profundidade, através de dados de testes de bombeamento realizados em oito poços tubulares profundos na região do Espigão de Marília. Os métodos deste trabalho incluíram: revisão bibliográfica; compilação do banco de dados do IPT (análises químicas e dados de rebaixamento); tratamentos hidroquímicos; e métodos de interpretação de testes de bombeamento, para determinar as propriedades hidráulicas dos aquíferos.

Em geral, não foi observada relação entre bário e o rebaixamento, pois as concentrações variaram sem um padrão definido, provavelmente devido ao comportamento semi-confinado dos aquíferos da região. A exceção foi o poço IPT 245, em que o bário diminuiu com o bombeamento, possivelmente devido ao maior enriquecimento desse íon no Aquífero Marília nesse local. Porém, as anomalias de bário foram observadas tanto no Aquífero Marília, quanto no Aquífero Adamantina, apesar do poço com as maiores concentrações (IPT 44) ter maior contribuição de água do Aquífero Marília.

Comumente, poços com anomalias de bário apresentaram minerais portadores de bário, como calcita e dolomita, em equilíbrio, além de sulfato insuficiente para limitá-lo através da reação de precipitação da barita. Dentre os poços sem anomalias de bário, foi encontrado um poço com altas concentrações de sulfato (IPT 261), o que pode ter limitado bário em solução, além de outros dois poços (IPT 49 e IPT 63) com pouco sulfato, mas que possivelmente não apresentaram fontes ricas em bário, ou condições favoráveis para liberá-lo na água. Bário apresentou certa correlação com estrôncio ao longo dos testes, o que corrobora com a literatura, que indica minerais carbonáticos como fonte potencial desses dois elementos.

A baixa transmissividade obtida pode ser devido aos arenitos com forte cimentação carbonática da região. Porém, não foram observadas diferenças de propriedades hidráulicas entre os aquíferos Marília e Adamantina, pois os valores obtidos foram muito próximos. Os dados corroboram parcialmente com a literatura e pode ter ocorrido uma subestimativa dos resultados em alguns poços, pois os testes de bombeamento foram realizados em poços únicos. Testes de bombeamento confirmatórios poderiam ser executados com poços múltiplos para verificar os resultados das propriedades hidráulicas em determinados locais.

Palavras-chave: hidroquímica, bário, Sistema Aquífero Bauru, testes de bombeamento.

ABSTRACT

Barium concentrations above drinking limit of 0,7 mg/l have been detected by CETESB in supply wells of the Bauru Aquifer System, located in the western portion of São Paulo state since 2001. Researchers from IPT studied this issue further and concluded that these anomalies are related to leaching of carbonate cementation from sandstones of Marília and Adamantina Formations.

This term paper studied the behavior of barium anomalies in depth, through pumping tests data of eight deep wells in the Espigão de Marília region. The methods used in this study were: literature review, compilation of IPT database information (chemical analysis and drawdown data); hydrochemical analysis; and methods of interpretation of pumping tests data to determine the hydraulic properties of the aquifers.

In general, no relation between barium and drawdown was observed, since the concentrations varied without a defined pattern, probably due to the leaky behavior of the region's aquifers. The exception was the well IPT 245, where barium decreased with pumping, possibly due to the higher barium enrichment in the Marília Aquifer at that location. However, barium anomalies were observed in both the Marília and Adamantine aquifers, although the well with the highest concentrations (IPT 44) had the greatest water contribution from the Marília Aquifer.

In general, wells with barium anomalies showed barium bearing minerals, such as calcite and dolomite, in equilibrium, in addition to insufficient sulphate to limit it through the barite precipitation reaction. Among the wells without barium anomalies, a well with high sulfate concentrations (IPT 261) was found, which may have limited barium in solution, besides two wells (IPT 49 and IPT 63) with low sulphate, that possibly did not presented rich sources in barium, or favorable conditions to release it in the water. Barium presented some correlation with strontium throughout the tests, which corroborates with the literature, which indicates carbonate minerals as potential source for these two elements.

The low transmissivity obtained may be due to sandstones with wide carbonate cementation of the region. However, no differences in hydraulic properties were observed between the Marília and Adamantina aquifers, since the values obtained were very close. The data partially corroborate with the literature and there may have been an underestimation of the results in some wells, since the pumping tests were performed in single wells. Confirmatory multiple-well aquifer tests should be performed to verify the results of hydraulic properties.

Keywords: hydrochemistry, barium, Bauru Aquifer System, pumping tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo	3
Figura 2 – Mapa geológico da área de estudo.....	4
Figura 3 – Divisão clássica da Bacia Bauru.....	5
Figura 4 – Unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru no Estado de São Paulo.....	6
Figura 5 – Seções geológicas dos poços estudados	7
Figura 6 – Modelo conceitual de fluxo da área de estudo.....	10
Figura 7 – Diagrama Eh–pH do sistema Ba–S–O–H–C	12
Figura 8 – Características gerais do poço IPT 44.....	23
Figura 9 – Características gerais do poço IPT 49.....	26
Figura 10 – Características gerais do poço IPT 63.....	29
Figura 11 – Características gerais do poço IPT 72.....	32
Figura 12 – Características gerais do poço IPT 130.....	35
Figura 13 – Características gerais do poço IPT 245.....	38
Figura 14 – Características gerais do poço IPT 261.....	41
Figura 15 – Características gerais do poço IPT 347.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru.....	8
Tabela 2 – Índices de saturação das amostras do poço IPT 44	22
Tabela 3 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> do poço IPT 44	22
Tabela 4 – Propriedades hidráulicas no poço IPT 44	22
Tabela 5 – Índices de saturação das amostras do poço IPT 49	25
Tabela 6 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> do poço IPT 49	25
Tabela 7 – Índices de saturação das amostras do poço IPT 63	28
Tabela 8 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> do poço IPT 63	28
Tabela 9 – Propriedades hidráulicas no poço IPT 63	28
Tabela 10 – Índices de saturação das amostras do poço IPT 72	31
Tabela 11 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> do poço IPT 72	31
Tabela 12 – Propriedades hidráulicas no poço IPT 72	31
Tabela 13 – Índices de saturação das amostras do poço IPT 130	34
Tabela 14 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> do poço IPT 130	34
Tabela 15 – Índices de saturação das amostras do poço IPT 245	37
Tabela 16 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> do poço IPT 245	37
Tabela 17 – Índices de saturação das amostras do poço IPT 261	40
Tabela 18 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> do poço IPT 261	40
Tabela 19 – Propriedades hidráulicas no poço IPT 261	40
Tabela 20 – Índices de saturação das amostras do poço IPT 347	43
Tabela 21 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> do poço IPT 347	43
Tabela 22 – Propriedades hidráulicas no poço IPT 347	43

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 METAS E OBJETIVOS	2
3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	3
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
4.1 Geologia Regional.....	4
4.2 Hidrogeologia regional.....	9
4.3 Hidroquímica do bário	11
4.4 Efeitos nocivos da ingestão de águas contaminadas por bário na saúde humana.....	14
4.5 Interpretações de testes de bombeamento.....	15
4.5.1 Método de Theis (1935).....	15
4.5.2 Método de Cooper e Jacob (1946)	16
4.5.3 Método de Hantush-Walton (1956).....	17
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
5.1 Compilação de dados.....	17
5.2 Hidroquímica.....	18
5.3 Interpretação dos testes de bombeamento.....	19
6 RESULTADOS	20
6.1 Poço IPT 44	20
6.2 Poço IPT 49	24
6.3 Poço IPT 63	27
6.4 Poço IPT 72	29
6.5 Poço IPT 130	33
6.6 Poço IPT 245	36
6.7 Poço IPT 261	39
6.8 Poço IPT 347	42
7 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	45
7.1 Hidroquímica.....	45
7.1.1 Poço IPT 44	45
7.1.2 Poço IPT 49	47

7.1.3 Poço IPT 63.....	48
7.1.4 Poço IPT 72.....	49
7.1.5 Poço IPT 130.....	49
7.1.6 Poço IPT 245.....	50
7.1.7 Poço IPT 261.....	51
7.1.8 Poço IPT 347.....	52
7.2 Interpretação dos testes de bombeamento.....	53
8 CONCLUSÕES.....	55
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXO I – Dados de análises químicas	64
ANEXO II – Dados de nível d'água	69
ANEXO III – Gráficos dos métodos de interpretação dos testes de bombeamento.....	71

1 INTRODUÇÃO

Segundo o último levantamento de uso de águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo, realizado pela CETESB em 2007, 80 % dos municípios são total ou parcialmente abastecidos por águas subterrâneas. Na região do Espigão de Marília, no oeste do estado, municípios como Pompéia, Gália e Oriente são totalmente abastecidos por essas águas, enquanto que as cidades de Marília e Garça são parcialmente abastecidas por esse recurso (CETESB, 2007).

Durante a estiagem do sudeste paulista, as cidades que dependiam principalmente de águas represadas foram as mais afetadas pela seca. No caso de Marília, por exemplo, o baixo índice pluviométrico de 2014 (CIIAGRO, 2016) afetou drasticamente a represa Cascata, um dos oito reservatórios da cidade, que abastece 12 % da população (Prefeitura de Marília, 2014a). Diante desse cenário e visando ampliar a rede de abastecimento público, a prefeitura de Marília iniciou em 2014 um projeto de perfuração de dez poços tubulares profundos, sendo concluído no início de 2016 (Prefeitura de Marília, 2014b, 2016). Estudos hidroquímicos foram importantes para determinar a qualidade das águas subterrâneas na região e permitiram definir a melhor alocação dos novos poços e de seus filtros, para se evitar a extração de águas impróprias para consumo humano. Isso mostra a importância desses estudos, sobretudo diante do cenário da crise hídrica.

Em 1990, a CETESB iniciou uma rede de monitoramento das águas subterrâneas do Estado de São Paulo para estudar a qualidade da água de abastecimento público. Ao longo dos anos houve ampliação dos poços de monitoramento, dos aquíferos estudados e dos parâmetros analisados por essa rede (CETESB, 2013). O bário começou a ser analisado pela CETESB em 2001 (CETESB, 2004) e, desde então, concentrações acima do limite de potabilidade de 0,7 mg/l (WHO, 2011) vêm sendo detectadas no Sistema Aquífero Bauru (SAB), em cidades na porção oeste do Estado de São Paulo como Gália, Marília e Adamantina (CETESB 2004, 2007, 2010 e 2013).

Tavares (2013) estudou a ocorrência de anomalias de bário em Gália. Em poços tubulares profundos que captavam água dos aquíferos Marília e Adamantina, foram relatadas anomalias de bário de até 2,2 mg/l em águas bicarbonatadas cálcicas, de pH alcalino e sem sinais de contaminação antrópica. Essas concentrações anômalas foram associadas a um nível de cimentação carbonática intensa das rochas da Formação Marília. Tavares (2013) também indicou os argilominerais como outra fonte natural de bário para as águas subterrâneas da região.

Crespi (2013) estudou as anomalias de bário em Gália através de isótopos de estrôncio, oxigênio e hidrogênio. Foi relatado que a assinatura isotópica de estrôncio das águas subterrâneas era semelhante à assinatura isotópica dos carbonatos das rochas da

Formação Marília. Devido à correlação entre bário e estrôncio, foi concluído que os carbonatos são prováveis fontes potenciais de bário. Também foi relatado um zoneamento isotópico do Sistema Aquífero Bauru, que permitiu distinguir as águas do Aquífero Marília, isotopicamente enriquecidas (-7,11 a -7,43 para $\delta^{18}\text{O}$ e -43,57 e -49,61 para δD), das águas do Aquífero Adamantina, isotopicamente empobrecidas (-8,55 e -8,74 para $\delta^{18}\text{O}$ e -50,68 a 60,26 para δD). Devido à tendência de correlação de bário com $\delta^{18}\text{O}$, δD e estrôncio nas águas, Crespi (2013) identificou as águas do Aquífero Marília como mais enriquecidas em bário do que as águas do Aquífero Adamantina em Gália.

Em 2013, pesquisadores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), elaboraram um projeto intitulado "Estudos de Restrições em Aquíferos no Alto Aguapeí e Alto Peixe (Bauru e Guarani)", financiado pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e que estuda anomalias geoquímicas em águas subterrâneas. Este projeto de Trabalho de Formatura, vinculado ao projeto do IPT, analisou o comportamento do bário e a hidroquímica das águas subterrâneas ao longo de testes de bombeamento em oito poços tubulares profundos na região do Espigão de Marília. Alguns dos poços selecionados apresentaram anomalias de bário em trabalhos anteriores desse mesmo projeto. Entretanto, ainda não haviam sido realizados testes de bombeamento para estudar o comportamento hidroquímico dos aquíferos com o aumento da profundidade nesses poços.

Assim, foram utilizadas informações de nível d'água e resultados analíticos obtidos a partir de amostras de água subterrânea. A variação da concentração dos íons ao longo do tempo foi comparada com a variação litológica dos poços e foi possível identificar minerais que controlam a composição química das águas e que podem estar relacionados com a ocorrência de bário em solução. Através dos testes de bombeamento também foram determinadas as propriedades hidráulicas dos aquíferos, como a transmissividade (T) e a condutividade hidráulica (K).

Além das ocorrências de anomalias de bário relatadas no Brasil, outros casos também foram descritos internacionalmente. Foram detectadas concentrações de bário de 18 mg/l em poços de mais de 30 cidades de Illinois (EUA) (Gilkerson, 1978). Já em 1982, no Condado de Cattaraugus (Indiana, EUA), Moore et al. (1984) constataram teores de bário de 23 mg/l nas águas subterrâneas, atribuídos à dissolução de barita (BaSO_4) por bactérias anaeróbicas redutoras de sulfato.

2 METAS E OBJETIVOS

Os objetivos gerais do projeto englobam a avaliação hidroquímica de testes de bombeamento em oito poços tubulares profundos, com o intuito de melhor compreender o comportamento do bário, sua relação com a extração de água subterrânea e a geologia do

Espigão de Marília. Essas informações são importantes para o adequado gerenciamento desse recurso na região.

Os objetivos específicos do trabalho englobam a avaliação dos seguintes itens:

- Comportamento das anomalias de bário com os testes de bombeamento;
- Relação da contaminação de bário com a profundidade da amostra;
- A relação entre a geologia dos poços e o comportamento hidráulico durante os testes;
- Semelhanças e diferenças entre poços com anomalias de bário e sem, frente aos testes de bombeamento.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os poços estudados neste trabalho localizam-se na região do Espigão de Marília (Figura 1), a cerca de 400 km da capital do Estado de São Paulo e situado no ramo ocidental da Serra dos Agudos, que atravessa a cidade de Marília de leste a oeste e engloba os municípios vizinhos. O principal acesso é pela Rodovia Presidente Castelo Branco (SP-280 ou BR-374), até a Rodovia Comandante João Ribeiro de Barros (SP-294), que atravessa a região de Marília. Os poços localizam-se nas cidades de Pompéia, Oriente, Marília, Garça e Gália e estão distribuídos pela região conforme a Figura 1.

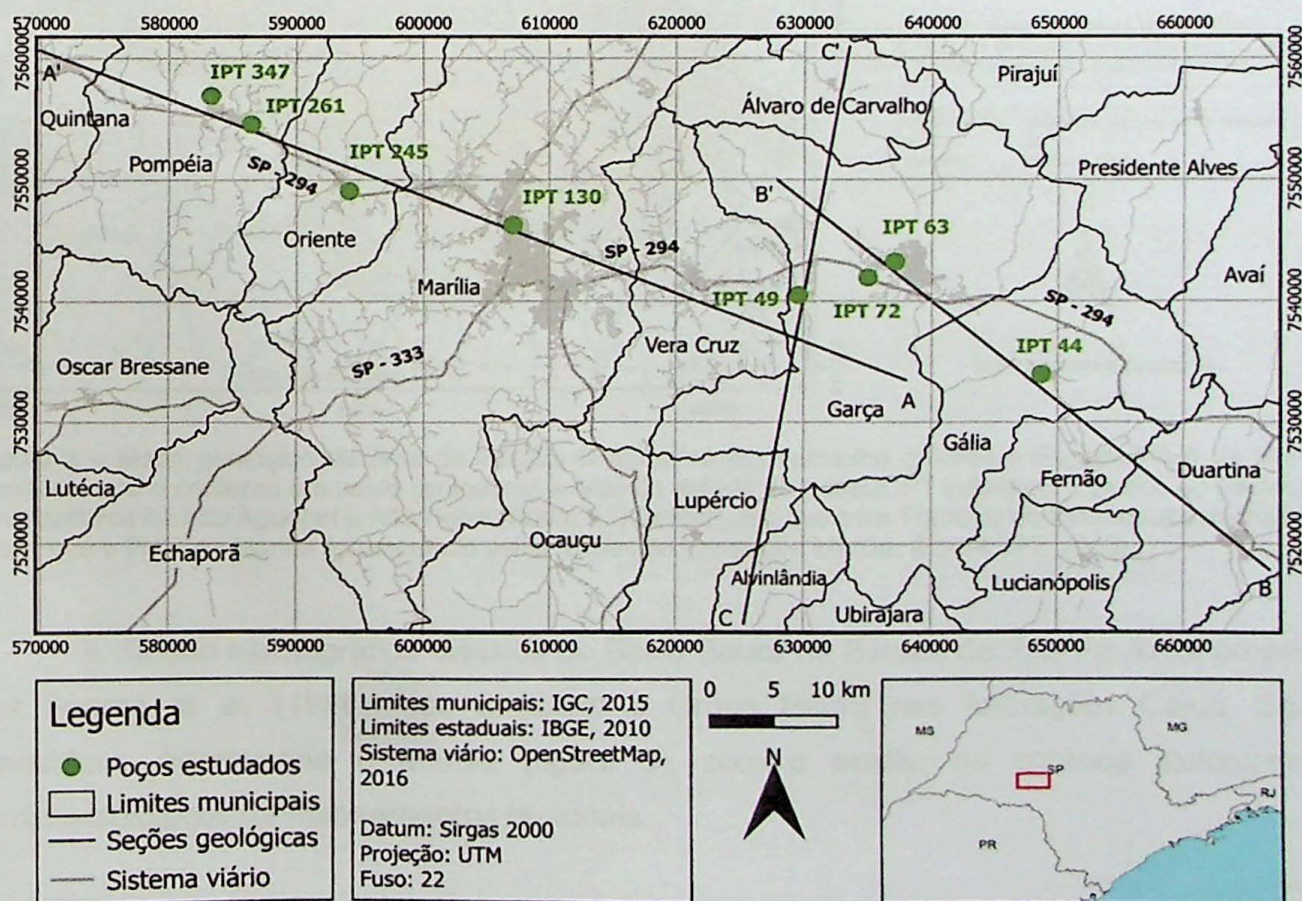


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. O retângulo vermelho destaca a área no contexto do Estado de São Paulo. As retas que cortam o mapa representam os traçados das seções geológicas A-A', B-B' e C-C', que englobam os poços estudados (Fonte: o autor).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Geologia Regional

O Espigão de Marília localiza-se no Planalto Ocidental Paulista (IPT, 1981), mais exatamente no Planalto Residual de Marília (Ross e Moroz, 1996), que possui formas de relevo constituídas por colinas com topos aplainados, convexos e tabulares, com altitudes que variam de 500 m a 600 m (Santos e Nunes, 2007). O Planalto Ocidental Paulista é correspondente aos basaltos da Formação Serra Geral, que recobrem as unidades sedimentares do final do ciclo de deposição da Bacia Sedimentar do Paraná. Acima dos basaltos foram depositadas as rochas da Bacia Bauru. Na região do Espigão de Marília afloram rochas da Formação Marília (Figura 2) que está sobreposta às formações Adamantina e Araçatuba (Paula e Silva, 2003). Logo abaixo ainda pode ocorrer localmente a Formação Birigui em profundidade, seguida da Formação Serra Geral.

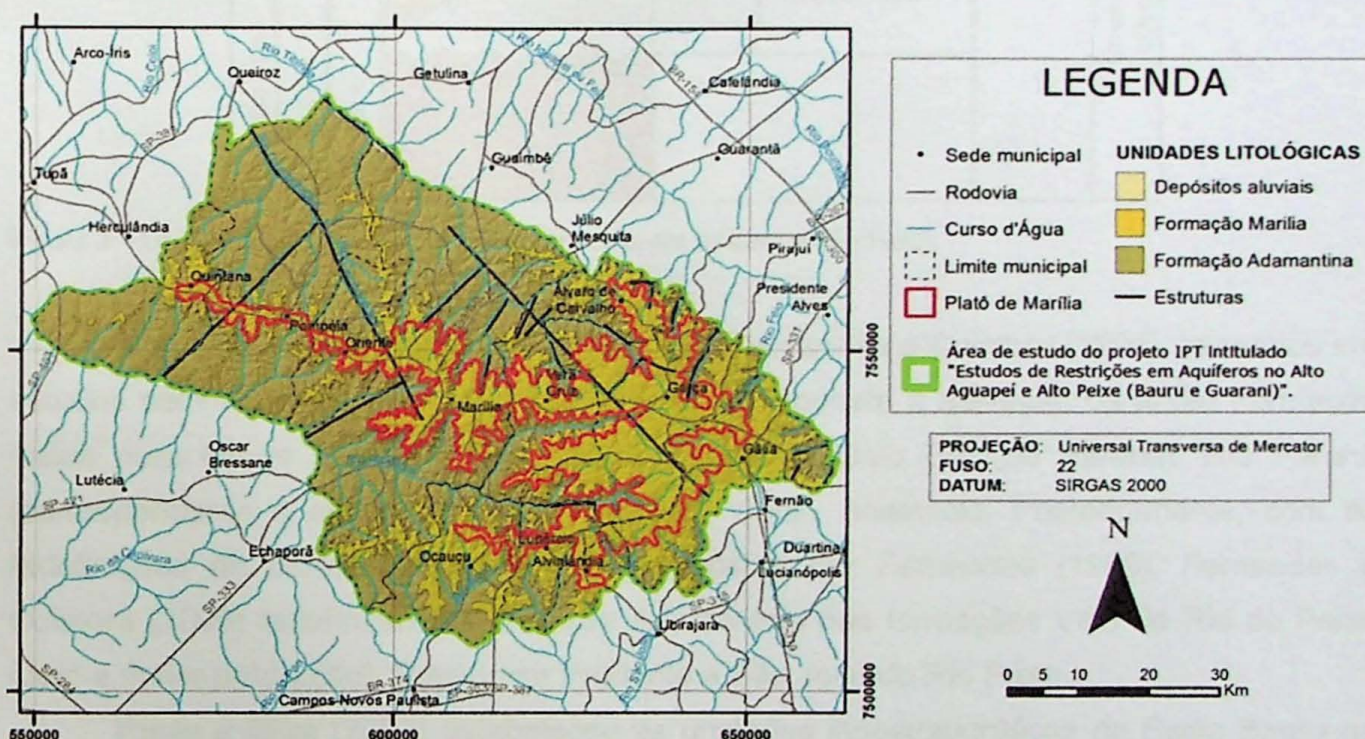


Figura 2 – Mapa geológico da área de estudo. O contorno em vermelho delimita o Espigão/Platô de Marília, enquanto que o contorno em verde representa a área de estudo do projeto IPT intitulado "Estudos de Restrições em Aquíferos no Alto Aguapeí e Alto Peixe (Bauru e Guarani)", em que este Trabalho de Formatura está inserido. Notar que o Platô de Marília é sustentado pelas rochas da Formação Marília. (Fonte: IPT, 2016).

A divisão estratigráfica clássica da Bacia Bauru no Estado de São Paulo foi proposta por Soares et al. (1980), que dividiram o Grupo Bauru nas formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília (figura 3), com o auxílio de critérios litológicos e sedimentológicos de mapeamentos regionais.

Grupo	Formação	Esp. Máx.	Litologia	Litofácies	Sistema Depositional	Fósseis	Idade
			SW	NE			
Grupo Bauru	Marília	160 m	Marília	Itaqueri	Leques Aluviais	Algas Moluscos Conchas traçadas Répteis	Cretáceo Superior
	Adamantina	190 m	Taciba Ubirajara S. J. R. Preto		Fluvial meandrante pelítico a sul		Cretáceo Médio
	Santo Anastácio	80 m	S. J. R. Preto	Taciba	Psamítico a leste e norte		Cretáceo Médio
	Caiuá	200 m	S. J. R. Preto	Ubirajara	F. meandrante a anastomosado psamítico		Cretáceo Inferior
	Caiuá	200 m	Caiuá		Desértico		Cretáceo Inferior
G. S. Bento	Serra Geral	+ 1500 m	Basaltos				

Figura 3 – Divisão clássica da Bacia Bauru proposta por Soares et al. (1980).

Nos trabalhos de Fernandes (1992) e de Fernandes e Coimbra (1994), baseados em estudos sedimentológicos e paleogeográficos, foi proposta a elevação da então Formação Caiuá para Grupo Caiuá, formado pelas formações Goio Erê (no Paraná), Rio Paraná (correspondente à antiga Formação Caiuá) e Santo Anastácio. Posteriormente, com as redefinições de caráter litoestratigráfico propostas por Fernandes (1998), Fernandes e Coimbra (2000) redefiniram a Formação Adamantina nas formações Vale do Rio do Peixe (com a maior proporção), Presidente Prudente e São José do Rio Preto.

Paula e Silva (2003) estabeleceu as unidades litoestratigráficas da Bacia Bauru no Estado de São Paulo (Figura 4) através de perfis geofísicos e dados de campo de poços tubulares profundos. A divisão clássica propostas por Soares et al. (1980) foi mantida e foi incluída a Formação Araçatuba, além de reconhecidas duas novas formações no Grupo Bauru: Pirapozinho e Birigui, mapeáveis somente em subsuperfície (figura 4). Os poços estudados na região do Espigão de Marília atingem as formações Marília, Adamantina e Araçatuba (figura 5). Paula e Silva (2003) propôs que essas formações poderiam ser chamadas de aquíferos, com exceção dos aquíferos Pirapozinho e Araçatuba. Assim, o Sistema Aquífero Bauru pode ser dividido em unidades hidroestratigráficas, definidas de acordo com a estratigrafia e as propriedades hidráulicas de cada formação.

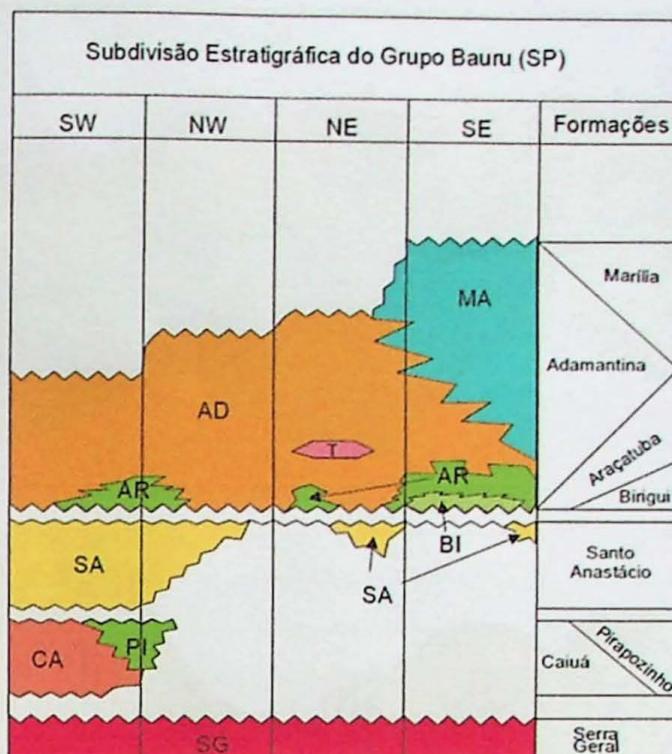


Figura 4 – Seção esquemática das relações entre as unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. As siglas correspondem às formações: MA: Marília; AD: Adamantina; AR: Araçatuba; BI: Birigui; SA: Santo Anastácio; PI: Pirapozinho; CA: Caiuá; SG: Serra Geral. (Fonte: Paula e Silva, 2003).

Neste Trabalho de Formatura foi considerada a divisão clássica da Bacia Bauru proposta por Soares et al. (1980), pois na época da perfuração dos poços estudados, as litologias foram classificadas segundo essa divisão. Além disso, as descrições litológicas desses poços foram insuficientes para reclassificar as formações segundo a divisão mais recente. Apesar disso, a utilização da divisão clássica não comprometeu a interpretação dos dados. A litologia dos poços é melhor observada através das seções geológicas da área de estudo (figura 1 e figura 5), em que pode-se observar que, comumente, os poços estudados neste trabalho cortam as formações Marília e Adamantina, com exceção do IPT 130 que corta também a Formação Araçatuba.

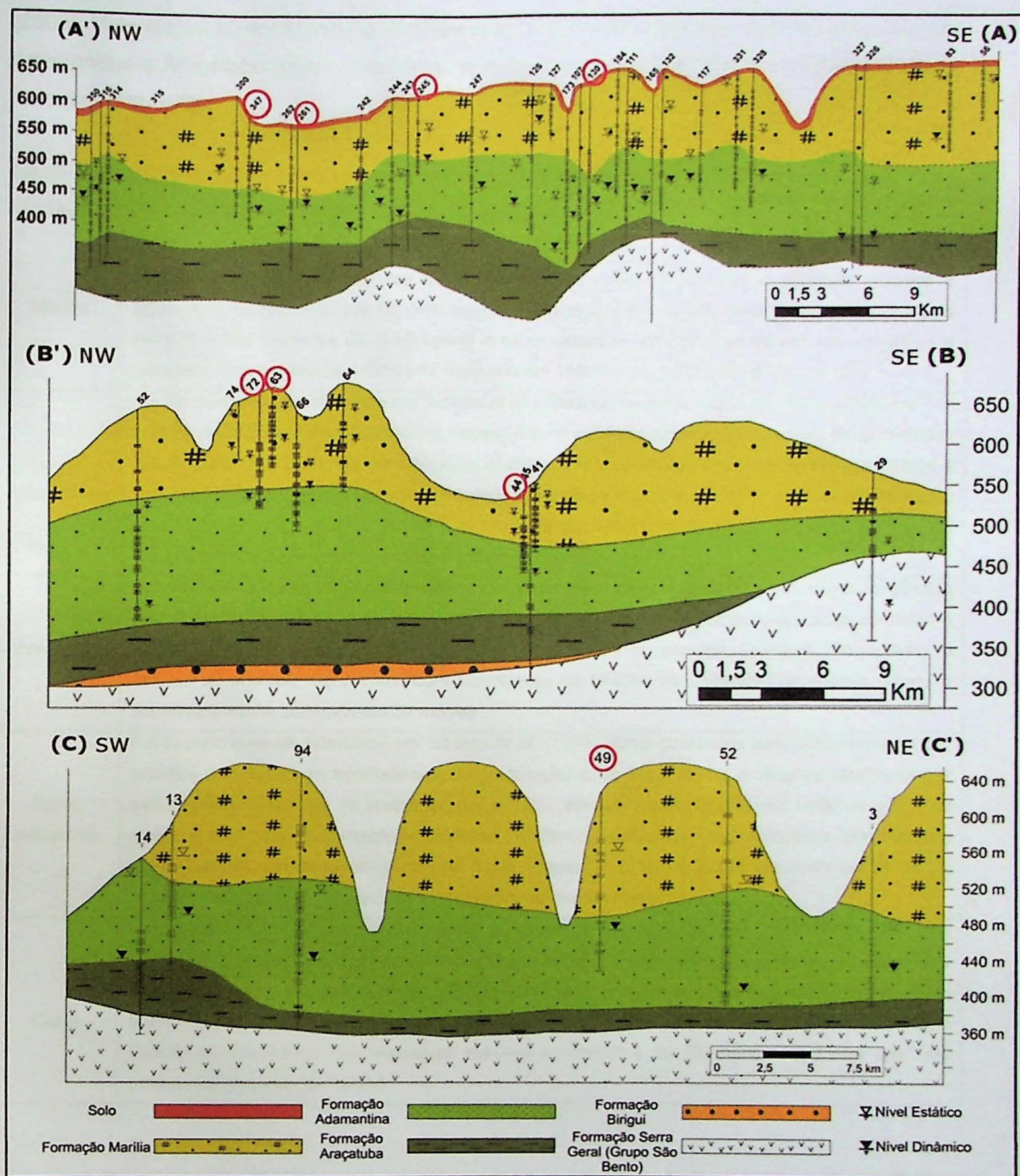


Figura 5 – Seções geológicas dos poços estudados na região do Espigão de Marília. Os Traçados das seções encontram-se na figura 1. Os círculos em vermelho destacam os oito poços considerados neste trabalho. Notar que, em geral, os poços cortam as formações Marília e Adamantina, com exceção do IPT 130 que corta também a Formação Araçatuba (Fonte: Oliveira, 2014).

A tabela 1 é uma síntese das descrições litológicas da divisão clássica da Bacia Bauru (Soares et al., 1980), com a inclusão da Formação Araçatuba por Paula e Silva

(2003). Vale ressaltar, entretanto, que neste presente trabalho apenas as formações Marília, Adamantina e Araçatuba foram relevantes, pois os poços estudados cortam somente essas litologias (figura 5).

Tabela 1 – Descrição das unidades litoestratigráfica do Grupo Bauru (Fonte: Paula e Silva, 2003).

Unidade	Características Litológicas
Marília	Foi formalmente caracterizada por Soares <i>et al.</i> (1980) como uma unidade composta por arenitos grossos a conglomeráticos, teor de matriz variável, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis, maciços ou com acamamento incipiente subparalelo e descontínuo, raras estratificações cruzadas de médio porte e raras camadas descontínuas de lamitos vermelhos e calcários. Sua espessura máxima foi estimada em 160 metros, na região de Marília-SP.
Adamantina	Foi formalmente caracterizada por Soares <i>et al.</i> (1980) como um conjunto de fácies compostas por bancos de arenito róseo a castanho, de espessura variando entre 2 e 20 metros, de granulação fina a muito fina, portando estratificação cruzada, intercalados com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho avermelhada a cinza castanho, maciços ou com acamamento plano-paralelo, com marcas de onda e microestratificação cruzada. Sua espessura máxima foi estimada em 182 metros, no sudoeste paulista (Mezzalana, 1974).
Araçatuba	Proposta por Suguio (1981) e redefinida por Batezelli <i>et al.</i> (1999), foi descrita como constituída por siltitos arenosos cinza esverdeados, ora maciços, ora com estratificações plano-paralelas e cruzadas, com variações laterais para siltitos argilosos ou arenitos lamíticos, intercalados a bancos de arenitos muito finos, com ocorrências de moldes romboédricos de cristais salinos e espessura média estimada em 30 metros.
Santo Anastácio	Foi formalmente caracterizada por Soares <i>et al.</i> (1980) como constituída predominantemente por arenitos de cor marrom avermelhada, de granulação muito fina a média, com grãos recobertos por película limonítica, teor de matriz inferior a 15%, elevada percentagem (até 15%) de grãos de opala e feldspato, cimentação e nódulos calcíferos localizados, com incipiente estratificação plano-paralela e cruzada tangencial de baixo ângulo (5° a 10°) e lentes descontínuas de lamito marrom avermelhado. Sua espessura foi estimada em 80 metros.
Caiuá	Foi formalmente descrita por Soares <i>et al.</i> (1980) como uma unidade caracterizada por sua notável uniformidade litológica, representada por arenitos avermelhados a arroxeados, muito finos a médios, com grãos envoltos por película limonítica, com estratificação cruzada tangencial de grande porte, teor de matriz lamítica inferior a 5%, de ocorrência restrita à região sudoeste do Estado de São Paulo. Sua espessura máxima conhecida é de 200 metros no Morro dos Três Irmãos, no noroeste do Paraná.

A Formação Marília é composta pelos membros Echaporã, Ponte Alta e Serra Galga (Barcelos e Suguio, 1987), sendo representada pelo membro Echaporã no Estado de São Paulo. Ocorre sobreposta à Formação Adamantina através de contatos interdigitados (Paula e Silva, 2003), mas podem ocorrer localmente contatos diretos com a Formação Serra Geral (Fernandes, 2004). No topo da Formação Marília ocorrem comumente zonas de maior desenvolvimento de nódulos e crostas carbonática, além de intercalações de lentes delgadas de lamitos arenosos, enquanto que na base pode ocorrer certa concentração de

clastos. (Fernandes, 2004). Segundo Barison (2003), a cimentação carbonática dos arenitos da Formação Marília ocorre preenchendo vazios intergranulares e formando franjas carbonáticas sobre os grãos e substituindo parcialmente os cristais de feldspato. A cimentação ocorre intensa na Formação Marília, inclusive na forma de calcretes.

4.2 Hidrogeologia regional

A área de estudo está inserida no Sistema Aquífero Bauru (SAB), que ocorre em quase toda a porção oeste do Estado de São Paulo e apresenta extensão regional, com área de 96.880 km² (Mancuso e Campos, 2005). É sedimentar e formado por rochas arenosas a siltosas (Iritani e Ezaki, 2012). Apresenta espessura saturada média de 75 m, e espessura máxima de até 300 m no Planalto Residual de Marília (Mancuso e Campos, 2005). Segundo Paula e Silva (2003), o SAB é restrito apenas na base pelos basaltos da Formação Serra Geral (Figura 5 e figura 6). Assim, sua área de recarga compreende toda sua extensão, o que também aumenta o risco de contaminação superficial (Iritani e Ezaki, 2012). O Sistema Aquífero Bauru ocorre regionalmente livre, mas pode apresentar-se localmente confinado ou semi-confinado (Mancuso e Campos, 2005). O sentido de escoamento das águas subterrâneas do SAB na região de Marília ocorre em direção às principais drenagens da região, como os rios Aguapeí e Peixe (Mancuso e Campos, 2005).

Segundo Mancuso e Campo (2005), na região de Marília o Sistema Aquífero Bauru apresenta, em média, capacidade específica (Q/s) entre 0 m³/h/m e 0,5 m³/h/m, e transmissividade (T) menor que $5,78 \times 10^{-4}$ m²/s. Em relação a outras regiões do SAB, os valores de capacidade específica e transmissividade no Espigão de Marília são os mais baixos, provavelmente devido à forte cimentação carbonática dos arenitos. Já a condutividade hidráulica (K) do SAB, em geral, varia de $2,31 \times 10^{-8}$ m/s a $4,2 \times 10^{-5}$ m/s.

O Modelo conceitual de fluxo (figura 6) indica que a recarga ocorre pela chuva a partir das cotas mais altas do Aquífero Marília, que tem fluxo vertical descendente, abastecendo as drenagens e recarregando o Aquífero Adamantina, que não aflora na região de estudo. Logo, o fluxo geral no Aquífero Marília é para fora da região mais alta do espigão de Marília. No Aquífero Adamantina, o fluxo geral é no sentido NW. Logo abaixo desse, ocorre o Aquitarde Araçatuba, cujo fluxo de água é lento, mas regionalmente acompanha o fluxo geral NW (figura 6).

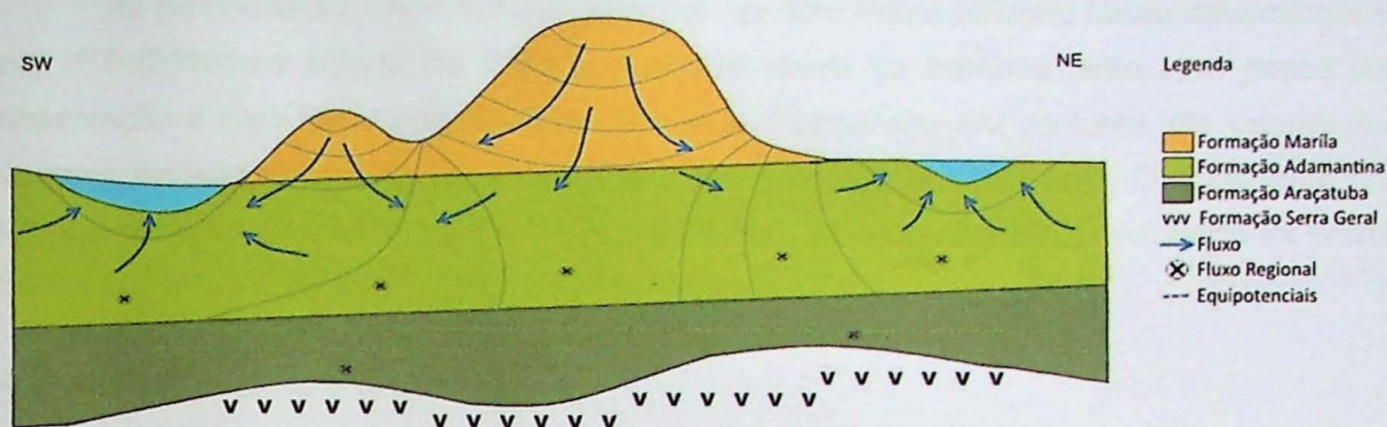


Figura 6 – Modelo conceitual de fluxo dos aquíferos da área de estudo. O tamanho das setas não indica proporcionalidade em relação à velocidade de fluxo (Fonte: Oliveira, 2014).

O Aquífero Marília estende-se por 15.000 km² e localiza-se entre os rios Tietê e Paranapanema (Paula e Silva et al., 2005). Pode apresentar propriedades de aquífero livre a semi-confinado, além de contínuo (Prandi, 2010). O tipo de confinamento desse aquífero está relacionado com a cimentação carbonática, que é intensa principalmente nas porções superiores (Paula e Silva, 2003). Em locais com cimentação forte, os sedimentos são impermeáveis e ocorrem pacotes de estrutura maciça, homogênea, arenosa fina a grossa e com argila (Prandi, 2010). O Aquífero Marília apresenta uma vazão média explotável de $2,08 \times 10^{-3}$ m³/s, condutividade hidráulica média de $1,15 \times 10^{-5}$ m/s, porosidade efetiva média de 0,1 e porosidade média de 0,13 (Maciel et al., 2012). A espessura média desse aquífero na região é de 101 m (IPT, 2016).

O Aquífero Adamantina não aflora na região de estudo (Figura 2) e ocorre abaixo do Aquífero Marília. Segundo Prandi (2010), o Adamantina é heterogêneo e anisotrópico, além de ter comportamento livre a semi-confinado. No segundo caso, seria limitado na base pelo Aquitarde Araçatuba e no topo pelo Marília fortemente cimentado, que atuaria como um aquitarde. O Aquífero Adamantina passa de um arenito fino, com cimentação intensa no topo (Tavares, 2013), para um arenito argiloso com intercalação de camadas arenosas e siltosas (Prandi, 2010). Assim, o Aquífero Adamantina apresenta características hidrodinâmicas mais favoráveis, se comparado ao Marília, já que, em geral, não possui cimentação carbonática muito intensa (Prandi, 2010). O Adamantina tem uma vazão média de 19 m³/h, condutividade hidráulica média de $1,73 \times 10^{-5}$ m/s, porosidade efetiva média de 0,12 e porosidade média de 0,15 (Maciel et al., 2012). Sua espessura média é de 90 m na região de estudo (IPT, 2016).

O Aquitarde Araçatuba não aflora na região do Espigão de Marília e ocorre abaixo do Aquífero Adamantina. É composto por sedimentos finos da Formação Araçatuba, sendo caracterizado como um limite impermeável, de barreira hidráulica negativa que isola as unidades hidroestratigráficas localizadas abaixo (Prandi, 2010).

As propriedades hidráulicas do Sistema Aquífero Bauru também foram determinadas por IPT (2016) na cidade de Gália a partir de testes de bombeamento com poços de observação e com filtros nos aquíferos Marília e Adamantina em conjunto. Os valores de transmissividade obtidos foram entre $1,06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,57 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. O coeficiente de armazenamento está entre $1,63 \times 10^{-3}$ e $3,01 \times 10^{-3}$. Já a condutividade hidráulica foi entre $5,29 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ e $7,85 \times 10^{-6} \text{ m/s}$.

4.3 Hidroquímica do bário

O bário (Ba) é um elemento da família dos metais alcalino-terrosos, de massa atômica 137,327 g/mol e estado de oxidação 2+ (Reimann e Caritat, 1998). O elemento livre é um metal de cor branco-prateada que se oxida prontamente em contato com ar úmido e reage com a água (WHO, 2001). O bário não existe na natureza em sua forma elementar e ocorre como um cátion divalente quando combinado com outros elementos químicos.

A concentração geral de bário na crosta é de 500 ppm, enquanto que nas rochas ígneas intrusivas é de 728 ppm e nos sedimentos inconsolidados é 538 ppm (Marshall e Fairbridge, 1999). Os principais minerais de bário são a barita (BaSO_4), que ocorre em veios, cavidades e depósitos residuais (Marshall e Fairbridge, 1999) e a witherita (BaCO_3), encontrada em veios geralmente associada à galena. O bário ainda pode ocorrer como elemento traço em feldspato potássico e micas, além de apatita e calcita (Reimann e Caritat, 1998). Também se associa ao estrôncio e ao cálcio no ciclo geoquímico, sendo que em rochas ígneas e metamórficas o cátion Ba^{2+} pode substituir K^+ , Sr^{2+} e Pb^{2+} e Ca^{2+} (Marshall e Fairbridge, 1999). Já nas rochas sedimentares, o bário ocorre como barita e witherita, associado com argilas e em cristais de feldspato, além de se acumular em óxidos de manganês no solo (Marshall e Fairbridge, 1999).

A barita e a witherita apresentam solubilidades muito baixas em meio aquoso, além de rápida cinética de precipitação, o que limita a concentração de bário nas águas (Bodek et al., 1988). Em sistemas simples, concentrações traço de SO_4^{2-} em solução são suficientes para a formação de barita (Jones et al., 2011). Em contrapartida, outros compostos como cloreto, hidróxido e nitrato de bário são relativamente solúveis em água, porém raramente são encontrados de forma natural, sendo a presença de tais compostos indicativa de uma possível contaminação antrópica de bário (ATSDR, 2007).

Segundo Bodek et al. (1988), em meio aquoso de $\text{pH} \leq 9,3$ e com a presença de Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- e CO_3^{2-} , o íon Ba^{2+} é a espécie de bário dominante, o que indica que a solubilidade da barita aumenta com a presença desses ânions em solução. O comportamento do bário também pode ser explicado através de um diagrama Eh-pH, no sistema Ba-S-O-H-C (Figura 7). Nota-se que em soluções com $\text{pH} < 1,2$, a barita (BaSO_4)

se dissolve e libera íons Ba^{2+} . Já em soluções com pH próximo a 11,6 a barita é substituída por withertia (BaCO_3) (Brookings, 1988).

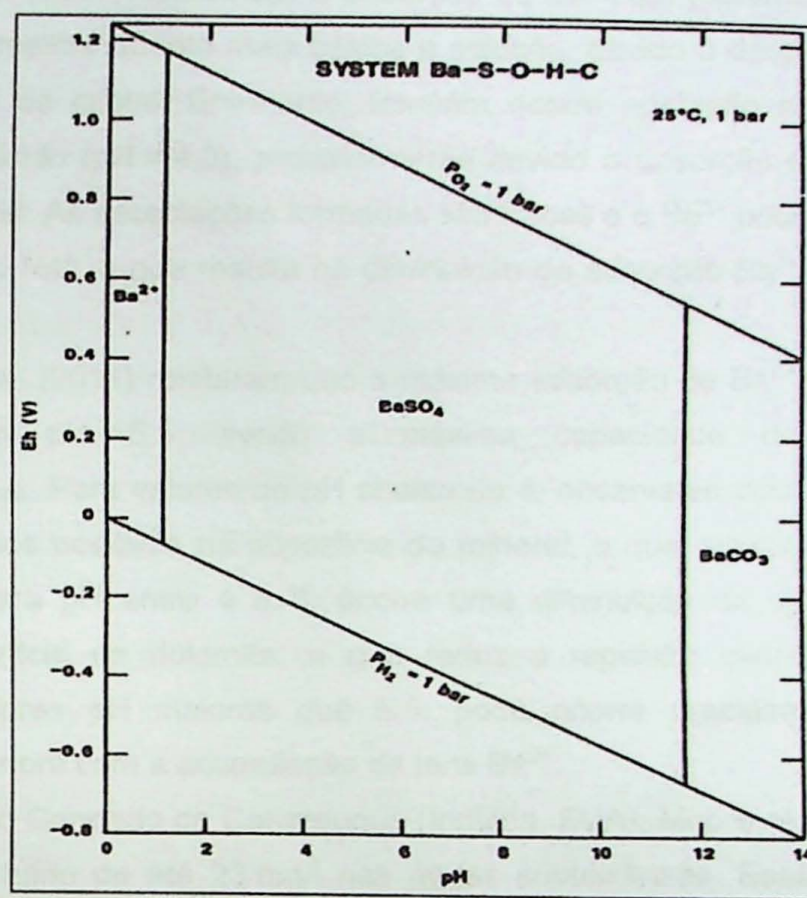


Figura 7 – Diagrama Eh-pH do sistema Ba-S-O-H-C (Fonte: Brookings, 1988).

Lagas et al. (1984) relataram que o bário em contato com o solo ou com lixo industrial pode apresentar comportamentos físico-químicos como:

1-Adsorção dos íons de Ba^{2+} por argilominerais, matéria orgânica e óxidos, o que prejudica e retarda a mobilidade do bário no solo.

2-Precipitação de BaCO_3 ou BaSO_4 , que está relacionada com as concentrações de CO_3^{2-} e SO_4^{2-} no solo, além do pH.

3- Complexação de Ba^{2+} com ácidos carboxílicos (ácidos orgânicos) do solo. Os complexos formados são relativamente móveis no solo, o que contribuiria para a mobilidade do bário nesse ambiente.

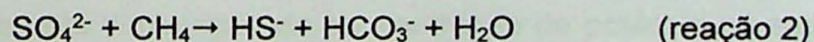
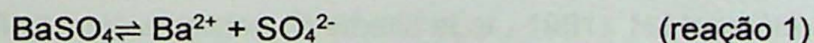
Segundo Eylem et al. (1990), a adsorção de Ba^{2+} ocorre na superfície e nas bordas dos cristais de caulinita e entre as camadas no caso da montmorilonita e da clorita-ilita. O íon Ba^{2+} ocorre adsorvido de forma reversível na caulinita e parcialmente reversível na montmorilonita e na clorita-ilita. Gokturk et al. (1995) relataram não haver mudanças significativas no comportamento da adsorção de Ba^{2+} na caulinita, bentonita e clorita-ilita para valores de pH entre 3 e 8,5. No caso da caulinita e da bentonita, em soluções com

pH $\geq$ 11, o coeficiente de distribuição de bário aumenta nesses argilominerais, possivelmente devido à formação de complexos de carbonato.

Zhang et al. (2001) estudaram a adsorção de Ba^{2+} em montmorilonita e relataram que a adsorção é melhor quanto mais básica a solução, devido à desprotonação do grupo hidroxila da borda do cristal. Entretanto, também ocorre adsorção significativa de Ba^{2+} , mesmo em meio ácido (pH = 4,3), provavelmente devido à adsorção desse íon nos sítios negativos do mineral. As associações formadas são fracas e o Ba^{2+} pode ser substituído por outros íons como o Na^+ , o que resulta na diminuição da adsorção Ba^{2+} com o aumento de NaNO_3 .

Ghaemi et al. (2011) relataram que a máxima adsorção de Ba^{2+} em dolomita ocorre em solução com pH = 5,5, sendo a máxima capacidade de sorção igual a 3,958 mg bário/g dolomita. Para valores de pH abaixo de 4, observa-se pouca adsorção, devido ao aumento de sítios positivos na superfície do mineral, o que resulta em maior repulsão eletrostática. Já para pH entre 4 e 6, ocorre uma diminuição da densidade de cargas positivas na superfície da dolomita, o que reduz a repulsão eletrostática e facilita a adsorção. Em valores pH maiores que 5,5, pode ocorrer precipitação do metal e o adsorvente se deteriora com a acumulação de íons Ba^{2+} .

Em 1982, no Condado de Cattaraugus (Indiana, EUA), Moore et al. (1984) relataram concentrações de bário de até 23 mg/l nas águas subterrâneas. Essas anomalias foram atribuídas à dissolução da barita por bactérias anaeróbicas redutoras de sulfato, que afetariam o equilíbrio químico da reação 1, liberando Ba^{2+} para a água. A redução do sulfato (reação 2) produz sulfeto (S^{2-}), que pode se assimilar a um próton (H^+) e formar hidrogenossulfeto (HS^-). O sulfeto pode eventualmente escapar da solução na forma de gás sulfídrico (H_2S), o que resultou no odor característico nos poços de amostragem relatado pelos autores.



Tavares et al. (2015) estudaram o comportamento hidroquímico do bário em testes de bombeamento de 24 horas e com vazão constante em um poço da cidade de Gália que captava água dos Aquíferos Marília, Adamantina, além do Aquitarde Araçatuba e do Aquífero Serra Geral. Foi relatada uma queda abrupta das concentrações de bário, associada a um aumento de mesma proporção de sulfato. Os autores concluíram que a queda nas concentrações de bário ocorreu devido à entrada de novas águas mais profundas, conforme o rebaixamento no poço. Tal comportamento foi associado ao aumento do sulfato em solução. Os autores associaram a calcita como fonte de bário nas águas do Aquífero Marília, através da substituição de bário na estrutura cristalina do mineral.

Portanto, para a compreensão das anomalias de bário nos aquíferos é necessária a identificação de três condições necessárias para sua ocorrência. Essas circunstâncias podem ocorrer em diferentes intensidades, o que poderia explicar as diferentes concentrações de bário nos poços estudados na região do Espigão de Marília:

- 1- Fontes potenciais de bário, considerado natural na região de estudo e relacionado a carbonatos e a argilominerais das Formações Marília e Adamantina (Tavares (2013); Crespi (2013)).
- 2- Condições para que o bário seja liberado na água, que podem ser: dissolução dos minerais portadores de bário, ou mudanças nas condições de oxirredução, que afetam a adsorção de bário na superfície dos minerais.
- 3- Condições para que o bário permaneça em solução e se concentre no aquífero, o que estaria relacionado com os fatores que limitam o bário em solução, como a reação de precipitação da barita (reação 1).

4.4 Efeitos nocivos da ingestão de águas contaminadas por bário na saúde humana

A toxicidade do bário está associada à maneira de absorção pelo corpo e a sua forma química. Em estudos de qualidade das águas subterrâneas é considerada a ingestão crônica (longos períodos e em baixas quantidades) de bário dissolvido. Os efeitos da exposição de bário em altas concentrações são melhores relatados na literatura médica, o que faz com que esses resultados sejam muitas vezes extrapolados para casos de exposição crônica (Kravchenko et al., 2014). Além disso, devido à escassez de pesquisas da toxicidade do bário em humanos, certas informações podem ser extraídas de estudos em animais, por estarem mais detalhados na literatura (Kravchenko et al., 2014).

Casos clínicos de ingestão de altas doses de bário (envenenamentos) indicam que os rins são os órgãos mais afetados (Wetherill et al., 1981). Há também relatos de fraqueza muscular causadas pela diminuição da concentração de potássio no sangue (Phelan et al., 1984).

Estudos epidemiológicos (estudos cuja finalidade é descrever a relação causa-efeito de uma doença em determinada população) são as principais fontes de conhecimento sobre os impactos da exposição crônica de bário no homem. Entretanto, tais estudos são escassos e limitados em relação aos métodos, pois foram conduzidos em grupos pequenos, pouco controlados e sem conhecimento dos valores de exposição individual e da mobilidade da população, o que torna os resultados obtidos apenas preliminares (Kravchenko et al., 2014).

Dentre os estudos epidemiológicos, Padilla et al. (2010) pesquisaram a relação do bário com a obesidade. Foi relatado que pessoas com maior índice de massa corporal (IMC)

e circunferência abdominal apresentavam maiores concentrações de bário no corpo. Os autores associaram a presença de Ba com a indução do estresse oxidativo das células, que pode induzir à produção de gorduras. Em outro caso, Blaurock et al. (2011) observaram maiores concentrações de bário, associado com outros metais, em crianças autistas.

Dentre os estudos experimentais, Wones et al. (1990) não relataram riscos cardiovasculares em voluntários submetidos à ingestão de águas com concentrações de bário de 5 mg/l e 10 mg/l, ambas ingeridas por períodos de quatro semanas. Não foram demonstrados os mesmos efeitos relatados na exposição aguda de bário (envenenamentos), tais como arritmias e irritabilidade ventricular.

O bário também interage com certos medicamentos. Exposições crônicas podem aumentar o efeito depressivo de barbitúricos no coração (Kopp et al, 1985), um medicamento já utilizado como um antidepressivo e em casos de tratamento da insônia, mas atualmente usado somente em tratamento de distúrbios convulsivos e na indução de anestesia geral. De maneira geral, a ingestão de bário não aumenta os riscos de desenvolvimento de câncer (ATSDR, 2007).

4.5 Interpretações de testes de bombeamento

4.5.1 Método de Theis (1935)

Theis (1935) publicou uma solução analítica que permitia prever o rebaixamento em função do tempo e da distância do poço bombeado. Segundo Feitosa e Filho (2000), deve-se seguir um método que consiste inicialmente na construção de uma curva de campo, em que são plotados em papel di-log os valores do rebaixamento (s) medidos a uma distância (r) do poço bombeado ao longo do tempo (t). É realizada uma superposição da curva de campo sobre a curva padrão de Theis ($\log W(u) \times \log 1/u$), com o melhor ajuste possível. É determinado um ponto de superposição qualquer entre a curva de campo e a curva de Theis, de preferência com valores inteiros. São então obtidos os valores de $W(u)$ e de $1/u$ na curva padrão, além de s e t na curva de campo, sendo $W(u)$ a função do poço e $u = r^2/4Tt$. Com isso, pode-se calcular a transmissividade (T) e o coeficiente de armazenamento (S) através das equações 1 e 2, onde Q é a vazão de bombeamento:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) \quad (1)$$

$$S = \frac{4Ttu}{r^2} \quad (2)$$

O valor de S não pode ser calculado em testes de bombeamento com poço único, ou seja, que não tenham poços de observação (rebaixamento medido no próprio poço

bombeado). A condutividade hidráulica (K) pode ser calculada a partir da transmissividade (T) e da espessura média dos aquíferos da região (b) através da equação (3):

$$K = \frac{T}{b} \quad (3)$$

4.5.2 Método de Cooper e Jacob (1946)

O método desenvolvido por Cooper e Jacob (1946) é mais simplificado se comparado à metodologia de Theis (1935), pois utiliza um gráfico de linha reta, sem a necessidade de curvas padrão. É utilizado quando a drenância envolvida não é um fator importante (Cleary, 1989). Segundo Kruseman e Ridder (1994), para se aplicar o método de Cooper e Jacob (1946), algumas suposições devem ser assumidas:

- 1- O aquífero deve ser confinado.
- 2- Aquífero homogêneo, isotrópico e com espessura uniforme.
- 3- A vazão de bombeamento deve ser constante.
- 4- A superfície do piezômetro deve estar horizontal na área de influência do teste.
- 5- Aquífero com extensão lateral infinita.
- 6- O poço deve ser totalmente penetrante na espessura saturada do aquífero e, portanto, captar água por fluxo horizontal.
- 7- O cone de rebaixamento deve encontrar-se em estado não-estacionário.

Satisfeitas as condições supracitadas, as medidas de rebaixamento (s) a uma distância (r) pelo tempo (t) correspondente são plotados em um gráfico semi-log (tempo em escala logarítmica) e se ajusta uma reta aos pontos. Estende-se a reta até interceptar o eixo do tempo, e determina-se o valor de t_0 no gráfico. É determinada a inclinação da reta e a diferença de rebaixamento (Δs) por ciclo logarítmico. Substituem-se os valores de Q e Δs na equação 4 para o cálculo da transmissividade (T). Com os valores de T, t_0 e r, o coeficiente de armazenamento (S) é calculado pela equação 5:

$$T = \frac{2,3 Q}{4\pi\Delta s} \quad (4)$$

$$S = \frac{2,25KD t_0}{r^2} \quad (5)$$

Segundo Kruseman e Ridder (1994), o método de Cooper e Jacob (1946) também pode ser aplicado em poços parcialmente penetrantes, desde que seja satisfeita a condição $t > D^2S/2T$, em que D = espessura. O coeficiente de armazenamento não pode ser calculado pelo método de Cooper e Jacob (1946) para testes de bombeamento com poço único. A equação 5 que calcula S não se aplica nesse caso, devido à necessidade de um poço de

observação. A condutividade hidráulica (K) também pode ser calculada a partir da transmissividade e da espessura média dos aquíferos da região (b) através da equação (3).

4.5.3 Método de Hantush-Walton (1956)

O método de Hantush-Walton (1956) é uma combinação do método de ponto de inflexão de Hantush (1956) e das curvas padrão desenvolvidas por Walton (1962). Esse método é utilizado para determinar as propriedades hidráulicas de aquíferos semi-confinados. Inicialmente os dados de campo devem ser plotados em um gráfico di-log, com o tempo no eixo horizontal e o rebaixamento no eixo vertical. Esses dados são sobrepostos ao gráfico com as curvas padrão de Walton (1962), buscando a coincidência das medidas de campo com umas das curvas do gráfico. Em seguida, é marcado um ponto de sobreposição e são anotados os valores das coordenadas $W(u, r/B)$ e $1/u$. O ponto de ajuste também é anotado no gráfico de campo para as coordenadas de tempo (t) e rebaixamento (s). Logo, o ponto sobreposição possui coordenadas tanto no gráfico de Walton (1962), quanto no gráfico de campo. A transmissividade é calculada pela equação de Hantush (1956) (6):

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B) \quad (6)$$

O coeficiente de armazenamento do aquífero (S) não pode ser calculado pelo método de Hantush-Walton (1956) em testes de bombeamento com poços únicos, pois seria necessária a distância entre o poço bombeado e o de observação. Por isso, nesse caso não foram utilizados os valores de $1/u$ e tempo (s).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Compilação de dados

A base de dados deste trabalho de Formatura foi obtida a partir do banco de dados disponibilizado pelo IPT, composto de planilhas de campo e resultados de análises químicas. Para compreender as anomalias de bário, foram selecionados poços, com base em trabalhos anteriores, com e sem ocorrência de bário na região do Espigão de Marília. As informações foram obtidas por técnicos do IPT a partir da terceira campanha de amostragem de águas subterrâneas do projeto intitulado "Estudos de Restrições em Aquíferos no Alto Aguapeí e Alto Peixe (Bauru e Guarani)", que ocorreu entre 19 e 23 de outubro de 2015. Foram coletadas amostras e obtidas informações de nível d'água de oito poços a partir de testes de bombeamento com duração de 24 horas cada. A etapa de campo

não foi executada neste trabalho, somente a compilação, o tratamento e a interpretação dos dados. Os resultados foram inicialmente organizados e tabelados no programa *Excel*.

A amostragem de água foi realizada, em intervalos de tempo preestabelecidos, nos períodos de 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 3 horas, 6 horas, 9 horas, 12 horas, 18 horas e 24 horas dos testes de bombeamento. Apenas o poço IPT 245 foi amostrado até 24 horas (ANEXO I). Os poços IPT 44, IPT 49, IPT 63, IPT 72 e IPT 261 foram amostrados até 22 horas (ANEXO I). Já o IPT 130 contém amostras até o tempo de 17,5 horas (ANEXO I) e o IPT 347 até 20 horas.

Dados de nível dinâmico (ND) *versus* tempo foram obtidos ao longo dos testes de bombeamento (ANEXO II). Entretanto, esses dados não foram coletados durante o bombeamento dos poços IPT 130 e IPT 245, devido a problemas de tubo guia ausente e tubo guia falso, respectivamente. Já o poço IPT 49 apresentou tubo guia curto e o nível d'água só foi determinado nos primeiros minutos de teste. Os dados de rebaixamento foram utilizados para determinar as propriedades hidráulicas dos aquíferos, como transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K), exceto para os poços IPT 49, IPT 130 e IPT 245, que apresentaram dados insuficientes. É importante ressaltar que há mais informações de nível d'água do que quantidade de amostras nos testes de bombeamento, o que é totalmente normal e não comprometeu o tratamento de dados.

5.2 Hidroquímica

O programa *AquaChem 5.1* foi utilizado para avaliar o comportamento das amostras ao longo do tempo em cada poço e com ênfase no comportamento do bário no decorrer dos testes de bombeamento. Os erros analíticos globais das análises de cátions e ânions foram determinados por meio da checagem dos balanços iônicos. As amostras utilizadas no tratamento dos dados se encontraram dentro do limite de erro de $\pm 10\%$, que é considerado bom para as águas com as condutividades elétricas obtidas (Custodio e Llamas, 1976).

Para a interpretação das análises químicas, foram realizadas estatísticas descritivas, como média aritmética ($\bar{x}$), coeficiente de variação (CV), máximo (máx.) e mínimo (mín.). O coeficiente de variação é útil para comparar a variabilidade (dispersão) de dois conjuntos de dados distintos. Com isso, é possível comparar a variação de íons que ocorrem com concentrações de ordens de grandeza diferentes e determinar se existe alguma relação entre eles. O CV é uma medida adimensional, dada em porcentagem e que normaliza o desvio padrão das amostras em relação à média. Um coeficiente de variação menor ou igual a 25 % pode ser considerado baixo para as interpretações hidroquímicas. Já um CV maior que 25 % pode ser classificado como alto.

Foram elaborados diagramas de Piper para a classificação dos tipos hidroquímicos das amostras. Porém, nos diagramas utilizados neste trabalho, foi adicionado o ânion nitrato junto ao cloreto, já que esses são contaminantes antrópicos comuns. Matrizes de correlação de *Pearson* foram calculadas para determinar o grau de correlação entre as variáveis analisadas e a direção dessa correlação, se positiva ou negativa. Foram selecionados os coeficientes de correlação de *Pearson* (r) que se encontraram dentro de um nível de confiança de 95%, que foi determinado com o auxílio de planilhas no *Excel*. Os gráficos de concentrações químicas ao longo do tempo auxiliaram na determinação dos comportamentos dos íons durante o bombeamento.

Também foram calculados índices de saturação (IS) pelo *PHREEQC* do *AquaChem 5.1*. Os índices de saturação foram determinados em todas as amostras de cada poço e para os minerais mais relevantes: calcita, dolomita e barita. Cálculos de IS são úteis para prever a existência de minerais reativos no aquífero. Segundo Deutsch (1997), devido às incertezas desses cálculos, uma faixa de valores de IS próxima de zero deve ser considerada como a zona de equilíbrio para o mineral. Foi definido um intervalo de $\pm 5\%$ do Log K do mineral (K = constante do produto de solubilidade do mineral a 25 °C). Minerais com IS dentro desse intervalo foram considerados em equilíbrio com a água. Valores de IS menores que essa faixa indicam que a solução encontra-se subsaturada em relação ao mineral. Para valores maiores, a solução encontra-se supersaturada em relação ao mineral.

Se calcita e barita são comumente encontradas em equilíbrio com a água, pode-se assumir que são reativas no aquífero e que controlam as concentrações da solução (Deutsch, 1997). Nesse caso formariam uma porcentagem muito pequena da rocha. Quando o índice de saturação for negativo, o mineral pode não existir no aquífero, ou está se dissolvendo, caso ocorra. Porém isso é improvável para minerais muito reativos como a calcita, que comumente ocorre dissolvida e em equilíbrio com a solução. Logo, é improvável a existência desse mineral no aquífero caso possua índice de saturação negativo (Deutsch, 1997). Quando IS for positivo, o mineral precipita. Entretanto, supersaturação não equivale automaticamente à precipitação, pois se a cinética da reação for lenta, a solução pode permanecer supersaturada em relação à fase mineral por longos períodos (Merkel e Friedrich, 2012).

5.3 Interpretação dos testes de bombeamento

A interpretação dos rebaixamentos obtidos durante os testes de bombeamento permite determinar as propriedades hidráulicas dos aquíferos, como a transmissividade (T), o coeficiente de armazenamento (S) e a condutividade hidráulica (K). Entretanto, neste trabalho os rebaixamentos foram obtidos nos próprios poços bombeados (poços únicos) e os valores de S não puderam ser determinados, devido às restrições dos próprios métodos

de interpretação. Além disso, os testes nos poços IPT 49, IPT 130 e IPT 245, apresentaram problemas como: tubo guia curto, tubo guia ausente e tubo guia falso, respectivamente. Assim, esses poços foram desconsiderados das interpretações dos dados de rebaixamento e só foram utilizados os dados dos poços IPT 44, IPT 63, IPT 72, IPT 261 e IPT 347.

Inicialmente, foram avaliadas as características de cada poço, como o posicionamento dos filtros, a descrição litológica e os níveis estáticos e dinâmicos em relação aos aquíferos Marília e Adamantina. Os métodos de interpretação foram escolhidos de acordo com a geologia e o tipo de aquífero de cada poço. A metodologia de Theis (1935) foi selecionada por ser a mais clássica e largamente utilizada na literatura, apesar de ser mais indicada para aquíferos confinados. O método de Cooper e Jacob (1946) foi escolhido por se tratar de uma simplificação do método de Theis (1935), além de ser o mais indicado para testes de bombeamento de poços únicos (Halford et al., 2006). A metodologia de Hantush-Walton (1956) é utilizada para aquíferos semi-confinados e foi escolhida, pois os aquíferos da região podem apresentar tal comportamento. Já o método de Neuman (1974) foi considerado em etapas anteriores deste trabalho, pois os aquíferos da área também podem ter comportamento livre. Porém, os dados de rebaixamento não se ajustaram corretamente às curvas padrão de Neuman (1974) e, portanto, esse método foi desconsiderado.

Os dados de rebaixamento foram interpretados com auxílio do programa *Grapher* 8.2, onde se utilizaram as curvas padrão das metodologias selecionadas. Nesse programa, os dados foram sobrepostos às curvas padrão de cada método, exceto na metodologia de Cooper e Jacob (1946), que não usa curvas. Assim, foram determinadas as variáveis das respectivas equações que calculam a transmissividade (T).

Para os cálculos de condutividade hidráulica (K), foram determinadas as espessuras médias dos aquíferos da região. As espessuras médias dos aquíferos Marília e Adamantina são de 101 m e 90 m, respectivamente (IPT, 2016). Neste Trabalho de Formatura preferiu-se trabalhar com os seguintes valores: para poços com filtros somente no Aquífero Marília, ou somente no Aquífero Adamantina, foi considerada uma espessura média de 100 m, para cada aquífero. Em poços com filtros em ambos os aquíferos, foi considerada uma espessura média de 200 m. A escolha de valores arredondados não afetou os resultados obtidos.

6 RESULTADOS

6.1 Poço IPT 44

O IPT 44 localiza-se na cidade de Gália (figura 1). O perfil construtivo desse poço (figura 8-A) indicou nível estático (NE) e o nível dinâmico (ND) de 32,5 m e 49,07 m, respectivamente. Porém, os dados de campo de NE e ND obtidos (ANEXO II) foram de

29,25 m e 45,49 m, nessa ordem, para um bombeamento de 24 horas. O maior rebaixamento ocorreu até 4 horas de bombeamento, quando o nível d'água praticamente se estabilizou (figura 8-C). As propriedades hidráulicas foram calculadas para os aquíferos Marília e Adamantina em conjunto (tabela 4) e os respectivos gráficos encontram-se no ANEXO III. As características gerais do poço são:

- **Seção filtrante:** aquíferos Marília e Adamantina.
- **Rebaixamento:** Aquífero Marília.
- **Maior contribuição para a composição da água:** Aquífero Marília.
- **Tipo de aquífero:** semi-confinado.

No diagrama de Piper (figura 8-B) observa-se uma água bicarbonatada cálcica-magnésiana, com pouca variação com o bombeamento. A pequena mudança ocorreu no campo dos ânions, com aumento da porcentagem de bicarbonato em solução. Foram calculados índices de saturação para os minerais mais relevantes no aquífero (tabela 2). No IPT 44 ocorrem as maiores concentrações de bário dentre todos os poços (máx. = 2,75 mg/l; mín. = 2,07 mg/l; $\bar{x}$ = 2,53 mg/l). Houve uma pequena variação de Ba^{2+} com o bombeamento (CV = 9,67 %), mas que não apresentou correlação com o tempo ou rebaixamento ($r = 0,10$ e $r = 0,06$, respectivamente) (tabela 3; figura 8-D). Bário e cloreto apresentaram correlação negativa, com $r = -0,84$ (tabela 3). Sulfato não teve correlação com o bário (figura 8-D), enquanto que estrôncio apresentou uma leve tendência de correlação positiva com o bário (tabela 3, figura 8-D), mas fora do intervalo de confiança da matriz de correlação de *Pearson* ($r = 0,47$).

Os teores de nitrato foram, em média, de 20,2 mg/l de NO_3 e variaram pouco com o bombeamento (CV = 1,30 %). O cloreto apresentou média de 7,54 mg/l e também variou pouco (CV = 1,41 %). Os dois ânions não possuem correlação com o rebaixamento, tempo, ou entre si (tabela 3). As concentrações de bicarbonato foram, em média, de 185,77 mg/l e apresentaram certa variação com o bombeamento, com CV = 8,13 %, além de um certo aumento (figura 8-E). Bicarbonato apresentou correlação positiva com o tempo e o rebaixamento ($r = 0,87$ e $r = 0,78$, respectivamente) (tabela 3).

Foi observada uma concentração média de cálcio de 41,42 mg/l, que variou pouco com o tempo (CV = 0,43 %) (figura 8-G). As concentrações de magnésio foram as maiores dentre todos os poços, com média de 20,71 mg/l, e mudaram pouco com o bombeamento (CV = 0,48 %) (figura 8-F). Apesar das pequenas variações decrescentes, ocorreu correlação positiva entre Ca^{2+} e Mg^{2+} ($r = 0,91$) (tabela 3). Além disso, os coeficientes de variação desses cátions foram próximos, o que refletiu na semelhança de seus

comportamentos com o tempo (figuras 8-F e 8-G). Os íons de estrôncio, sulfato, sódio e potássio não apresentam grandes variações, ou correlações com o bombeamento ou tempo.

Tabela 2 – Índices de saturação (IS) obtidos a partir das amostras do poço IPT 44. Valores em azul indicam minerais em equilíbrio com a solução.

	Barita BaSO ₄	Calcita CaCO ₃	Dolomita CaMg(CO ₃) ₂
Log K	-9,94	-8,49	-17,1
5 % Log K	-0,497	-0,42	-0,85
Equilíbrio	± 0,5	± 0,42	± 0,85
Tempo (horas)	IS Barita	IS Calcita	IS Dolomita
0,25	0,12	-0,04	-0,05
0,5	0,07	-0,13	-0,24
1	-0,0014	-0,10	-0,19
3	0,12	0,02	0,06
6	0,14	0,02	0,07
9	0,09	-0,20	-0,38
12	0,06	0,01	0,04
18	0,04	0,01	0,05
22	0,13	0,04	0,10

Tabela 3 – Matriz de correlação de *Pearson* das características hidroquímicas das amostras do poço IPT 44 (Intervalo de confiança de 95 %). Em vermelho: correlação negativa. Em azul: correlação positiva.

	pH	Alcalin	Ca	Mg	K	Na	Ba	Sr	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	NO ₂	SO ₄	Cl	HPO ₄	F	Si	Tempo	ND
pH	1,00	-0,18	-0,13	0,01	-0,41	0,10	0,24	-0,24	-0,19	0,90	-0,32	0,20	0,56	-0,44	-0,29	-0,09	-0,24	0,14	0,02
Alcalin		1,00	-0,82	-0,90	0,21	-0,39	0,01	-0,43	1,00	0,27	0,36	-0,55	-0,15	0,17	-0,72	-0,60	0,20	0,87	0,78
Ca			1,00	0,91	-0,09	0,38	-0,45	0,22	-0,82	-0,51	0,01	0,44	-0,30	0,33	0,79	0,57	0,10	-0,83	-0,76
Mg				1,00	-0,38	0,39	-0,19	0,20	-0,89	-0,41	-0,08	0,45	-0,27	0,01	0,80	0,76	-0,27	-0,84	-0,95
K					1,00	0,18	-0,43	0,15	0,21	-0,30	-0,05	-0,14	0,23	0,56	-0,16	-0,36	0,61	0,02	0,55
Na						1,00	-0,19	0,02	-0,39	-0,08	0,17	0,27	-0,17	0,30	0,26	0,63	0,15	-0,51	-0,31
Ba							1,00	0,47	0,01	0,27	-0,30	0,15	0,35	-0,84	-0,11	-0,03	-0,29	0,10	0,06
Sr								1,00	-0,43	-0,40	-0,35	0,63	0,29	-0,33	0,53	0,09	0,30	-0,60	-0,11
HCO ₃									1,00	0,26	0,37	-0,55	-0,16	0,17	-0,72	-0,60	0,20	0,87	0,78
CO ₃										1,00	-0,17	-0,06	0,51	-0,38	-0,62	-0,36	-0,14	0,53	0,38
NO ₃											1,00	-0,42	-0,76	0,61	-0,23	0,32	0,27	0,21	-0,03
NO ₂												1,00	0,22	-0,30	0,74	0,23	0,16	-0,73	-0,32
SO ₄													1,00	-0,51	-0,25	-0,48	-0,03	0,08	0,37
Cl														1,00	-0,05	0,04	0,60	-0,01	0,12
HPO ₄															1,00	0,55	-0,05	-0,91	-0,72
F																1,00	-0,35	-0,66	-0,85
Si																	1,00	-0,05	0,50
Tempo																		1,00	0,72
ND																			1,00

Tabela 4 – Propriedades hidráulicas obtidas no teste de bombeamento do IPT 44. T: transmissividade; K: condutividade hidráulica.

IPT 44	T (m ² /s)	K (m/s)
Theis (1935)	1,32 x 10 ⁻⁴	6,63 x 10 ⁻⁷
Cooper e Jacob (1946)	1,52 x 10 ⁻⁴	7,62 x 10 ⁻⁷
Hantush-Walton (1956)	1,15 x 10 ⁻⁴	-

IPT 44

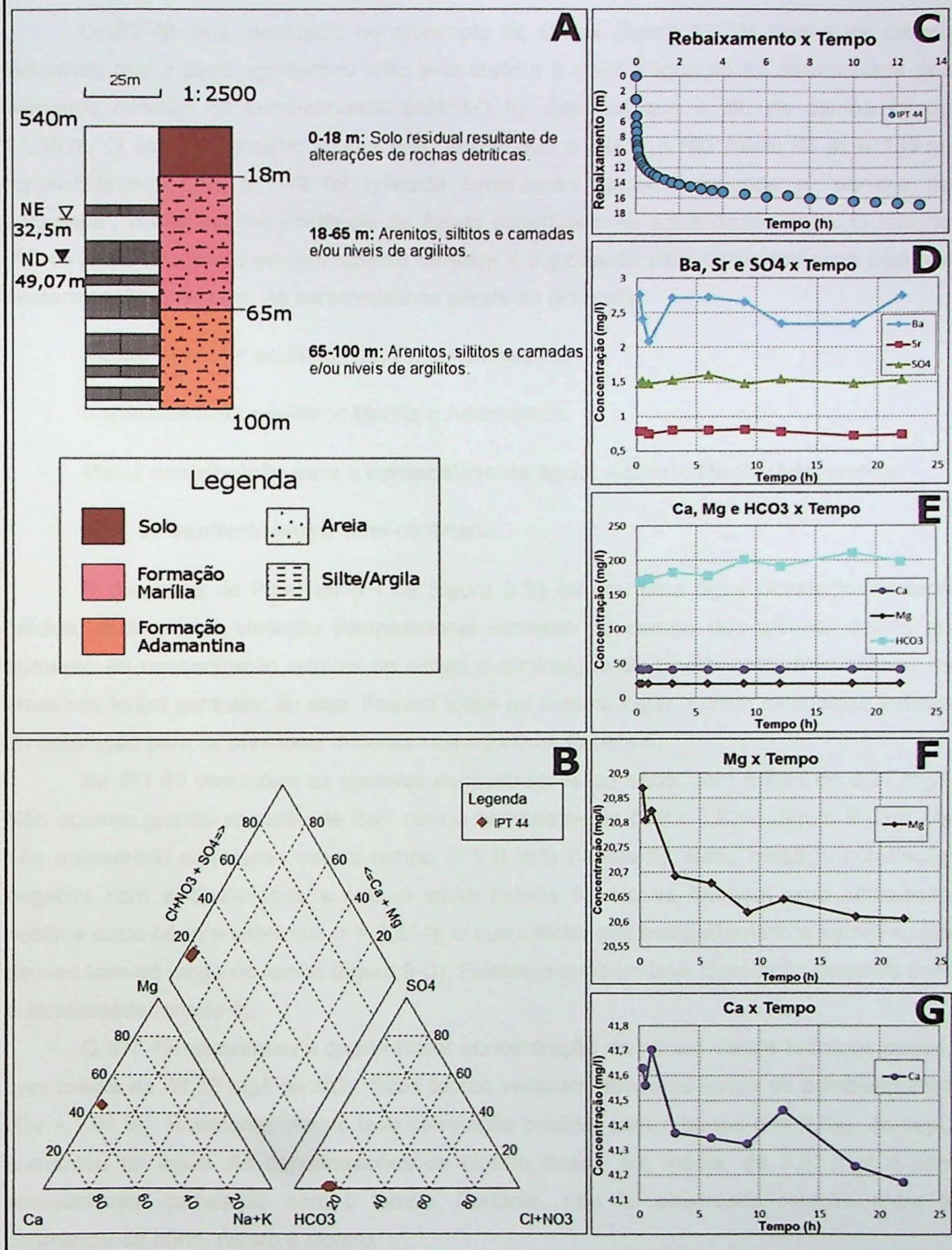


Figura 8 – Características gerais do poço IPT 44. A: perfil construtivo do IPT 44 (Fonte: Rios, 2016). B: diagrama de Piper modificado das amostras do IPT 44. C: gráfico de rebaixamento pelo tempo. D: concentrações de bário, estrôncio e sulfato em solução ao longo do tempo. E: teores de cálcio, magnésio e bicarbonato na água ao longo do tempo. F: concentração de magnésio em solução pelo tempo. G: concentração de cálcio na água ao longo do tempo.

6.2 Poço IPT 49

O IPT 49 está localizado no município de Garça (figura 1). Os dados de campo indicaram que o poço apresentou tubo guia curto e o nível d'água só foi determinado nos primeiros minutos de bombeamento (ANEXO II). Sabe-se que o NE de campo foi de 51,36 m. O perfil construtivo (figura 9-A) indica que o NE e o ND foram 47 m e 139 m, respectivamente. No IPT 49 foi relatada cimentação sanitária trincada e “barulho de cachoeira”, o que indicou influência de águas superficiais na água desse poço. O fato do IPT 49 estar localizado em um cafezal também é importante para investigar uma possível contaminação antrópica. As características gerais do poço são:

- **Seção filtrante:** aquíferos Marília e Adamantina.
- **Rebaixamento:** aquíferos Marília e Adamantina.
- **Maior contribuição para a composição da água:** Aquífero Marília/Adamantina.
- **Tipo de aquífero:** livre a semi-confinado.

O diagrama de Piper do IPT 49 (figura 9-B) indicou uma água cloretada-nitratada cálcica, com grande variação composicional somente no campo dos ânions, devido ao aumento da concentração relativa de nitrato e diminuição de bicarbonato. Nos cátions as amostras foram pontuais, ou seja, ficaram todas no mesmo lugar. Foram calculados índices de saturação para os principais minerais nos aquíferos (tabela 5)

No IPT 49 ocorreram as menores concentrações de bário, com média de 0,27 mg/l. Não ocorreu grande variação de Ba^{2+} com o bombeamento ($CV = 5,8 \%$) (figura 9-C) e ele não apresentou correlação com o tempo ($r = 0,165$) (tabela 6). Bário mostrou correlação negativa com a alcalinidade e com o sódio (tabela 6). Houve também uma correlação positiva entre bário e estrôncio ($r = 0,814$), o que refletiu nos comportamentos semelhantes desses íons ao longo do tempo (figura 9-C). Estrôncio também teve correlação negativa com a alcalinidade (tabela 6).

O IPT 49 apresentou a quarta maior concentração de nitrato dentre todos os poços, com média de 48,53 mg/l de NO_3 . Seus teores variaram pouco ao longo do bombeamento ($CV = 1,97 \%$). Entretanto, nitrato teve correlação positiva com o tempo ($r = 0,89$), ou seja, aumentou na água. As concentrações de cloreto foram, em média, de 3,91 mg/l e não apresentaram correlação com o tempo. Portanto, não foi observada relação entre a ocorrência de bário, nitrato e cloreto.

O IPT 49 apresentou as menores concentrações de magnésio, com média de 4,58 mg/l e com uma pequena variação ($CV = 3 \%$) (figura 9-E). As concentrações de cálcio também foram relativamente baixas, com média de 19,46 mg/l e pouca mudança

(CV = 3,5 %) (figura 9-D). Porém, cálcio e magnésio possuem forte correlação positiva ($r = 0,978$) (tabela 6), o que refletiu no pequeno aumento de suas concentrações ao longo do tempo (figuras 9-D e 9-E).

Tabela 5 – Índices de saturação (IS) obtidos a partir das amostras do poço IPT 49. Não ocorrem minerais em equilíbrio com a solução.

	Barita BaSO ₄	Calcita CaCO ₃	Dolomita CaMg(CO ₃) ₂
Log K	-9,94	-8,49	-17,1
5 % Log K	-0,497	-0,42	-0,85
Equilíbrio	± 0,5	± 0,42	± 0,85
Tempo (horas)	IS Barita	IS Calcita	IS Dolomita
0,25	-0,92	-2,80	-5,90
0,5	-1,02	-2,67	-5,64
1	-1,01	-2,67	-5,64
3	-0,96	-2,90	-6,09
6	-0,94	-2,87	-6,04
9	-0,92	-2,96	-6,23
12	-0,95	-2,74	-5,79
18	-0,95	-2,79	-5,88
22	-0,90	-2,47	-5,24

Tabela 6 – Matriz de correlação de *Pearson* das características hidroquímicas das amostras do poço IPT 49 (Intervalo de confiança de 95 %). Em vermelho: correlação negativa. Em azul: correlação positiva.

	pH	Alcalin	Ca	Mg	K	Na	Ba	Sr	HCO3	CO3	NO3	NO2	SO4	Cl	HPO42	F	SI	Tempo
pH	1	0,054	0,778	0,738	0,369	0,183	0,298	0,544	0,054	0,746	0,777	0,53	0,584	0,513	0,68	0,444	0,179	0,681
Alcalin		1	-0,06	-0,18	-0,24	0,724	-0,83	-0,73	1	0,688	0,089	-0,32	-0,13	0,413	-0,27	-0,2	-0,01	-0,21
Ca			1	0,978	0,397	0,197	0,217	0,531	-0,06	0,56	0,827	0,715	0,815	0,366	0,85	0,541	0,028	0,861
Mg				1	0,306	0,041	0,343	0,642	-0,18	0,477	0,782	0,657	0,804	0,235	0,823	0,465	0,031	0,83
K					1	0,287	-0,04	0,294	-0,24	0,079	0,579	0,871	0,368	0,745	0,725	0,638	0,175	0,754
Na						1	-0,71	-0,56	0,724	0,562	0,177	0,162	-0,09	0,664	0,027	0,209	0,41	0,156
Ba							1	0,814	-0,83	-0,33	-0,01	0,12	0,173	-0,46	0,211	0,061	0,092	0,165
Sr								1	-0,73	-0,05	0,453	0,535	0,46	-0,06	0,636	0,408	0,128	0,588
HCO3									1	0,688	0,088	-0,32	-0,13	0,413	-0,27	-0,2	-0,01	-0,21
CO3										1	0,664	0,17	0,405	0,614	0,347	0,142	0,068	0,381
NO3											1	0,741	0,835	0,666	0,909	0,485	-0,17	0,89
NO2												1	0,622	0,573	0,923	0,832	0,101	0,914
SO4													1	0,244	0,821	0,282	-0,49	0,74
Cl														1	0,532	0,43	0,241	0,611
HPO42															1	0,677	-0,09	0,976
F																1	0,272	0,66
SI																	1	0,067
Tempo																		1

IPT 49

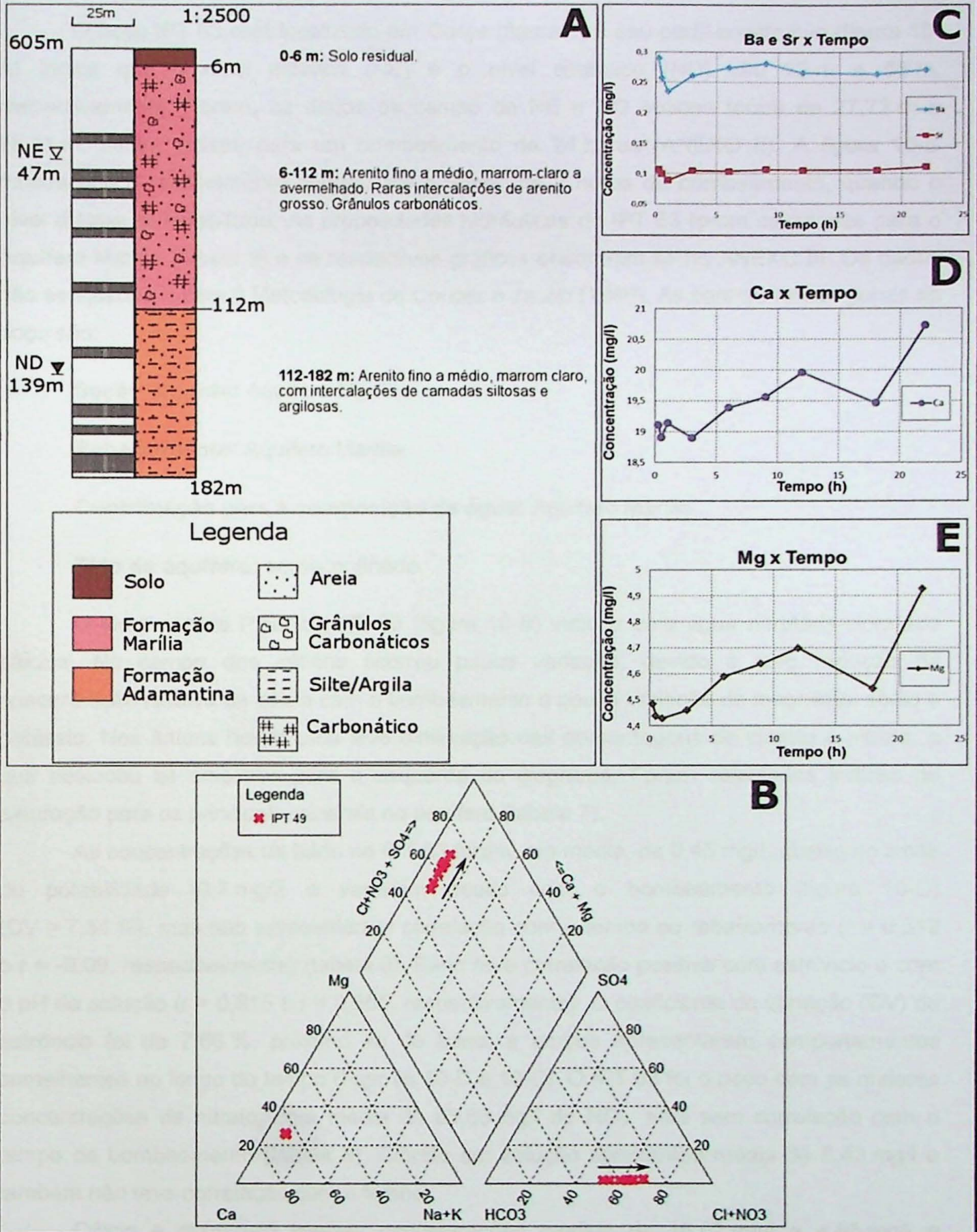


Figura 9 – Características gerais do poço IPT 49. A: perfil construtivo do IPT 49 (Fonte: Rios, 2016). B: diagrama de Piper modificado das amostras IPT 49. As setas no interior do diagrama indicam a variação química ao longo do tempo de bombeamento. C: concentrações de bário e estrôncio em solução ao longo do tempo. D: teor de cálcio em solução ao longo do tempo. E: concentração de magnésio na água ao longo do tempo.

6.3 Poço IPT 63

O poço IPT 63 está localizado em Garça (figura 1) e seu perfil construtivo (figura 10-A) indica que o nível estático (NE) e o nível dinâmico (ND) são 22 m e 55 m, respectivamente. Porém, os dados de campo de NE e ND obtidos foram de 27,72 m e 78,11 m, nessa ordem, para um bombeamento de 24 horas (ANEXO II). A figura 10-C mostra que o rebaixamento ocorreu até o tempo de 2 horas de bombeamento, quando o nível d'água se estabilizou. As propriedades hidráulicas do IPT 63 foram calculadas para o Aquífero Marília (tabela 9) e os respectivos gráficos encontram-se no ANEXO III. Os dados não se ajustaram bem à Metodologia de Cooper e Jacob (1946). As características gerais do poço são:

- **Seção filtrante:** Aquífero Marília.
- **Rebaixamento:** Aquífero Marília.
- **Contribuição para a composição da água:** Aquífero Marília.
- **Tipo de aquífero:** semi-confinado.

O diagrama de Piper do IPT 63 (figura 10-B) indicou uma água nitrada-cloretada cálcica. No campo dos cátions ocorreu pouca variação, devido à leve redução da concentração relativa de cálcio com o bombeamento e pouca variação de magnésio, sódio e potássio. Nos ânions houve uma leve diminuição das porcentagens de cloreto e nitrato, o que deslocou as amostras para a esquerda do diagrama. Foram calculados índices de saturação para os principais minerais no aquífero (tabela 7).

As concentrações de bário no IPT 63 foram, em média, de 0,45 mg/l, abaixo do limite de potabilidade (0,7 mg/l) e variaram pouco com o bombeamento (figura 10-D) ($CV = 7,34\%$), mas não apresentaram correlação com o tempo ou rebaixamento ($r = 0,312$ e $r = -0,09$, respectivamente) (tabela 8). Bário teve correlação positiva com estrôncio e com o pH da solução ($r = 0,815$ e $r = 0,665$, respectivamente). O coeficiente de variação (CV) do estrôncio foi de 7,66 %, próximo ao do bário, e ambos apresentaram comportamentos semelhantes ao longo do tempo (Figuras 10-D e 10-E). O IPT 63 foi o poço com as maiores concentrações de nitrato, com média de 63,65 mg/l de NO_3 , mas sem correlação com o tempo de bombeamento (tabela 8). Cloreto em solução apresentou média de 5,43 mg/l e também não teve correlação com o tempo.

Cálcio e magnésio tiveram concentrações médias de 16,02 mg/l e 4,95 mg/l e variaram pouco (13 % e 11 %, respectivamente). Esses íons podem estar relacionados, devido ao coeficiente de correlação positivo ($r = 0,921$) e aos comportamentos semelhantes ao longo do tempo (figura 10-F).

Tabela 7 – Índices de saturação (IS) obtidos a partir das amostras do poço IPT 63. Não ocorrem minerais em equilíbrio com a solução.

	Barita BaSO ₄	Calcita CaCO ₃	Dolomita CaMg(CO ₃) ₂
Log K	-9,94	-8,49	-17,1
5 % Log K	-0,497	-0,42	-0,85
Equilíbrio	± 0,5	± 0,42	± 0,85
Tempo (horas)	IS Barita	IS Calcita	IS Dolomita
0,25	-1,75	-3,02	-6,24
0,5	-1,74	-3,09	-6,37
1	-1,76	-3,70	-7,59
3	-1,87	-3,79	-7,74
6	-1,77	-3,65	-7,45
9	-1,77	-3,67	-7,48
12	-1,77	-3,78	-7,71
18	-1,74	-3,43	-7,01
22	-1,79	-3,36	-6,87

Tabela 8 – Matriz de correlação de Pearson das características hidroquímicas das amostras do poço IPT 63 (Intervalo de confiança de 95 %). Em vermelho: correlação negativa. Em azul: correlação positiva.

	pH	Alcalin	Ca	Mg	K	Na	Ba	Sr	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	NO ₂	SO ₄	Cl	HPO ₄	F	Si	Tempo	ND
pH	1	-0,1	0,405	0,195	-0,01	-0,1	0,665	0,867	-0,1	0,842	0,172	-0,11	0,525	0,323	-0,49	-0,14	0,649	-0,26	-0,73
Alcalin		1	0,13	0,252	0,274	-0,51	-0,03	-0,25	1	0,398	0,21	-0,52	-0,27	-0,23	-0,07	-0,15	0,253	0,404	0,07
Ca			1	0,921	0,789	0,414	0,216	0,415	0,13	0,503	0,925	0,254	0,549	0,903	-0,82	-0,01	0,484	-0,57	-0,67
Mg				1	0,96	0,49	0,266	0,313	0,252	0,334	0,995	0,113	0,381	0,846	-0,58	0,092	0,564	-0,29	-0,37
K					1	0,572	0,256	0,19	0,274	0,118	0,963	0,11	0,209	0,767	-0,37	0,109	0,528	-0,09	-0,1
Na						1	0,189	0,15	-0,51	-0,4	0,54	0,707	0,076	0,747	-0,2	-0,07	0,227	-0,19	0,068
Ba							1	0,815	-0,03	0,434	0,257	-0,13	0,156	0,269	0,038	0,069	0,837	0,312	-0,09
Sr								1	-0,25	0,612	0,313	-0,14	0,537	0,444	-0,24	0,095	0,701	-0,2	-0,48
HCO ₃									1	0,399	0,211	-0,52	-0,27	-0,23	-0,07	-0,15	0,253	0,404	0,07
CO ₃										1	0,289	-0,37	0,439	0,21	-0,58	-0,15	0,605	-0,21	-0,75
NO ₃											1	0,175	0,386	0,874	-0,58	0,073	0,534	-0,32	-0,35
NO ₂												1	0,023	0,516	-0,4	-0,29	-0,18	-0,39	-0,16
SO ₄													1	0,48	-0,44	0,033	0,091	-0,65	-0,61
Cl														1	-0,7	-0,01	0,446	-0,56	-0,52
HPO ₄															1	0,282	-0,27	0,692	0,881
F																1	-0,13	-0,11	0,072
Si																	1	0,257	-0,25
Tempo																		1	0,75
ND																			1

Tabela 9 – Propriedades hidráulicas obtidas no teste de bombeamento do IPT 63. T: transmissividade; K: condutividade hidráulica.

IPT 63	T (m ² /s)	K (m/s)
Theis (1935)	1,76 x 10 ⁻⁵	1,76 x 10 ⁻⁷
Cooper e Jacob (1946)	-	-
Hantush-Walton (1956)	1,02 x 10 ⁻⁵	-

IPT 63

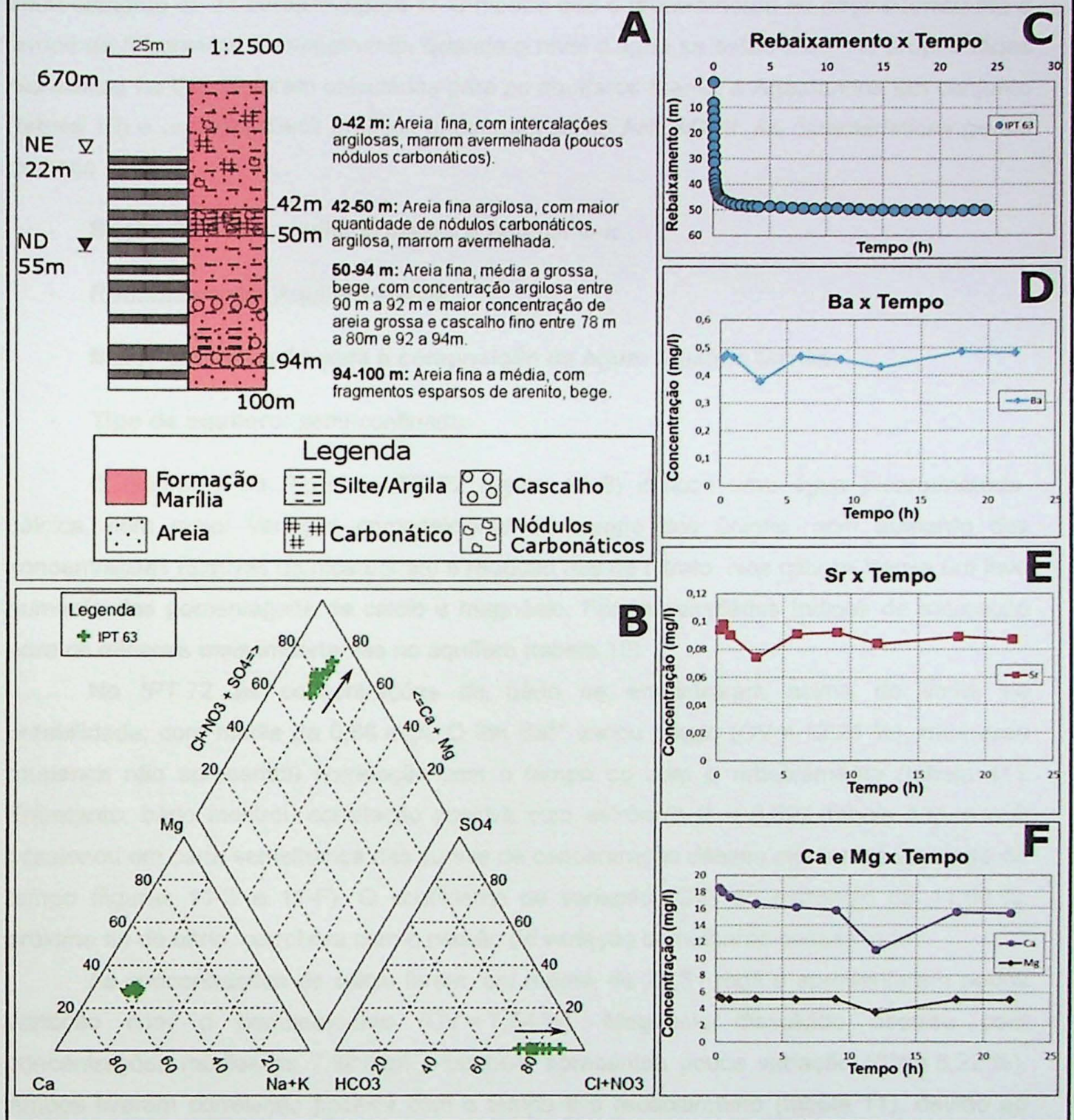


Figura 10 – Características gerais do poço IPT 63. **A**: perfil construtivo do IPT 63 (Fonte: Rios, 2016). **B**: diagrama de Piper modificado das amostras do IPT 63. As setas no interior do diagrama indicam a variação química ao longo do tempo de bombeamento. **C**: gráfico de rebaixamento pelo tempo. **D**: concentração de bário em solução ao longo do tempo. **E**: concentração de estrôncio na água ao longo do tempo. **F**: teores de cálcio e magnésio em solução ao longo do tempo.

6.4 Poço IPT 72

O poço IPT 72 localiza-se em Garça e seu perfil construtivo (figura 11-A) indicou que o nível estático e o nível dinâmico são 76 m e 122,7 m, respectivamente. Entretanto, os

dados de campo de NE e ND foram 96,67 m e 107,46 m, nessa ordem, para um bombeamento de 24 horas. A figura 11-C mostra que o rebaixamento no poço ocorreu até o tempo de 5 horas de bombeamento, quando o nível d'água se estabilizou. As propriedades hidráulicas no IPT 72 foram calculadas para os aquíferos Marília e Adamantina em conjunto (tabela 12) e os respectivos gráficos encontram-se no ANEXO III. As características gerais do poço são:

- **Seção filtrante:** aquíferos Marília e Adamantina.
- **Rebaixamento:** Aquífero Marília.
- **Maior contribuição para a composição da água:** Aquífero Marília.
- **Tipo de aquífero:** semi-confinado.

O diagrama de Piper do IPT 72 (figura 11-B) indicou uma água bicarbonatada-cálcica, com maior variação composicional no campo dos ânions, com aumento das concentrações relativas de bicarbonato e redução das de nitrato. Nos cátions houve um leve aumento das porcentagens de cálcio e magnésio. Foram calculados índices de saturação para os minerais mais importantes no aquífero (tabela 10).

No IPT 72 as concentrações de bário se encontraram acima do limite de potabilidade, com média de 0,86 mg/l. O íon Ba^{2+} variou pouco (CV = 12,21 %), mas essa mudança não apresentou correlação com o tempo ou com o rebaixamento (tabela 11). Entretanto, bário mostrou correlação positiva com estrôncio ($r = 0,89$) (tabela 11), o que ocasionou em certa semelhança nas curvas de concentração desses elementos ao longo do tempo (figuras 11-E e 11-F). O coeficiente de variação (CV) do estrôncio de 11,80 %, próximo ao do bário, corrobora com o padrão de variação semelhante desses íons.

As concentrações de cálcio foram, em média, de 20,31 mg/l e apresentaram pouca variação com o bombeamento (CV = 7,54 %). Magnésio dissolvido ocorreu com concentrações médias de 7,98 mg/l e também apresentou pouca variação (CV = 8,22 %). Ambos tiveram correlação positiva com o tempo e o rebaixamento (tabela 11), devido ao aumento de seus teores ao longo do teste. Cálcio e magnésio também apresentaram forte correlação positiva entre si (tabela 11) e correlação negativa com o potássio. As concentrações de bicarbonato foram, em média, de 88,53 mg/l e aumentaram com o bombeamento.

As concentrações de nitrato foram de 17,93 mg/l de NO_3 . Esse íon teve certa variação com o bombeamento (CV = 13,93 %), com diminuição das concentrações ao longo do tempo (figura 11-D), evidenciada pela correlação negativa com o tempo ($r = -0,75$) (tabela 11). Nitrato também apresentou forte correlação negativa com cálcio, magnésio e alcalinidade. Tal comportamento foi melhor observado no gráfico de concentrações de Ca^{2+}

e NO_3^- ao longo do tempo (figura 11-D). Os teores de cloreto foram, em média, de 1,5 mg/l, relativamente baixos comparados com a média dos demais poços (4,83 mg/l). Esse íon não apresentou correlação com outros parâmetros físico-químicos.

Tabela 10 – Índices de saturação (IS) obtidos a partir das amostras do poço IPT 72. Não ocorrem minerais em equilíbrio com a solução.

	Barita BaSO_4	Calcita CaCO_3	Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Log K	-9,94	-8,49	-17,1
5 % Log K	-0,497	-0,42	-0,85
Equilíbrio	$\pm 0,5$	$\pm 0,42$	$\pm 0,85$
Tempo (horas)	IS Barita	IS Calcita	IS Dolomita
0,25	-1,10	-2,33	-4,76
0,5	-1,16	-2,05	-4,20
1	-1,05	-1,85	-3,78
3	-1,03	-1,78	-3,62
6	-1,12	-1,90	-3,86
9	-1,17	-2,08	-4,22
12	-1,03	-1,86	-3,77
18	-1,08	-0,82	-1,70
22	-1,09	-0,58	-1,23

Tabela 11 – Matriz de correlação de *Pearson* das características hidroquímicas das amostras do poço IPT 72 (Intervalo de confiança de 95 %). Em vermelho: correlação negativa. Em azul: correlação positiva.

	pH	Alcalin	Ca	Mg	K	Na	Ba	Sr	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	NO ₂	SO ₄	Cl	HPO ₄	F	Si	Tempo	ND
pH	1	0,327	0,463	0,444	-0,27	0,638	-0,08	-0	0,32	0,96	-0,49	0,355	0,813	0,514	0,403	0,45	5E-04	0,817	0,606
Alcalin		1	0,765	0,764	-0,55	0,125	0,282	0,255	1	0,347	-0,76	0,043	0,644	-0,22	0,194	0,547	-0,6	0,66	0,792
Ca			1	0,999	-0,84	0,22	0,304	0,434	0,763	0,449	-0,98	0,421	0,661	-0,38	0,449	0,872	-0,5	0,75	0,843
Mg				1	-0,86	0,177	0,32	0,446	0,763	0,42	-0,98	0,412	0,649	-0,4	0,438	0,861	-0,5	0,734	0,841
K					1	0,055	-0,49	-0,73	-0,55	-0,17	0,85	-0,25	-0,3	0,46	-0,44	-0,64	0,632	-0,39	-0,54
Na						1	-0,12	-0,02	0,119	0,776	-0,18	0,006	0,377	0,455	0,321	0,301	-0	0,524	0,295
Ba							1	0,89	0,284	-0,18	-0,3	-0,38	-0,03	-0,57	0,325	0,004	-0,26	-0,13	0,007
Sr								1	0,256	-0,09	-0,43	-0,29	-0,11	-0,52	0,422	0,16	-0,48	-0,09	0,051
HCO ₃									1	0,34	-0,76	0,04	0,64	-0,22	0,192	0,545	-0,6	0,655	0,79
CO ₃										1	-0,46	0,359	0,796	0,584	0,273	0,434	-0,08	0,855	0,584
NO ₃											1	-0,49	-0,69	0,349	-0,43	-0,84	0,546	-0,75	-0,8
NO ₂												1	0,533	0,026	0	0,516	-0,04	0,517	0,304
SO ₄													1	0,203	0,252	0,594	-0,1	0,938	0,792
Cl														1	-0,34	-0,36	0,12	0,239	-0,1
HPO ₄															1	0,645	0,163	0,225	0,434
F																1	-0,17	0,69	0,831
Si																	1	-0,22	-0,21
Tempo																		1	0,865
ND																			1

Tabela 12 – Propriedades hidráulicas obtidas no teste de bombeamento do IPT 72. T: transmissividade; K: condutividade hidráulica.

IPT 72	T (m ² /s)	K (m/s)
Theis (1935)	$2,94 \times 10^{-5}$	$1,47 \times 10^{-7}$
Cooper e Jacob (1946)	$5,52 \times 10^{-5}$	$2,76 \times 10^{-7}$
Hantush-Walton (1956)	$1,10 \times 10^{-5}$	-

IPT 72

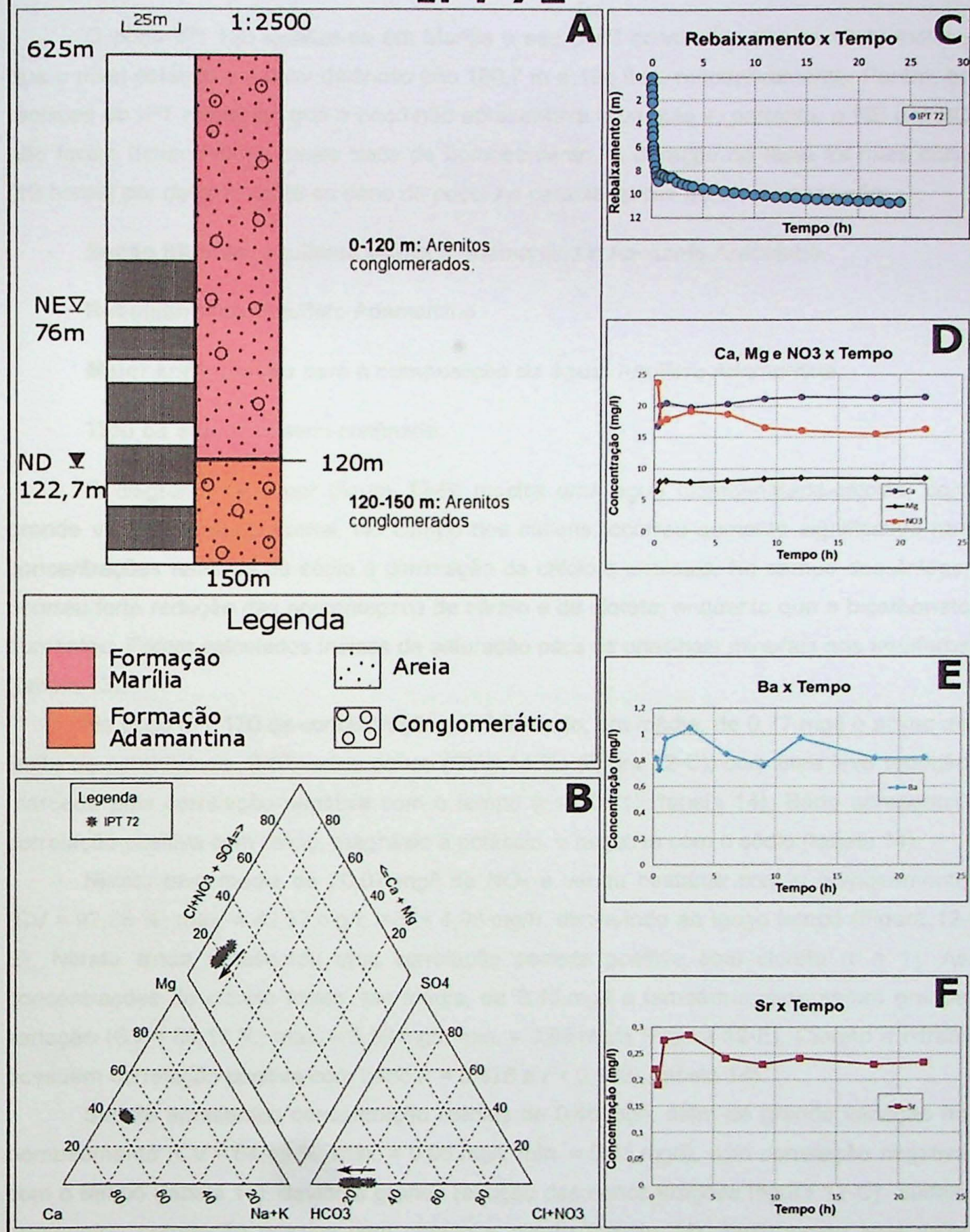


Figura 11 – Características gerais do poço IPT 72. A: perfil construtivo do IPT 72 (Fonte: Rios, 2016). B: diagrama de Piper modificado das amostras do IPT 72. As setas no interior do diagrama indicam a variação química ao longo do tempo de bombeamento. C: gráfico de rebaixamento pelo tempo. D: concentrações de cálcio, magnésio e nitrato em solução ao longo do tempo. E: teor de bário na água ao longo do tempo. F: concentração de estrôncio em solução ao longo do tempo.

6.5 Poço IPT 130

O poço IPT 130 localiza-se em Marília e seu perfil construtivo (figura 12-A) indicou que o nível estático e o nível dinâmico são 160,7 m e 198,9 m, respectivamente. Porém, os técnicos do IPT relataram que o poço não apresentava tubo guia e, portanto, o NE e o ND não foram determinados nesse teste de bombeamento. A duração do teste foi mais curta (18 horas) por determinação do dono do poço. As características gerais do poço são:

- **Seção filtrante:** aquíferos Marília e Adamantina e Aquitarde Araçatuba.
- **Rebaixamento:** Aquífero Adamantina.
- **Maior contribuição para a composição da água:** Aquífero Adamantina.
- **Tipo de aquífero:** semi-confinado.

O diagrama de Piper (figura 12-B) mostra uma água bicarbonatada-cálcica, com grande variação composicional. No campo dos cátions, ocorreu aumento significativo nas concentrações relativas de sódio e diminuição de cálcio e potássio. No campo dos ânions, ocorreu forte redução das porcentagens de nitrato e de cloreto, enquanto que o bicarbonato aumentou. Foram calculados índices de saturação para os principais minerais nos aquíferos (tabela 13).

No poço IPT 130 as concentrações de bário são, em média, de 0,77 mg/l e acima do limite de potabilidade. Ba^{2+} variou pouco (CV = 14 %) (figura 12-C), com uma leve redução marcada pela correlação negativa com o tempo ($r = -0,71$) (tabela 14). Bário apresentou correlação positiva com cálcio, magnésio e potássio, e negativa com o sódio (tabela 14).

Nitrato teve média de 20,07 mg/l de NO_3 e variou bastante com o bombeamento (CV = 92,38 %; máx. = 42,87 mg/l; mín. = 4,98 mg/l), diminuindo ao longo tempo (Figura 12-E). Nitrato ainda apresentou uma correlação perfeita positiva com cloreto ($r = 1$). As concentrações de cloreto foram, em média, de 3,16 mg/l e também apresentaram grande variação (CV = 89,17 %; máx. = 6,59 mg/l; mín. = 0,88 mg/l) (Figura 12-E). Cloreto e nitrato possuem correlação positiva com bário ($r = 0,826$ e $r = 0,833$) (tabela 14).

Sulfato apresentou concentração médias de 0,46 mg/l, além de grande variação no bombeamento (CV = 64,48 %; máx. = 0,96 mg/l; mín. = 0,23 mg/l), com correlação negativa com o tempo (tabela 14), devido à grande redução das concentrações (figura 12-C). Sulfato apresentou correlação positiva com cloreto e nitrato (tabela 14). Bicarbonato teve valor médio de 131,69 mg/l e sua concentração variou pouco com o bombeamento (CV = 11,29 %), apresentando correlação positiva com o tempo (tabela 14).

Cálcio, magnésio e potássio apresentaram correlações negativas com o tempo (tabela 14). Porém, a variação foi maior nas concentrações de cálcio (CV = 22,13 %) (figura

12-D), seguidas pelas de potássio (CV = 16,77 %) e as de magnésio (CV = 8,66 %) (figura 12-D). Esses três cátions possuem correlação positiva entre si. Na⁺ em solução aumentou com o tempo, e apresentou correlação negativa com Ca²⁺, K⁺ (figura 12-F).

Tabela 13 – Índices de saturação (IS) obtidos a partir das amostras do poço IPT 130. Valores em azul indicam minerais em equilíbrio com a solução.

	Barita BaSO ₄	Calcita CaCO ₃	Dolomita CaMg(CO ₃) ₂
Log K	-9,94	-8,49	-17,1
5 % Log K	-0,497	-0,42	-0,85
Equilíbrio	± 0,5	± 0,42	± 0,85
Tempo (horas)	IS Barita	IS Calcita	IS Dolomita
0,25	-0,62	-0,82	-1,89
0,5	-0,52	-0,68	-1,60
1	-0,91	-0,76	-1,72
3	-0,95	-0,21	-0,57
6	-1,05	0,03	-0,035
9	-1,23	-0,20	-0,51
12	-1,14	-0,34	-0,79
17,5	-1,21	-0,25	-0,60

Tabela 14 – Matriz de correlação de *Pearson* das características hidroquímicas das amostras do poço IPT 130 (Intervalo de confiança de 95 %). Em vermelho: correlação negativa. Em azul: correlação positiva.

	pH	Alcalin	Ca	Mg	K	Na	Ba	Sr	HCO3	CO3	NO3	NO2	SO4	Cl	HPO42	F	Si	Tempo
pH	1	0,763	-0,91	-0,82	-0,93	0,812	-0,7	0,754	0,754	0,952	-0,94	0,383	-0,74	-0,94	-0,46	0,756	-0,64	0,603
Alcalin		1	-0,87	-0,82	-0,86	0,839	-0,75	0,65	1	0,733	-0,85	0,362	-0,75	-0,85	-0,38	0,811	-0,47	0,891
Ca			1	0,936	0,997	-0,96	0,833	-0,73	-0,87	-0,82	0,99	-0,56	0,833	0,991	0,342	-0,91	0,748	-0,85
Mg				1	0,917	-0,91	0,925	-0,45	-0,82	-0,75	0,916	-0,69	0,609	0,916	0,394	-0,96	0,537	-0,83
K					1	-0,95	0,816	-0,77	-0,85	-0,83	0,995	-0,51	0,85	0,995	0,347	-0,89	0,77	-0,82
Na						1	-0,76	0,686	0,836	0,723	-0,92	0,683	-0,81	-0,92	-0,16	0,891	-0,74	0,904
Ba							1	-0,31	-0,75	-0,62	0,833	-0,56	0,544	0,826	0,554	-0,95	0,484	-0,71
Sr								1	0,645	0,656	-0,75	0,049	-0,92	-0,75	-0,08	0,439	-0,82	0,567
HCO3									1	0,722	-0,84	0,359	-0,75	-0,84	-0,37	0,808	-0,46	0,895
CO3										1	-0,83	0,412	-0,65	-0,83	-0,58	0,716	-0,46	0,496
NO3											1	-0,46	0,821	1	0,396	-0,88	0,746	-0,79
NO2												1	-0,27	-0,47	-0,13	0,716	-0,31	0,544
SO4													1	0,821	0,182	-0,67	0,889	-0,71
Cl														1	0,381	-0,88	0,75	-0,79
HPO42															1	-0,49	0,007	-0,07
F																1	-0,58	0,803
Si																	1	-0,57
Tempo																		1

IPT 130

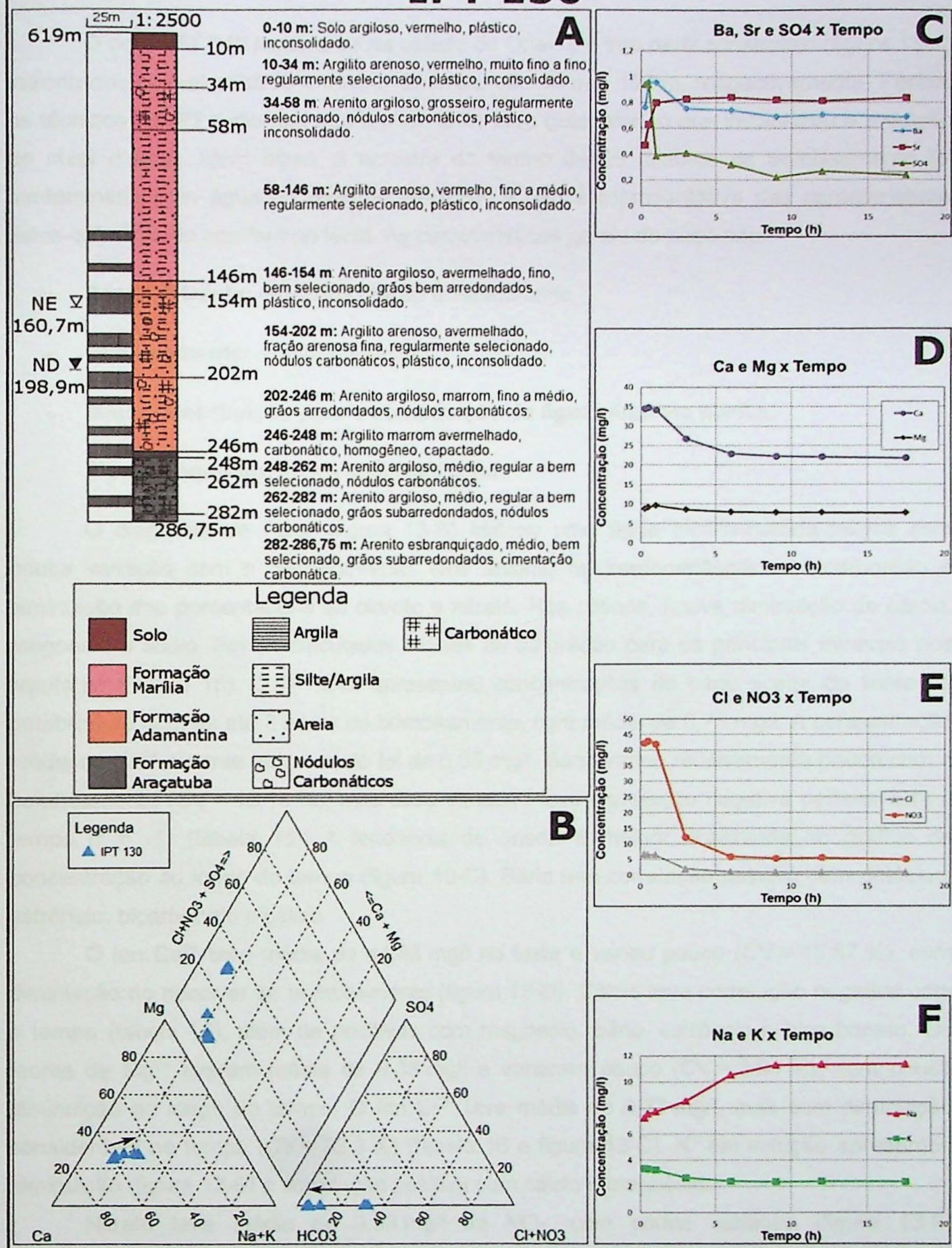


Figura 12 – Características gerais do poço IPT 130. A: perfil construtivo do IPT 130 (Fonte: Rios, 2016). B: diagrama de Piper modificado das amostras do IPT 130. As setas no interior do diagrama indicam a variação química ao longo do tempo. C: concentração de bário, estrôncio e sulfato em solução ao longo do tempo. D: teores de cálcio e magnésio na água ao longo do tempo. E: concentrações de cloreto e nitrato em solução ao longo do tempo. F: teores de sódio e potássio em solução pelo tempo.

6.6 Poço IPT 245

O poço IPT 245 localiza-se na cidade de Oriente e seu perfil construtivo (figura 13-A) indicou que o nível estático e o nível dinâmico são 53 m e 102 m, respectivamente. Porém, os técnicos do IPT relataram que o poço tinha tubo guia falso, o que inviabilizou a medição do nível d'água. Além disso, a amostra do tempo de 15 minutos de bombeamento foi contaminada com água da rede da SABESP e não é representativa das características físico-químicas do aquífero no local. As características gerais do poço são:

- **Seção filtrante:** aquíferos Marília e Adamantina.
- **Rebaixamento:** Aquífero Marília.
- **Maior contribuição para a composição da água:** Aquífero Marília.
- **Tipo de aquífero:** livre a semi-confinado.

O diagrama de Piper (figura 13-B) indicou uma água bicarbonatada-cálcica com pouca variação com o bombeamento. Nos ânions, há predominância de bicarbonato e diminuição das porcentagens de cloreto e nitrato. Nos cátions, houve diminuição de cálcio, magnésio e sódio. Foram calculados índices de saturação para os principais minerais nos aquíferos (tabela 15). O IPT 245 apresentou concentrações de bário acima do limite de potabilidade apenas até 3 horas de bombeamento, com média de 0,75 mg/l. A concentração média de Ba^{2+} durante todo o teste foi de 0,65 mg/l. Bário variou relativamente pouco com o bombeamento (CV = 18,13 %), mas essa variação teve correlação negativa perfeita com o tempo ($r = -1$) (tabela 16). A tendência de queda é melhor observada no gráfico de concentração ao longo do tempo (figura 13-C). Bário tem correlação positiva com potássio, estrôncio, bicarbonato e cálcio.

O íon Ca^{2+} teve média de 44,82 mg/l no teste e variou pouco (CV = 13,67 %), com diminuição no decorrer do bombeamento (figura 13-D). Cálcio teve correlação negativa com o tempo (tabela 16), além de positivas com magnésio, bário, estrôncio e bicarbonato. Os teores de Mg^{2+} tiveram média de 8,38 mg/l e variaram pouco (CV = 3,94 %), com pouca diminuição ao longo do tempo. O íon Sr^{2+} teve média de 0,37 mg/l, mas com diminuição considerável no tempo (CV = 23,3 %) (tabela 16 e figura 13-C). K^+ em solução apresentou diminuição (figura 13-E) e correlação positiva com cálcio e magnésio.

Nitrato teve média de 9,53 mg/l de NO_3 , com pouca variação (figura 13-F) (CV = 6,24 %). Cloreto teve média de 3,89 mg/l, com grande variação (CV = 36,45 %). A figura 13-F mostra a diminuição de cloreto com o bombeamento. Bicarbonato teve média de 180 mg/l e esse íon diminuiu pouco com o bombeamento (CV = 8,8 %), com correlação negativa com o tempo e positiva com cálcio e bário.

Tabela 15 – Índices de saturação (IS) obtidos a partir das amostras do poço IPT 245. Não ocorrem minerais em equilíbrio com a solução.

	Barita BaSO ₄	Calcita CaCO ₃	Dolomita CaMg(CO ₃) ₂
Log K	-9,94	-8,49	-17,1
5 % Log K	-0,497	-0,42	-0,85
Equilíbrio	± 0,5	± 0,42	± 0,85
Tempo (horas)	IS Barita	IS Calcita	IS Dolomita
0,25	-2,80	-0,48	-1,10
0,5	-1,12	-1,62	-3,62
1	-1,11	-1,28	-2,96
3	-1,13	-0,93	-2,28
6	-1,23	-0,88	-2,15
9	-1,10	-1,05	-2,50
12	-0,97	-0,87	-2,12
18	-1,21	-0,72	-1,84
24	-1,36	-0,65	-1,69

Tabela 16 – Matriz de correlação de *Pearson* das características hidroquímicas das amostras do poço IPT 245 (Intervalo de confiança de 95 %). Em vermelho: correlação negativa. Em azul: correlação positiva.

	pH	Alcalin	Ca	Mg	K	Na	Ba	Sr	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	NO ₂	SO ₄	Cl	HPO ₄ 2	F	Si	Tempo
pH	1	-0,17	-0,16	0,026	0,104	-0,03	-0,4	-0,3	-0,17	0,985	0,094	0,074	-0,66	-0,03	-0,11	0,055	-0,12	0,629
Alcalin		1	0,837	0,598	0,747	0,394	0,909	0,719	1	-0,01	-0,84	0,519	-0,18	0,452	0,683	0,513	0,336	-0,83
Ca			1	0,861	0,95	0,744	0,947	0,907	0,837	-0,03	-0,99	0,809	0,06	0,792	0,875	0,82	-0,13	-0,84
Mg				1	0,936	0,932	0,735	0,938	0,598	0,115	-0,8	0,993	0,107	0,949	0,922	0,991	-0,06	-0,64
K					1	0,799	0,827	0,881	0,747	0,228	-0,93	0,903	-0,01	0,84	0,866	0,905	-0,13	-0,66
Na						1	0,588	0,861	0,394	0,005	-0,69	0,957	0,083	0,997	0,93	0,967	-0,2	-0,55
Ba							1	0,883	0,909	-0,25	-0,92	0,66	0,16	0,64	0,787	0,668	0,077	-0,95
Sr								1	0,719	-0,19	-0,83	0,905	0,254	0,885	0,924	0,907	0,057	-0,86
HCO ₃									1	-0,02	-0,84	0,519	-0,18	0,452	0,683	0,512	0,336	-0,83
CO ₃										1	-0,03	0,146	-0,65	0,015	-0,04	0,126	-0,07	0,511
NO ₃											1	-0,75	0,053	-0,74	-0,84	-0,76	0,189	0,788
NO ₂												1	0,078	0,966	0,917	0,998	-0,09	-0,57
SO ₄													1	0,075	-0,07	0,088	-0,18	-0,28
Cl														1	0,947	0,976	-0,21	-0,59
HPO ₄ 2															1	0,924	-0,01	-0,74
F																1	-0,13	-0,58
Si																	1	-0,17
Tempo																		1

IPT 245

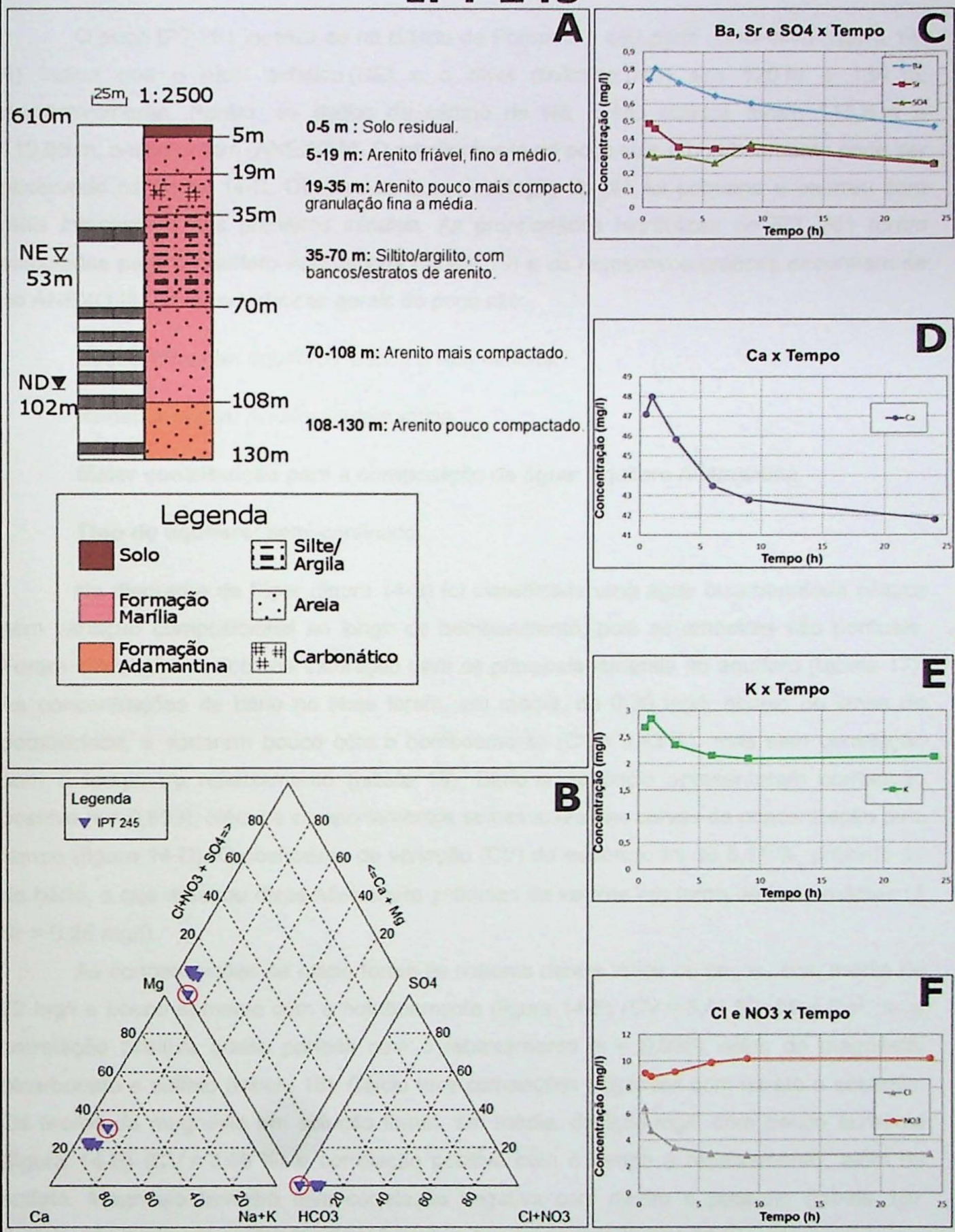


Figura 13 – Características gerais do poço IPT 245. A: perfil construtivo do IPT 245 (Rios, 2016). B: diagrama de Piper modificado das amostras do IPT 245. Os círculos em vermelho indicam a amostra de 15 minutos contaminada com água da SABESP. C: concentração de bário, estrôncio e sulfato na água ao longo do tempo. D: teores de cálcio na água ao longo do tempo. E: concentração de potássio em solução ao longo do tempo. F: concentrações de cloreto e nitrato na água ao longo do tempo.

6.7 Poço IPT 261

O poço IPT 261 localiza-se na cidade de Pompéia e seu perfil construtivo (figura 14-A) indica que o nível estático (NE) e o nível dinâmico (ND) são 120 m e 134 m, respectivamente. Porém, os dados de campo de NE e ND obtidos foram 115,8 m e 119,85 m, nessa ordem (ANEXO II). O rebaixamento do poço com o bombeamento pode ser observado na figura 14-C. Observa-se que a variação do NA foi pequena e ocorreu com mais intensidade nos primeiros minutos. As propriedades hidráulicas no IPT 261 foram calculadas para o Aquífero Adamantina (tabela 19) e os respectivos gráficos encontram-se no ANEXO III. As características gerais do poço são:

- **Seção filtrante:** aquíferos Marília e Adamantina.
- **Rebaixamento:** Aquífero Adamantina.
- **Maior contribuição para a composição da água:** Aquífero Adamantina.
- **Tipo de aquífero:** semi-confinado.

No diagrama de Piper (figura 14-B) foi classificada uma água bicarbonatada cálcica sem variação composicional ao longo do bombeamento, pois as amostras são pontuais. Foram calculados índices de saturação para os principais minerais no aquífero (tabela 17). As concentrações de bário no teste foram, em média, de 0,35 mg/l, abaixo do limite de potabilidade, e variaram pouco com o bombeamento (CV = 9,43 %), mas sem correlação com o tempo ou rebaixamento (tabela 18). Bário e estrôncio apresentaram correlação positiva ($r = 0,883$), além de comportamentos semelhantes nas curvas de concentração pelo tempo (figura 14-D). O coeficiente de variação (CV) do estrôncio foi de 9,11 %, próximo ao do bário, o que mostrou dispersões muito próximas de valores em torno de suas médias ($\bar{x}$ Sr = 0,25 mg/l).

As concentrações de cálcio foram as maiores dentre todos os poços, com média de 72 mg/l e pouco aumento com o bombeamento (figura 14-F) (CV = 5,41 %). Mas Ca^{2+} teve correlação positiva quase perfeita com o rebaixamento ($r = 0,988$), além de magnésio, bicarbonato e sulfato (tabela 18). Cálcio teve correlações negativas com nitrato e potássio. Os teores de magnésio em solução foram, em média, de 9,54 mg/l, com pouco aumento (figura 14-E) (CV = 3,68 %) e correlação positiva com o tempo e rebaixamento, além de sulfato. Magnésio também teve correlação negativa com nitrato e potássio (tabela 18). Sulfato não apresentou grande variação com o bombeamento (figura 14-E).

Os teores de NO_3^- foram, em média, de 21,49 mg/l de NO_3 . Ocorreu uma pequena diminuição de nitrato (figura 14-F), com correlação negativa com o rebaixamento. Cloreto não variou e teve média de 10,63 mg/l. Bicarbonato teve média de 237,62 mg/l, além de

correlação positiva com o rebaixamento. Além disso, possui correlação negativa com o nitrato (tabela 18). As concentrações de sulfato foram as maiores dentre todos os poços e apresentaram média de 4,97 mg/l, além de um pequeno aumento com o bombeamento (tabela 18).

Tabela 17 – Índices de saturação (IS) obtidos a partir das amostras do poço IPT 261. Valores em azul indicam minerais em equilíbrio com a solução.

	Barita BaSO ₄	Calcita CaCO ₃	Dolomita CaMg(CO ₃) ₂
Log K	-9,94	-8,49	-17,1
5 % Log K	-0,497	-0,42	-0,85
Equilíbrio	± 0,5	± 0,42	± 0,85
Tempo (horas)	IS Barita	IS Calcita	IS Dolomita
0,25	-0,27	-0,71	-1,97
0,5	-0,27	-0,82	-2,19
1	-0,24	-0,42	-1,41
3	-0,26	-0,58	-1,72
6	-0,22	-0,92	-2,41
9	-0,33	-0,66	-1,88
12	-0,32	-0,71	-1,99
18	-0,33	-0,67	-1,90
22	-0,28	-0,67	-1,90

Tabela 18 – Matriz de correlação de *Pearson* das características hidroquímicas das amostras do poço IPT 261 (Intervalo de confiança de 95 %). Em vermelho: correlação negativa. Em azul: correlação positiva.

	pH	Alcalin	Ca	Mg	K	Na	Ba	Sr	HCO3	CO3	NO3	NO2	SO4	Cl	HPO42	F	Si	Tempo	ND
pH	1	-0,62	-0,12	-0,16	0,329	-0,01	-0,05	0,215	-0,62	0,973	0,337	0,049	-0,17	-0,5	-0	-0,45	0,418	-0,2	-0,21
Alcalin		1	0,757	0,717	-0,85	0,126	-0,13	-0,21	1	-0,54	-0,86	-0,62	0,772	0,399	-0,13	0,303	0,088	0,593	0,786
Ca			1	0,959	-0,96	0,121	-0,46	-0,39	0,756	-0,08	-0,95	-0,63	0,945	0,24	-0,09	0,244	0,429	0,828	0,988
Mg				1	-0,94	0,181	-0,62	-0,48	0,716	-0,18	-0,93	-0,56	0,914	0,336	-0,02	0,479	0,467	0,903	0,963
K					1	-0,09	0,408	0,344	-0,85	0,301	0,994	0,581	-0,93	-0,26	0,022	-0,38	-0,21	-0,77	-0,96
Na						1	-0,06	0,028	0,126	-0,05	-0,17	-0,48	0,05	0,535	-0,63	0,253	0,341	0,347	0,205
Ba							1	0,883	-0,13	0,096	0,351	0,312	-0,29	-0,5	-0,45	-0,51	-0,45	-0,54	-0,43
Sr								1	-0,21	0,301	0,289	0,327	-0,17	-0,64	-0,46	-0,35	-0,27	-0,41	-0,36
HCO3									1	-0,54	-0,86	-0,62	0,771	0,4	-0,13	0,305	0,087	0,593	0,785
CO3										1	0,301	0,004	-0,11	-0,56	-0,09	-0,6	0,402	-0,23	-0,17
NO3											1	0,599	-0,93	-0,28	0,11	-0,37	-0,2	-0,78	-0,96
NO2												1	-0,44	-0,59	0,291	0,114	-0,44	-0,4	-0,6
SO4													1	0,042	-0,11	0,334	0,358	0,825	0,958
Cl														1	-0,19	0,349	0,285	0,407	0,279
HPO42															1	0,21	-0,34	-0,26	-0,16
F																1	0,029	0,571	0,337
Si																	1	0,605	0,42
Tempo																		1	0,882
ND																			1

Tabela 19 – Propriedades hidráulicas obtidas no teste de bombeamento do IPT 261. T: transmissividade; K: condutividade hidráulica.

IPT 261	T (m ² /s)	K (m/s)
Theis (1935)	2,15 x 10 ⁻⁴	2,15 x 10 ⁻⁶
Cooper e Jacob (1946)	5,98 x 10 ⁻⁴	5,98 x 10 ⁻⁶
Hantush-Walton (1956)	2,23 x 10 ⁻⁵	-

IPT 261

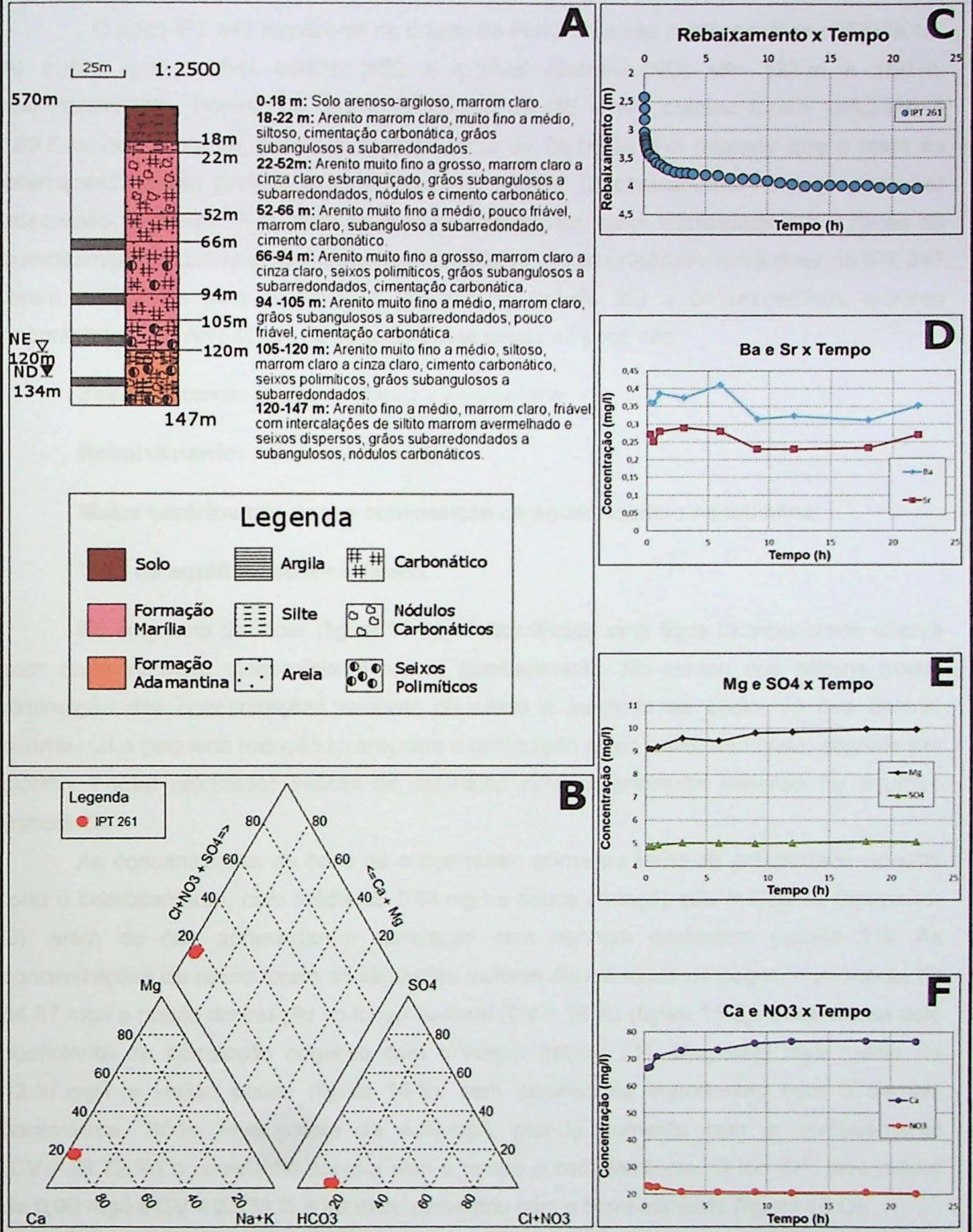


Figura 14 – Características gerais do poço IPT 261. A: perfil construtivo IPT 261 (Fonte: Rios, 2016). B: diagrama de Piper modificado das amostras do poço IPT 261. C: gráfico de rebaixamento pelo tempo. D: concentrações de bário e estrôncio na água ao longo do tempo. E: teores de magnésio e estrôncio em solução ao longo do tempo. F: concentrações de cálcio e nitrato na água ao longo do tempo.

6.8 Poço IPT 347

O poço IPT 347 localiza-se na cidade de Pompéia e seu perfil construtivo (figura 15-A) indica que o nível estático (NE) e o nível dinâmico (ND) são 122 m e 160 m, respectivamente. Porém, os dados de campo de NE e ND obtidos foram 126,23 m e 189,5 m, nessa ordem, para um bombeamento de 20 horas. Foi relatado que o teste foi interrompido nesse período por problemas na bomba. O rebaixamento no poço pode ser observado na figura 15-C. Nota-se que ele ocorre com maior intensidade até 3 horas de bombeamento, quando o nível d'água se estabilizou. As propriedades hidráulicas no IPT 347 foram calculadas para o Aquífero Adamantina (tabela 22) e os respectivos gráficos encontram-se no ANEXO III. As características gerais do poço são:

- **Seção filtrante:** aquíferos Marília e Adamantina.
- **Rebaixamento:** Aquífero Adamantina.
- **Maior contribuição para a composição da água:** Aquífero Adamantina.
- **Tipo de aquífero:** semi-confinado.

No diagrama de Piper (figura 15-B) foi classificada uma água bicarbonatada cálcica com certa variação composicional com o bombeamento. No campo dos cátions houve diminuição das concentrações relativas de cálcio e aumento de sódio. Já nos ânions, ocorreu uma pequena redução bicarbonato e diminuição ainda maior de nitrato, seguido por cloreto. Foram calculados índices de saturação para os principais minerais no aquífero (tabela 20).

As concentrações de bário se encontraram acima do limite de potabilidade durante todo o bombeamento, com média de 0,84 mg/l e pouca variação (CV = 7,36 %) (figura 15-D), além de não apresentarem correlação com nenhum parâmetro (tabela 21). As concentrações de cálcio foram as segundas maiores dentre todos os poços, com média de 54,87 mg/l e pouca diminuição ao longo do teste (CV = 16 %) (figura 15-E), evidenciada pelo coeficiente de correlação negativo com o tempo (tabela 21). Magnésio teve média de 12,97 mg/l e variou pouco (figura 15-E), sem correlações importantes com o demais parâmetros. Sódio teve média de 4,29 mg/l, grande aumento com o bombeamento (CV = 29,72 %) e correlação positiva com o tempo e com estrôncio. O íon Sr^{2+} teve média de 0,90 mg/l e CV = 23,74 % e também aumentou com o bombeamento (figura 15-D).

As concentrações de nitrato variaram bastante com o bombeamento (CV = 46,63 %), com grande diminuição (figura 15-F) e média de 6,17 mg/l. Cloreto apresentou diminuição (máx. = 3,16 mg/l; mín. = 1,68 mg/l) (figura 15-F), além de correlação negativa com o tempo

e o rebaixamento (tabela 21). Bicarbonato apresentou média de 227,64 mg/l e diminuição com o tempo. Sulfato também apresentou certa redução (figura 15-D).

Tabela 20 – Índices de saturação (IS) obtidos a partir das amostras do poço IPT 347. Valores em azul indicam minerais em equilíbrio com a solução.

	Barita BaSO ₄	Calcita CaCO ₃	Dolomita CaMg(CO ₃) ₂
Log K	-9,94	-8,49	-17,1
5 % Log K	-0,497	-0,42	-0,85
Equilíbrio	± 0,5	± 0,42	± 0,85
Tempo (horas)	IS Barita	IS Calcita	IS Dolomita
0,25	-0,56	-0,11	-0,60
0,5	-0,26	-0,23	-0,83
1	-0,56	-0,26	-0,89
3	-0,52	-0,18	-0,68
6	-0,70	-0,27	-0,81
9	-0,80	-0,47	-1,17
12	-0,81	-0,36	-0,93
18	-0,77	-0,29	-0,79
20	-0,84	-0,12	-0,48

Tabela 21 – Matriz de correlação de Pearson das características hidroquímicas das amostras do poço IPT 347 (Intervalo de confiança de 95 %). Em vermelho: correlação negativa. Em azul: correlação positiva.

	pH	Alcalin	Ca	Mg	K	Na	Ba	Sr	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	NO ₂	SO ₄	Cl	HPO ₄	F	Si	Tempo	ND
pH	1	-0,45	-0,36	-0,3	-0,37	0,339	-0,41	0,25	-0,45	0,957	-0,36	0,13	-0,34	-0,41	-0,25	0,26	0,454	0,64	0,101
Alcalin		1	0,975	0,073	0,906	-0,94	0,527	-0,9	1	-0,2	0,966	-0,11	0,755	0,96	-0,14	-0,86	-0,66	-0,87	-0,587
Ca			1	-0,01	0,935	-0,97	0,476	-0,93	0,975	-0,12	0,994	-0,13	0,802	0,981	-0,05	-0,9	-0,61	-0,9	-0,693
Mg				1	0,14	0,215	0,481	0,329	0,074	-0,37	-0,09	-0,76	-0,17	-0,02	-0,21	-0,12	-0,14	0,037	0,57
K					1	-0,88	0,494	-0,78	0,906	-0,17	0,917	-0,37	0,778	0,873	0,008	-0,9	-0,74	-0,83	-0,512
Na						1	-0,43	0,962	-0,94	0,1	-0,99	-0,07	-0,84	-0,95	0,062	0,825	0,58	0,888	0,815
Ba							1	-0,24	0,528	-0,36	0,449	-0,1	0,61	0,453	-0,27	-0,36	-0,54	-0,37	-0,239
Sr								1	-0,9	-0,01	-0,95	-0,16	-0,74	-0,93	0,032	0,787	0,448	0,848	0,812
HCO ₃									1	-0,2	0,966	-0,11	0,755	0,96	-0,14	-0,86	-0,66	-0,87	-0,587
CO ₃										1	-0,12	0,167	-0,16	-0,16	-0,26	0,056	0,294	0,45	-0,057
NO ₃											1	-0,06	0,801	0,973	-0,08	-0,87	-0,58	-0,9	-0,747
NO ₂												1	0,087	-0,08	-0,13	0,381	0,201	0,128	-0,447
SO ₄													1	0,744	0,236	-0,74	-0,76	-0,75	-0,708
Cl														1	-0,05	-0,82	-0,51	-0,9	-0,703
HPO ₄															1	-0,11	-0,19	-0,21	-0,005
F																1	0,619	0,817	0,492
Si																	1	0,525	0,162
Tempo																		1	0,679
ND																			1

Tabela 22 – Propriedades hidráulicas obtidas no teste de bombeamento do IPT 347. T: transmissividade; K = condutividade hidráulica.

IPT 347	T (m ² /s)	K (m/s)
Theis (1935)	2,86 x 10 ⁻⁵	2,86 x 10 ⁻⁷
Cooper e Jacob (1946)	1,92 x 10 ⁻⁵	1,92 x 10 ⁻⁷
Hantush-Walton (1956)	1,62 x 10 ⁻⁵	-

IPT 347

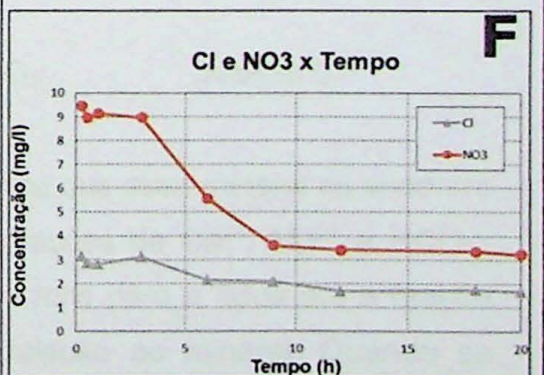
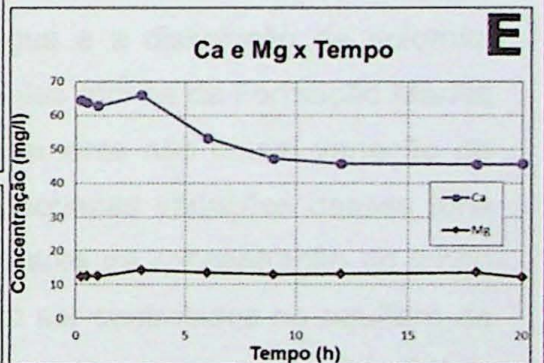
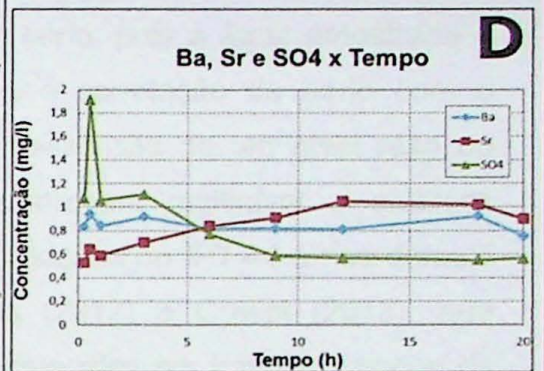
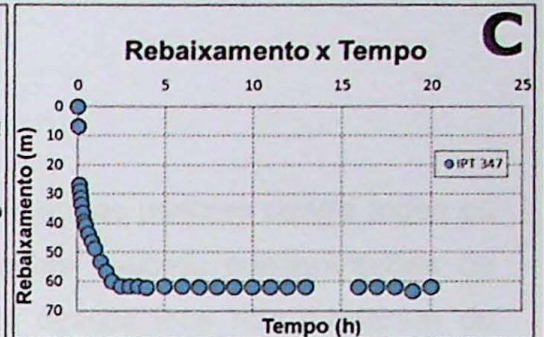
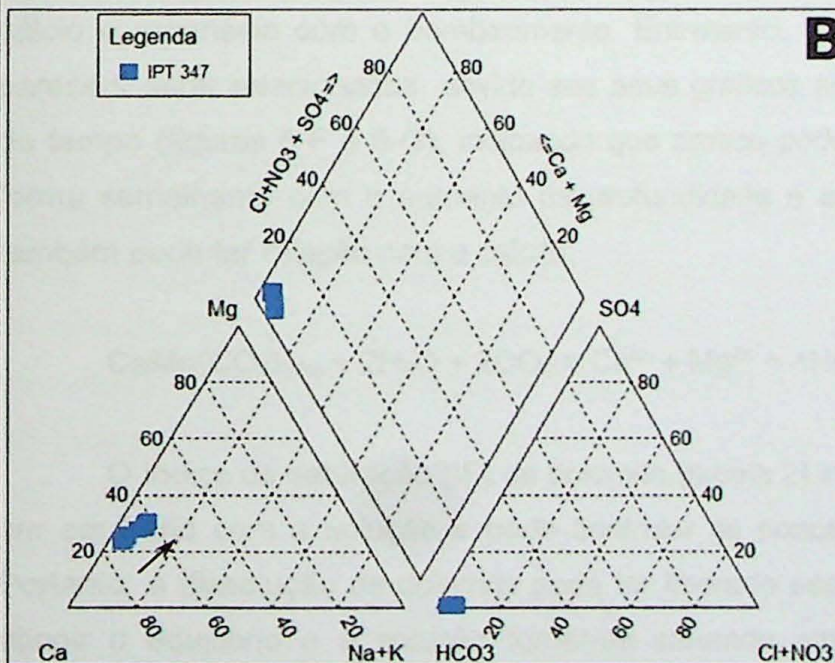
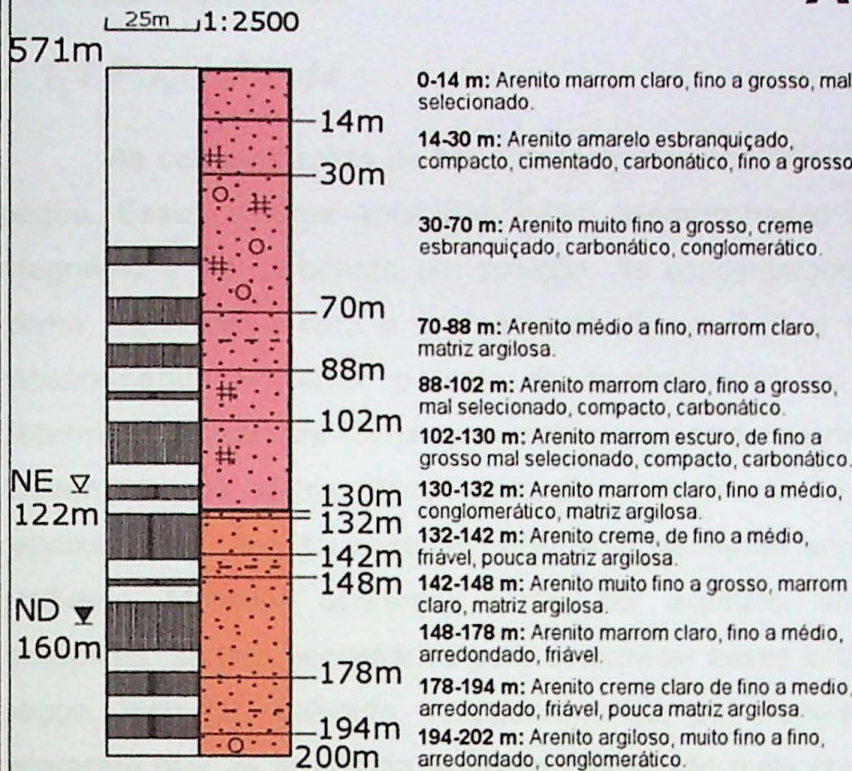


Figura 15 – Características gerais do poço IPT 347. A: perfil construtivo do IPT 347 (Fonte: Rios, 2016). B: diagrama de Piper modificado das amostras do IPT 347. A seta no interior do diagrama indica a variação química ao longo do tempo. C: gráfico de rebaixamento pelo tempo. D: concentrações de bário, estrôncio e sulfato em solução ao longo do tempo. E: teores de cálcio e magnésio na água ao longo do tempo. F: concentrações de cloreto e nitrato em solução ao longo do tempo.

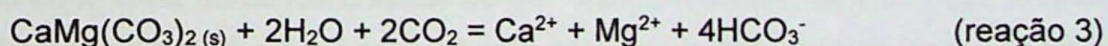
7 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 Hidroquímica

7.1.1 Poço IPT 44

As concentrações de bário encontradas no IPT 44 foram as maiores dentre todos os poços. Esses valores anômalos foram acompanhados pelas maiores concentrações de magnésio e de carbonato em solução. As concentrações desses íons não mudaram de forma significativa com a profundidade (figura 8-B) e não parecem ter relação com o rebaixamento. Portanto, o teste de bombeamento no IPT 44 não foi suficiente para determinar porção da rocha que contém as anomalias de bário, pois a água amostrada é proveniente de vários filtros. Além disso, como não houve correlação de bário com o rebaixamento, não foi possível determinar se essas anomalias são de um nível raso ou profundo. Métodos diferentes como, por exemplo, amostragem multinível e análises isotópicas, seriam necessários para determinar essas informações no IPT 44 e nos demais poços. Isso foi realizado, respectivamente, por Tavares (2013) e Crespi (2013), que relataram que as águas do Aquífero Marília são mais enriquecidas em bário em poços da cidade de Gália, onde também está localizado o IPT 44.

Porém, outras informações podem ser obtidas a partir do teste de bombeamento desse poço. A origem mais provável do magnésio na água é a dissolução de dolomita (reação 3), mineral encontrado na cimentação carbonática das rochas da Formação Marília em Gália (Tavares, 2013). A figura 8-E mostra que praticamente não houve variação de cálcio e magnésio com o bombeamento. Entretanto, as pequenas variações desses íons parecem estar relacionadas, devido aos seus gráficos similares de concentração ao longo do tempo (figuras 8-F e 8-G), indicando que ambos podem ser controlados no aquífero de forma semelhante com o aumento da profundidade e associados com a dolomita. Cálcio também pode ter relação com a calcita.



O índice de saturação (IS) da dolomita (tabela 2) indica que esse mineral se encontra em equilíbrio com a solução e pode controlar as concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^- . Portanto, a dissolução de dolomita pode ter liberado esses íons para a água até a reação atingir o equilíbrio e a solução tornar-se saturada em relação ao mineral. Quando se equilibrou, a taxa de dissolução e a taxa de precipitação da dolomita se igualaram. Vale ressaltar, entretanto, que é improvável que dolomita estequiométrica se precipite no aquífero, pois as condições necessárias para sua formação são muito específicas, como temperaturas acima de 60 °C (Boggs, 1995).

Entretanto, pode-se formar protodolomita (dolomita não-estequiométrica) nessas condições, que é reconhecida por não apresentar estrutura e composição ideal (Boggs, 1995). Em alguns casos esse mineral pode ocorrer com excesso de cálcio em sua estrutura e, em situações menos comuns, com excesso de magnésio (Boggs, 1998). A dolomita estequiométrica é a forma menos solúvel, mas alterações em sua estrutura cristalina, ou em sua composição, resultam no aumento da energia livre do cristal, tornando-o mais solúvel (Boggs, 1998). Portanto, a protodolomita precipitada nas condições do aquífero, ou até mesmo a dolomita dissolvida inicialmente, provavelmente são mais solúveis do que uma dolomita estequiométrica, o que corrobora a afirmação de que a dissolução desse mineral tenha ocasionado as grandes concentrações de magnésio na água.

Segundo Tavares (2013), um estoque importante de cátions adsorvidos, incluindo o bário, é encontrado nos Aquíferos Marília e Adamantina em Gália. Como a capacidade de adsorção de bário na dolomita é muito alta (Ghaemi et al., 2011), a dissolução desse mineral no aquífero deve ter liberado grande parte do bário adsorvido em sua superfície, aumentando as concentrações desse íon na água.

O índice de saturação da calcita também indica o equilíbrio desse mineral, que controla as concentrações de Ca^{2+} e HCO_3^- em solução. Calcita pode ocorrer na cimentação carbonática dos arenitos da Formação Marília e Adamantina e foi identificada por Tavares (2013) em poços de Gália. Por ser muito reativa, é esperado que a calcita, quando existir no aquífero, ocorra em equilíbrio com a solução (Deutsch, 1997). Como o bário ocorre na estrutura cristalina desse mineral (Tavares, 2015), sua dissolução também pode ter liberado Ba^{2+} para a água.

A barita (BaSO_4) também encontra-se em equilíbrio e, portanto, deve controlar as concentrações de bário e sulfato na solução. Como esse mineral é muito insolúvel, ele apenas precipita nas condições do aquífero, mas somente se houver quantidade de sulfato suficiente para que isso ocorra (Tavares, 2013). Segundo Deutsch (1997), a barita limita as concentrações de bário na água, quando a fonte de sulfato exceder a fonte de bário. Porém, no caso do IPT 44, as concentrações de Ba^{2+} são, em média, de 2,53 mg/l, enquanto que as de sulfato são de 1,51 mg/l. Logo, a barita não estaria limitando as concentrações de bário na água subterrânea.

O nitrato nas águas subterrâneas tem origem principalmente de quatro fontes: fertilizantes com nitrogênio, NPK, ou esterco animal em plantações; cultivo de solos; esgoto e deposição atmosférica (Silva e Brotto, 2014). Cloreto pode ser proveniente de *sprays* marinhos ou da dissolução de minerais evaporíticos, como a halita. Porém, essas condições não estão presentes na área de estudo e a origem mais provável do cloreto são as fossas sépticas. Portanto, as concentrações de cloreto e nitrato evidenciam contaminação antrópica no poço IPT 44.

Ambos os contaminantes não apresentam relação com o aumento da profundidade, permanecendo praticamente constantes, o que poderia indicar que a contaminação estaria presente também nas camadas inferiores da Formação Marília, já que o rebaixamento ocorreu até cerca de 45 m (ANEXO II, figura 8-A). Cloreto e nitrato não apresentaram correlação com o bário, o que pode confirmar a origem natural desse elemento na água.

7.1.2 Poço IPT 49

Devido ao tubo guia curto do IPT 49, as amostras não foram comparadas com o rebaixamento, apenas com o tempo de bombeamento. O perfil construtivo do poço auxiliou a indicar o nível estático e o nível dinâmico, porém não se sabe se ocorreram divergências dessas informações com a realidade, assim como nos demais poços. Os parâmetros físico-químicos do poço ao longo do tempo não foram suficientes para determinar com precisão o rebaixamento, mas a princípio ele ocorreu.

As concentrações de bário do IPT49 ocorreram abaixo do limite de potabilidade, com média de 0,27 mg/l e foram as menores dentre todos os poços. A correlação positiva do bário com estrôncio refletiu no comportamento semelhante desses parâmetros ao longo do tempo (figura 9-C). A relação entre esses elementos é esperada, pois ambos se associam no ciclo geoquímico (Marshall e Fairbridge, 1999), por apresentarem raios atômicos próximos e mesmo estado de oxidação (2+). Além disso a correlação entre bário e estrôncio já foi relatada anteriormente em estudos prévios na região (Tavares, 2013 e Crespi, 2013).

As concentrações de nitrato, com média de 48,53 mg/l, são preocupantes, pois estão acima do limite de potabilidade. O nitrato não poderia ser proveniente dos fertilizantes utilizados na plantação no local, pois não foi encontrada correlação de nitrato com fósforo, ou potássio, elementos presentes nos fertilizantes (tabela 6).

O coeficiente de correlação de *Pearson* não mostrou correlação entre bário e os contaminantes antrópicos (cloreto e nitrato), indicando que o bário pode ser de origem natural e associado com o estrôncio nos “grânulos carbonáticos” descritos no perfil do IPT 49 (figura 9-A). Além disso, a quantidade de contaminantes antrópicos na água não é compatível com as baixas concentrações de bário em solução. Caso tivessem relação com a contaminação antrópica, provavelmente as concentrações de bário seriam maiores do que as encontradas, principalmente porque os teores de sulfato em solução seriam insuficientes para precipitar bário na forma de barita e limitá-lo na água. Provavelmente o IPT 49 não possui uma fonte muito rica em bário, ou as condições para liberá-lo em solução não são favoráveis, já que as concentrações observadas nesse poço são bem próximas ao *background* de bário no Sistema Aquífero Bauru.

Os índices de saturação (tabela 4) calculados para a calcita e a dolomita foram negativos, indicando que esses minerais estão insaturados na solução. Isso significa que, ou

eles não ocorrem no aquífero, ou não estão se dissolvendo (Deutsch, 1997). Porém, como a calcita é um mineral muito reativo, é improvável que ela não dissolva e, portanto, não entre em equilíbrio com a solução (Deutsch, 1997), principalmente com o acidez da água do IPT 49, com pH com média de 5,83. Entretanto, no perfil construtivo do poço (figura 9-A), são descritos “grânulos carbonáticos” na Formação Marília, sendo improvável que não exista calcita.

Portanto, os índices de saturação (IS) calculados não são confiáveis no caso do poço IPT 49, devido à grande influência antrópica, que pode ter ocorrido devido a problemas construtivos do poço e também devido a fossas sépticas. Essa contaminação deve ter afetado a alcalinidade da água (mg/l de HCO_3^-) e provavelmente interferiu nos cálculos de IS. A alcalinidade no IPT 49 é muito menor do que a medida em poços menos contaminados por nitrato ou cloreto e, em geral, nos poços estudados neste trabalho quanto maior a contaminação antrópica, menor o valor de alcalinidade (ANEXO I).

7.1.3 Poço IPT 63

O NE obtido no IPT 63 foi 5 m mais profundo que o observado no perfil construtivo, enquanto que o ND encontrado em campo estava 23 m mais abaixo. O bário apresentou concentrações de 0,45 mg/l, em média, além de comportamento muito semelhante ao do estrôncio ao longo do bombeamento (figuras 10-D e 10-F), indicando que ambos podem ocorrer associados no aquífero. O bário não apresentou grandes variações com o bombeamento, mas as mudanças pontuais podem estar associadas ao semi-confinamento das camadas do arenito da Formação Marília. Isso pode resultar em heterogeneidades no aquífero, ou seja, ocorrem estratos isolados e com diferentes características texturais e mineralógicas, que influenciam na composição da água. O perfil construtivo do IPT 63 (figura 10-A) mostra a variação dos arenitos da Formação Marília com a profundidade.

Devido à não existência de correlação entre bário e nitrato ao longo do bombeamento, pode-se concluir que o Ba^{2+} deve ter origem natural. Caso fosse antrópico, suas concentrações deveriam ser compatíveis com o nível de contaminação, que apresenta nitrato com média de 63 mg/l de NO_3 , o maior valor dentre todos os poços.

Os índices de saturação negativos calculados para o IPT 63 (tabela 7) indicam que barita, calcita e dolomita encontram-se insaturadas em solução. Com relação à calcita e à dolomita, Isso é plausível, dado o perfil construtivo do IPT 63 (figura 10-A) que indicou que o rebaixamento ocorreu sem influências dos filtros alocados nas camadas de arenito com nódulos carbonáticos. Já o índice de saturação da barita é compatível com as concentrações de bário e sulfato em solução, que são baixas demais para a precipitação desse mineral. Entretanto, a água desse poço tem uma influência antrópica muito forte e sua geoquímica não é natural. Assim, os índices de saturação não demonstraram a presença

dos minerais no aquífero, já que a alcalinidade (mg/l de HCO_3) deve ter sido afetada pela contaminação (ANEXO I), assim como ocorreu no poço IPT 49. Logo, os resultados de índice de saturação não são confiáveis no caso do IPT 63.

As concentrações de bário no IPT 63, apesar de relativamente baixas para a região de estudo, podem ter se originado do nível argiloso dos arenitos da Formação Marília nesse local. Em poços de Gália, Tavares (2013) relatou bário adsorvido aos argilominerais, que são facilmente liberados para a água. Portanto, o bário no IPT 63 poderia encontrar-se adsorvido nesses minerais.

7.1.4 Poço IPT 72

O bário ocorreu acima do limite de potabilidade nesse poço, com média de 0,86 mg/l, além de pouca variação com o bombeamento e nenhuma correlação com o tempo ou o rebaixamento. O bário apresentou apenas correlação positiva com estrôncio, o que pode ser visto nas variações semelhantes desses elementos ao longo do tempo.

O nitrato teve diminuição com o bombeamento logo nos primeiros minutos de teste (figura 11-D), quando ocorreu o maior rebaixamento do poço (figura 11-C), o que pode ser indicativo de que a contaminação antrópica diminui em profundidade e afeta mais as camadas superiores da Formação Marília. Caso o nível d'água não tivesse se estabilizado nessa formação, o nitrato provavelmente diminuiria ainda mais. Cloreto, entretanto, não variou com o bombeamento. Como não houve correlação entre o bário e os contaminantes antrópicos, a origem natural é a mais provável.

Os índices de saturação (IS) negativos calculados no IPT 72 (tabela 10) indicam que barita, calcita e dolomita estão muito insaturadas em solução e, portanto, não devem ocorrer no aquífero, ou não estão se dissolvendo. Mas, como o perfil construtivo do poço não apresenta informações detalhadas sobre a litologia, não foi possível confirmar essa hipótese. Entretanto, pelas concentrações de bicarbonato, carbonato e magnésio a calcita e a dolomita não deveriam se encontrar insaturadas. No caso da barita isso pode se confirmar, pois as concentrações de sulfato são insuficientes para sua precipitação. As concentrações de cálcio e magnésio em solução aumentam pouco com o bombeamento, mas não apresentaram relação com o bário. O perfil construtivo do IPT 72 (figura 11-A) não esclarece sobre as litologias do poço e, portanto, não é possível identificar os minerais que devem ter liberado bário na água.

7.1.5 Poço IPT 130

Apesar da ausência de tubo guia no IPT 130, o rebaixamento pode ser comprovado pelo aumento das concentrações de sódio, do pH e da alcalinidade, assim como a

diminuição dos contaminantes antrópicos (cloreto e nitrato), o que é um comportamento esperado com o aumento da profundidade. Entretanto, não foi possível determinar exatamente a profundidade de cada amostra.

Os resultados analíticos (ANEXO I) mostraram que as três primeiras amostras (15, 30 e 60 minutos) apresentaram comportamentos diferentes das demais. O pH e a alcalinidade aumentaram após 60 minutos, já a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos apresentaram uma queda. Nos íons, a mudança após 60 minutos de bombeamento também ocorreu: cálcio, magnésio, potássio e bário apresentaram certa diminuição, enquanto que sódio, bicarbonato e carbonato aumentaram após esse tempo. Nos contaminantes antrópicos a variação foi a maior, com cloreto e nitrato apresentando queda de 70 % de suas concentrações após 60 minutos.

Essa mudança pode ter ocorrido devido ao rebaixamento no poço. Até 60 minutos, havia influência de uma camada mais enriquecida em certos íons em solução. Mas após esse período essa camada deixou de influenciar na composição química da água, pois o ND ficou abaixo desse filtro e o poço passou a captar água apenas dos filtros mais profundos. Uma mudança também foi observada nos índices de saturação (tabela 13) da calcita e da dolomita, que se encontravam insaturadas na solução até 60 minutos e em equilíbrio após esse tempo. Já a barita continuou insaturada, provavelmente devido às baixas concentrações de sulfato, que seriam insuficientes para precipitá-la.

Bário ocorreu um pouco acima do limite de potabilidade, com média de 0,77 mg/l e leve diminuição com o bombeamento. Apesar da correlação positiva com cloreto e nitrato, o coeficiente de variação (CV) desses três ânions foi muito diferente. O CV do bário foi de 14 %, enquanto que os do cloreto e nitrato foram de 89,17 % e 92,38 %, respectivamente. Nota-se que os coeficientes de variação do Cl^- e do NO_3^- são muito próximos, indicando que uma forte relação entre ambos, ou seja, devem ser provenientes da mesma fonte. Portanto, o bário não demonstrou correlação com os parâmetros indicativos de contaminação antrópica, tendo potencialmente origem natural, assim como observado em outros poços deste trabalho.

7.1.6 Poço IPT 245

Apesar de ocorrer abaixo do limite de potabilidade no poço IPT 245, bário apresentou uma diminuição importante com o bombeamento (figura 13-C). Considerando que o poço tem filtros alocados nas Formações Marília e Adamantina e que ocorreu rebaixamento, é possível concluir que os arenitos da Formação Marília devem ser mais enriquecidos em bário do que os da Formação Adamantina nesse local. Isso deve ter ocorrido, pois com o rebaixamento, a água do Aquífero Adamantina passou a ter uma maior influência na composição química geral do poço, já que os filtros alocados no Aquífero Marília devem ter secado após determinado tempo.

No IPT 245 também ocorreu diminuição de estrôncio e correlação positiva desse elemento com o bário, indicando que eles podem ocorrer associados a minerais carbonáticos (Crespi, 2013). As correlações positivas de bário e estrôncio com cálcio e magnésio corroboram essa associação, já que os dois últimos elementos estão associados aos carbonatos, como calcita e dolomita.

O gráfico de concentração de cálcio ao longo do tempo (figura 13-D) evidencia uma diminuição desse íon com o bombeamento, mostrando um possível empobrecimento de minerais carbonáticos nos arenitos com o aumento da profundidade. Através do perfil do poço (figura 13-A), observa-se uma camada mais superficial de arenito com cimentação carbonática entre 19 m e 35 m. Porém, não há nenhum filtro alocado nesse estrato, somente no início de um nível argiloso logo abaixo, entre 35 m e 70 m (figura 13-A). Logo, o filtro localizado nesse nível argiloso pode ter captado água de um possível contato gradacional entre o arenito com cimentação carbonática (acima) e o arenito argiloso (abaixo), o que explicaria a queda de cálcio com o bombeamento.

O gráfico de concentração de potássio ao longo do tempo (figura 13-E) indica uma diminuição desse íon ao longo do bombeamento. Essa queda de concentração está provavelmente associada ao nível argiloso mais superficial do poço, entre 35 m e 70 m (figura 13-A), já que o potássio pode ocorrer associado ao intemperismo de feldspatos e à fração trocável da estrutura cristalina dos argilominerais. Portanto, a correlação positiva de bário com potássio é indicativa de uma relação de bário com argilominerais, ou feldspatos desse nível argiloso na Formação Marília.

No IPT 245 ainda ocorre correlação negativa entre bário e nitrato, o que indica que o bário pode ser de origem natural, pois diminui com o pequeno aumento de nitrato em profundidade. Já o comportamento do íon NO_3^- não corresponde ao do Cl^- , que diminui com o tempo.

7.1.7 Poço IPT 261

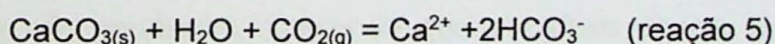
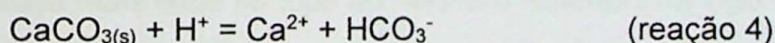
O perfil construtivo do poço (figura 14-A) indicou que a variação do nível d'água ocorreu em filtros localizados em arenitos com cimentação carbonática intensa, com nódulos carbonáticos, das Formações Marília e Adamantina. Porém, logo no primeiro minuto de teste, o filtro localizado na Formação Marília seca e o poço passa a captar água apenas do topo da formação Adamantina (ANEXO II, figura 14-A). As concentrações de bário ocorrem abaixo do limite de potabilidade, com média de 0,35 mg/l. A correlação positiva entre bário e estrôncio resultou em comportamentos muito parecidos desses íons ao longo do tempo (figura 14-D), indicando que eles podem ocorrer associados no aquífero, provavelmente a minerais carbonáticos. Entretanto, a variação de cálcio e estrôncio não teve correlação com o rebaixamento. Bário deve ter origem natural, pois não apresentou relação com nitrato, que

diminuiu ao longo do bombeamento. Além disso, Ba^{2+} variou pouco e não teve correlação com o tempo. Sua variação deve se associar ao rebaixamento que ocorreu ao longo de camadas com características texturais e mineralógicas diferentes e irregulares da Formação Adamantina.

A concentração de cálcio em solução foi a maior dentre todos os poços, com média de 72,89 mg/l e aumento em profundidade. Magnésio, entretanto, apresentou concentrações médias de 9,54 mg/l, que foram relativamente baixas comparadas com as de cálcio. Isso pode indicar uma menor influência da dolomita, caso ela exista.

Os índices de saturação (tabela 17) indicam que a calcita e a dolomita encontram-se insaturadas. Porém, a instauração da dolomita é muito maior e pode não ocorrer nas rochas. Como a calcita ocorre pouco insaturada, ela pode estar se dissolvendo ou até mesmo em equilíbrio, considerando que possa ter ocorrido algum tipo de erro nos cálculos associado à contaminação antrópica. O perfil do IPT 261 (figura 14-A) indica que nos arenitos da Formação Adamantina ocorre cimentação carbonática. Portanto, é plausível que a calcita exista no aquífero. O índice de saturação da barita indica que o mineral encontra-se em equilíbrio e pode controlar o bário em solução. Isso é possível, pois as concentrações de sulfato são altas o suficiente (4,9 mg/l em média) para ocorrer a precipitação desse mineral (Deutsch, 1997).

Portanto, o poço IPT 261 deve apresentar ao menos um mineral fonte de bário, provavelmente a calcita, que deve ter se dissolvido conforme as reações 4 e 5 (Tavares, 2013). Porém, as concentrações de Ba^{2+} seriam limitadas em solução pela reação de precipitação da barita. Muito provavelmente esse deve ser um dos motivos pelos quais o bário não ocorra em grandes concentrações nesse local.



7.1.8 Poço IPT 347

As grandes diferenças de nível estático e nível dinâmico quando comparados o perfil construtivo do poço (figura 15-A) e os dados de campo (ANEXO II), podem ser indicativas de uma superexploração do aquífero no local. As divergências ocorrem principalmente no ND de campo, que foi 28 m abaixo do observado no perfil. A presença de outros poços nas redondezas do IPT 347, que devem ter sido perfurados posteriormente e que devem explorar água sem planejamento, poderia explicar isso. Os dados de campo mostram ainda que a variação de nível d'água ocorreu apenas nos filtros do Aquífero Adamantina, pois as

seções filtrantes do Marília se encontravam secas desde o início do bombeamento (figura 15-A). Devido à forte cimentação carbonática da Formação Marília, ela pode impedir ou atrasar o fluxo da água subterrânea. Nesse caso, o Aquífero Adamantina deve se encontrar semi-confinado pelo Aquífero Marília, que se comportaria como um aquítarde.

O bombeamento ocorreu com influência apenas dos filtros localizados na Formação Adamantina. As concentrações de bário encontraram-se acima do limite de potabilidade, com média de 0,84 mg/l, sem grandes variações ao longo do tempo. O íon Ba^{2+} não apresentou correlação linear com nenhum dos parâmetros hidroquímicos considerados (tabela 21), nem mesmo com estrôncio, que apresentou certo aumento em profundidade (figura 15-D). Cloreto e nitrato diminuíram com o tempo, mas não apresentaram relação com o bário, indicando que esse pode ser de origem natural.

As concentrações de sulfato foram, em média de 0,9 mg/l, próximas as do bário, mas insuficientes para a precipitação de barita. Isso foi observado pelo índice de saturação negativo desse mineral (tabela 20), que ocorre insaturado e pode não existir no aquífero. Logo, a barita não limitaria os teores de bário na água. A diminuição de sulfato em profundidade e as concentrações praticamente constantes de bário (figura 15-D) mostram que o Ba^{2+} não estaria relacionado ao SO_4^{2-} , no caso do poço IPT 347. Calcita e dolomita ocorreram em equilíbrio durante quase todo o bombeamento, controlando as concentrações dos íons cálcio, bicarbonato e magnésio (apenas a dolomita) em solução.

As concentrações de cálcio e de bicarbonato diminuíram significativamente com o bombeamento. Isso pode ter ocorrido devido à diminuição da cimentação carbonática dos arenitos em profundidade. Apesar do perfil construtivo do IPT 347 (figura 15-A) mostrar que os arenitos da Formação Adamantina não apresentam cimentação, em geral esses arenitos podem apresentar cimentação no topo (Tavares, 2013), o que explicaria as concentrações de cálcio e bicarbonato mais altas no topo do Aquífero Adamantina logo nas primeiras horas de bombeamento e uma diminuição desses íons com o rebaixamento. Porém, os teores de bário praticamente não mudaram, indicando que ele deve ocorrer em profundidade na Formação Adamantina e pode ser proveniente de várias fontes, além dos carbonatos, como argilominerais.

7.2 Interpretação dos testes de bombeamento

De maneira geral, os dados de rebaixamento para os poços IPT 44, IPT 72, IPT 261 e IPT 347 se ajustaram bem aos métodos de interpretação de Theis (1935), Cooper e Jacob (1946) e Hantush-Walton (1956). Somente no poço IPT 63 a metodologia de Cooper e Jacob (1946) não apresentou um bom ajuste aos dados. Os gráficos obtidos podem ser observados no ANEXO III.

Nos cinco poços considerados, as metodologias aplicadas resultaram em propriedades hidráulicas muito próximas e de mesma ordem de grandeza. Portanto, a aplicação de diferentes métodos não foi tão necessária no caso dos poços estudados neste trabalho, devido aos resultados muito semelhantes. Isso corrobora, em partes, com Halford et al. (2006), que sugerem que é desnecessária a estimativa de propriedades hidráulicas em testes de bombeamento de poços únicos com outras metodologias além da de Cooper e Jacob (1946).

Para os poços IPT 72 e IPT 44, com filtros nos aquíferos Marília e Adamantina, a transmissividade (T) obtida variou de $1,1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ a $1,52 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente. No IPT 63, com filtro somente no Marília, T foi de $1,76 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Nos poços IPT 347 e IPT 261, com rebaixamento somente no Aquífero Adamantina, a transmissividade variou de $1,62 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ a $5,98 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente. Segundo a classificação de Krásny (1993), esses valores seriam considerados baixos (magnitude IV) e com potencial apenas para abastecimento local (uso privado). Isso pode ter ocorrido devido à forte cimentação carbonática das rochas da região de estudo.

Porém, não foram observadas diferenças significativas na transmissividade obtida entre poços com filtros (ou rebaixamentos) nos aquíferos Marília, Adamantina, ou os ambos, pois os valores encontrados foram muito próximos. O mesmo ocorreu para a condutividade hidráulica (K), que foi da ordem de 10^{-7} m/s , para todos os poços, com exceção do IPT 261, que foi da ordem de 10^{-6} m/s . Logo, nos testes de bombeamento com poços únicos estudados neste trabalho, as variações litológicas e construtivas dos poços não evidenciaram diferenças significativas de T e K.

As propriedades hidráulicas calculadas corroboram parcialmente com as obtidas na literatura. Pesquisadores do IPT (2016) calcularam valores T e K para um poço na cidade de Gália, com filtros nos aquíferos Marília e Adamantina e com a utilização de poços de observação. Foi calculada uma transmissividade entre $1,06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,57 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, e condutividade hidráulica entre $5,29 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ e $7,85 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. Já Mancuso e Campos (2005), mostram valores de T e K para o Sistema Aquífero Bauru em geral. A transmissividade obtida foi de $5,78 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, enquanto que a condutividade hidráulica foi de $2,31 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ a $4,2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$.

Considerando o poço IPT 44, também em Gália, os valores de T obtidos foram de uma ordem de grandeza menores que os obtidos por IPT (2016). Apesar da aparente subestimativa dos resultados, ainda assim a transmissividade corrobora com a média do SAB (Mancuso e Campo, 2005). O mesmo pode-se dizer da condutividade hidráulica obtida no IPT 44, que estaria aparentemente subestimada em uma ordem de grandeza segundo IPT (2016), mas que é plausível segundo os dados obtidos em geral para o SAB. O IPT 261 é um caso semelhante ao IPT 44, mas difere-se por localizar-se em Pompéia e por ter uma condutividade hidráulica que corrobora ambas as fontes. Nos demais poços, os valores de

transmissividade encontrados foram da ordem de $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ e estariam aparentemente subestimados, tanto para IPT (2016), quanto para Mancuso e Campos (2005). Já as condutividades hidráulicas nesses poços ainda se encontram dentro das obtidas regionalmente para o SAB.

Provavelmente, nos testes de bombeamento com poços únicos deste Trabalho de Formatura deve ter ocorrido alguma subestimativa da transmissividade, já que os valores obtidos foram de uma a duas ordens de grandeza menores que os da literatura. Como a condutividade hidráulica foi calculada a partir da transmissividade, também pode ter sido subestimada em até uma ordem de grandeza.

Segundo Belcher et al. (2001), a precisão de testes de bombeamento com poço único pode ser afetada por vários fatores, a saber: problemas construtivos no poço; convergência das linhas de fluxo e perdas de carga à medida em que a água flui para dentro ou para fora do poço através dos filtros; e a perda de carga à medida em que a água se move entre a profundidade do nível dinâmico e a profundidade da bomba d'água. Assim, segundo esses autores, para o mesmo conjunto de poços, as estimativas de transmissividade obtidas a partir de testes de bombeamento de poços únicos tendem a ser menores do que aquelas de múltiplos poços (piezômetros). Portanto, os testes de bombeamento com múltiplos poços tendem a ser mais confiáveis, pois expressam a influência de características geológicas em escala de campo, como fraturas, falhas, e as propriedades de transmissão de água na matriz das rochas (Belcher et al., 2001). Entretanto, nem sempre testes de bombeamento com piezômetros são possíveis, pois dependem da existência de vários poços perfurados em um mesmo local, o que nem sempre é viável.

Portanto, é possível determinar as propriedades hidráulicas de aquíferos com poços únicos, mas deve-se atentar para os possíveis problemas que ocorram nas estimativas dos cálculos da transmissividade e da condutividade hidráulica. Alguns testes de bombeamento confirmatórios poderiam ser realizados com poços múltiplos nas proximidades de alguns poços para checar os resultados obtidos e verificar se os valores encontrados foram subestimados, ou se suas propriedades hidráulicas são realmente mais baixas do que as da literatura.

8 CONCLUSÕES

Não foi observada correlação significativa entre bário e o rebaixamento. Na maioria dos poços, as concentrações de bário ao longo do tempo seguem um comportamento aleatório, ou seja, aumentam e diminuem sem um padrão definido. Esse tipo de variação pode estar associado à variação litológica das rochas conforme o aumento da profundidade. Em aquíferos semi-confinados ocorrem camadas isoladas com diferentes texturas e

mineralogias, que definem diferentes concentrações de bário e de outros elementos dissolvidos. Conforme o rebaixamento, essas camadas passam a ter uma maior influência na composição geral da água, o que explicaria a variação aleatória das concentrações. A exceção ocorreu no poço IPT 245, em que houve uma queda significativa de bário com o aumento da profundidade. Esse comportamento poderia estar relacionado à diminuição da influência das águas do Aquífero Marília, mais enriquecidas em bário nesse local, e ao aumento da influência das águas do Aquífero Adamantina, mais empobrecidas.

Os testes de bombeamento indicaram que as anomalias de bário podem ocorrer tanto no Aquífero Marília, quanto no Aquífero Adamantina. Isso pode ser observado em alguns poços em que o bário ocorreu acima do limite de potabilidade, como no IPT 44, em que o rebaixamento se deu somente no Marília, e o IPT 347, com rebaixamento somente no Adamantina. Entretanto, vale ressaltar que no caso do IPT 44, as concentrações de bário foram as maiores dentre todos os poços e que o Aquífero Marília pode ter uma maior concentração de bário nesse local.

De maneira geral, os poços com anomalias de bário apresentaram minerais carbonáticos como calcita e dolomita em equilíbrio com a solução, ou seja, esses minerais fontes de bário tiveram condições suficientes para liberá-lo na água. Esses poços também apresentaram sulfato insuficiente para limitar o bário através da precipitação da barita. Vale ressaltar, entretanto, que mesmo com baixas concentrações de sulfato, a barita ainda pode ocorrer em equilíbrio, como no IPT 44. Mas isso não significa que o bário estaria sendo limitado na reação de precipitação da barita, pois no caso desse poço, o bário seria o reagente em excesso, enquanto que sulfato o reagente limitante.

Nos poços sem anomalias de bário, foram observadas duas situações: a primeira no IPT 261, em que sulfato ocorreu em grande concentração, barita ocorre em equilíbrio e calcita muito próxima do equilíbrio. Nesse poço o sulfato pode ter limitado o bário na água através da reação de precipitação da barita. A segunda situação foi observada nos poços IPT 49 e IPT 63, nos quais mesmo com concentrações relativamente baixas de sulfato e com ocorrência de minerais fontes nos arenitos (cimentação e nódulos carbonáticos), bário ocorreu abaixo do limite de potabilidade. Talvez nesses poços, não há fontes muito ricas em bário, ou não há condições favoráveis para sua liberação em solução. Porém, a grande contaminação antrópica nesses poços não permitiu determinar se os minerais fonte ocorrem em equilíbrio, pois a alcalinidade deve ter sido afetada.

Em geral, bário apresentou correlação positiva com o estrôncio durante os testes de bombeamento. Isso corrobora com estudos anteriores de Tavares (2013) e de Crespi (2013), que associaram os carbonatos como uma das possíveis fontes de bário nos aquíferos da região. Além disso, não foi observada correlação de bário com cloreto e nitrato, indicando que o bário deve ter origem natural.

A transmissividade baixa obtida pode ser relacionada aos arenitos com forte cimentação carbonática da região. Porém, não foram encontradas diferenças das propriedades hidráulicas entre os aquíferos, pois poços com filtros alocados nos aquíferos Marília, Adamantina, ou em ambos, apresentaram valores de T muito próximos entre si. A transmissividade e a condutividade hidráulica corroboram em partes com os dados da literatura. Porém, pode de ter ocorrido uma subestimativa dos resultados em alguns poços, pois os testes de bombeamento foram realizados em poços únicos, quando o ideal seria a utilização de múltiplos poços. Testes de bombeamento confirmatórios poderiam ser realizados para checar se houve uma subestimativa dos resultados nesses locais, ou se as propriedades hidráulicas obtidas são realmente mais baixas do que o esperado.

A hidroquímica dos testes de bombeamento nos oito poços estudados na região do Espigão de Marília permitiu uma melhor compreensão do comportamento do bário nos aquíferos da região, pois ainda não haviam sido realizados testes de bombeamento nesses poços em trabalhos anteriores. Através deste Trabalho de Formatura foi possível compreender melhor o comportamento do bário em profundidade e determinadas algumas das condições de ocorrência de bário nos aquíferos da região através dos cálculos de índices de saturação.

Portanto, há uma grande influência da geologia na contaminação de bário na região do Espigão de Marília, mas os testes de bombeamento não são precisos o suficiente para determinar exatamente a profundidade dessa contaminação. Além disso, alguns poços estudados não apresentaram um controle geológico bem definido, o que limitou as interpretações. Portanto, para um melhor entendimento das anomalias de bário, seria necessária a perfuração de um ou mais poços que tenham um controle e um estudo mais aprofundado das litologias.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007). *Toxicological Profile for Barium and Barium Compounds*. Atlanta: ATSDR.
- Barcelos, J. H., Suguio, K. (1987). Correlação e extensão das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru, definidas em território paulista, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná. *VI Simpósio Regional de Geologia*, v. 1, 313-321. Rio Claro: SBG
- Barison, M. R. (2003). *Estudo hidrogeoquímico da porção meridional do sistema aquífero Bauru no estado de São Paulo*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Belcher, W. R., Elliot, P. E., Geldon, A. L. (2001). Hydraulic-Property Estimates for Use With a Transient Ground-Water Flow Model of the Death Valley Regional Ground-Water Flow System, Nevada and California. *United States Geological Survey*, 33p.
- Blaurock-Busch, E., Amin, O. R., Rabah, T. (2011). Heavy metals and trace elements in hair and urine of a sample of arab children with autistic spectrum disorder. *Maedica*, 6(4), 247-257.
- Bodek, I., Lyman, W. J., Reehl, W. F., Rosenblatt, D. H. (1988). *Environmental Inorganic Chemistry - Properties, Processes and Estimation Methods*. USA: Pergamon Press.
- Boggs, J. S. (1995) Carbonate Sedimentary Rocks. In: Boggs Jr., S. (Ed.). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. (194-235). New Jersey: Prentice-Hall.
- Boggs Jr., S. 1998. Dolomites. In: Boggs Jr., S. (ed.). *Petrology of sedimentary rocks* (484-513). New York: Macmillan Publishing Company.
- Brookings, D. G. (1988). *Eh-pH diagrams for geochemistry*. New York: Springer.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2004). *Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo: 2001-2003*. São Paulo: CETESB.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2007). *Relatório de qualidade de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: 2004-2006*. São Paulo: CETESB.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2010). *Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo: 2007-2009*. São Paulo: CETESB.

- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2013). *Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2010-2012*. São Paulo: CETESB.
- CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. (2016). Monitoramento Climatológico: Início da Estação 01/11/2007 a 21/07/2016 Município: Marília - Unimar – SP. Disponível em: http://www.udop.com.br/download/estatistica/economia_chuvas/1993a2016_historico_marilia_unimar.pdf. Acesso em: 07 de ago. 2016.
- Cleary, R. W. (1989). *Águas Subterrâneas*. Florida: Princeton Groundwater.
- Cooper, H.H., Jacob, C.E. (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. *American Geophysical Union*, 27(4), 526-534.
- Crespi, A. M. (2013). *Aplicação de isótopos de estrôncio, oxigênio e hidrogênio como traçadores de anomalias hidrogeoquímicas de bário no Sistema Aquífero Bauru no município de Gália (SP)*. Tese (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Custodio, E., Llamas, M.R. (1976) *Hidrologia subterrânea*. Barcelona: Ediciones Omega S.A. 1157p.
- Deutsch, J. W. (1997). *Groundwater Geochemistry: Fundamentals and Applications to Contamination*. Lewis Publishers: Boca Raton.
- Eylem, C., Erten, H. N., Göktürk, H. (1990). Sorption-Desorption Behaviour of Barium on Clays. *Journal of Environmental Radioactivity*, 11(2), 183-200.
- Feitosa, F. A. C., Filho, J. M. (2000). *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil.
- Fernandes, L. A. (1992). *A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá*. Tese (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Fernandes, L. A. (1998). *Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP.
- Fernandes, L. A., Coimbra, A. M. (2000). Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, 30(4), 717-728.
- Fernandes, L.A. (2004). Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (Pr, Sp, Mg), escala 1:1.000.000. *Boletim Paranaense de Geociências*, 55, 53-66.

- Ghaemi, A., Torab-Mostaedi, M., Ghannadi-Maragheh, M. (2011). Characterizations of strontium(II) and barium(II) adsorption from aqueous solutions using dolomite powder. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1), 916-921.
- Gilkerson, R. H. (1978). *Geologic Studies to Identify the Source for High levels of Radium and Barium in Illinois Ground-Water Supplies: A Preliminary Report*. Illinois: University of Illinois.
- Göktürk, H., Eylem, C., Hatipoglu, S., Erten, H. N. (1995). Radiochemical studies of the sorption behavior of strontium and barium. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 198(2), 449-456.
- Hantush, M.S. (1956). Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. *Transactions, American Geophysical Union*, 37(6), 702-714.
- Halford, K.J., Weight, W. D., Schreiber, R. P. (2006). Interpretation of Transmissivity Estimates from Single-Well Pumping Aquifer Tests. *Ground Water*, 44(3), 467-71.
- IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. (2015). Limite Municipal SP (IGC). Escala 1:50.000. São Paulo: Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC).
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (1981). *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. Escala: 1:1.000.000. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (2016). *Investigação de Anomalias Hidrogeoquímicas de Bário em Poços de Abastecimento do Sistema Aquífero Bauru na região de Marília, SP - Relatório Final*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- Iritani, M. A., Ezaki, S. (2012). *As águas subterrâneas do Estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente.
- Jones, M. J., Butchins, L. J., Charnock, J.M., Pattrick, R. A. D., Small, J. S., Vaughan, D. J., Wincott, P. L., Livens, F. R. (2011). Reactions of radium and barium with the surfaces of carbonate minerals. *Applied Geochemistry*, 26(7), 1231-1238.
- Kopp, S. J., Perry, H.M.J., Feliksik, J. M., Erlanger, M., Perry, E. F. (1985). Cardiovascular dysfunction and hypersensitivity to sodium pentobarbital induced by chronic barium chloride ingestion. *Toxicology and applied pharmacology*, 77(2), 303-314.
- Kravchenko, J., Darrah, T. H., Miller, R. K., Lyster, H. K., Vengosh, A. (2014). A review of the health impacts of barium from natural and anthropogenic exposure. *Environmental Geochemistry and Health*, 36(4), 797-814.

- Krásny (1993). Classification of transmissivity magnitude and variation. *Ground Water*, 31(2), 230-236.
- Kruseman, G. P., Ridder, N. A. (1994). *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Lagas, P., Loch, J. P. G., Bom, C. M., Gerringa, L. J. A. (1984). The behavior of barium in a landfill and the underlying soil. *National Institute for Water Supply*, 22(2), 121-129.
- Maciel, A. C., Hirata, R. (2012). Avaliação de Métodos Para a Proteção de Poços de Abastecimento Público do Estado de São Paulo. *Revista do Instituto de Geociências*, 12(1), 53-70.
- Mancuso, M. A., Campos, J. E. (2005). Aquífero Bauru. In: G. Rocha, A. J. Fernandes, M. A. Mancuso (Eds), *Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000: nota explicativa* (v. 1, 1-119). São Paulo: DAEE – IG – IPT – CPRM.
- Marshall, C. P., Fairbridge, R. W. (1999). *Encyclopedia of Geochemistry*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Merkel, B. J., Friedrich, B. P. (2012). *Geoquímica de águas subterrâneas: um guia prático de modelagem de sistemas aquáticos naturais e contaminados*. Campinas: Editora da Unicamp.
- Moore, R. B., Staubitz, W. W. (1984). *Distribution and source of barium in ground water at Cattaraugus Indian Reservation, Southwestern New York*. New York: U.S. Geological Survey.
- Neuman, S. P. (1974). Effect of partial penetration on flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resources Research*, 10 (2), 303-312.
- Oliveria, V. M. (2014). *Modelo conceitual de circulação das águas do Aquífero Bauru na região de Marília – SP*. Tese (Formatura). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- OpenStreetMap - © contribuidores do OpenStreetMap. (2016). Mapa do mundo. Disponível em: < <https://www.openstreetmap.org/#map=8/-22.657/-50.251>>. Acesso em: 07 de maio de 2016.
- Paula e Silva, F. (2003). *Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP.
- Paula e Silva, F., Kiang, C. H., Caetano-Chang, M. R. (2005). Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. *Águas Subterrâneas*, 19(2), 19-36.

- Padilla, M. A., Elobeid, M., Ruden, D. M., Allison, D. B. (2010). An examination of the association of selected toxic metals with total and central obesity indices: NHANES 99-02. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(9), 3332-3347.
- Phelan, D. M., Hagley, S. R., Guerin, M. D. (1984). Is hypokalaemia the cause of paralysis in barium poisoning? *British Medical Journal*, 289, 882.
- Prandi, E. C. (2010). *Gestão Integrada das águas do Sistema Aquífero Bauru nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe / SP*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.
- Prefeitura de Marília. (2014a). Em agosto, choveu apenas 3 milímetros em Marília. Disponível em: < <http://www.marilia.sp.gov.br/prefeitura/?p=44609&print=1>>. Acesso em: 07 de ago. 2016.
- Prefeitura de Marília. (2014b). Abastecimento: autorização para perfurar três novos poços na zona Norte de Marília é assinada. Disponível em: <<http://www.marilia.sp.gov.br/prefeitura/?p=47215>>. Acesso em: 07 de ago. 2016.
- Prefeitura de Marília. (2016). Abastecimento de água: Lácio já conta com novo poço. Disponível em: < <http://www.marilia.sp.gov.br/prefeitura/?p=56481>>. Acesso em: 07 de ago. 2016.
- Reimann, C., Caritat, P. (1998). *Chemical Elements in the Environment: Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist*. Berlim: Springer.
- Rios, A. P. J. (2016). *Isótopos de O e H na análise de anomalias de bário na região de Marília – SP*. Tese (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Ross, J. L. S., Moroz, I. C. (1996). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, 10, 41-58.
- Santos, C. A. M., Nunes, J. O. R. (2007). Mapeamento geomorfológico do perímetro urbano do município de Marília-SP. *Geografia em Atos*, 1(7).
- Sánchez, F. J. (2011). *Medidas puntuales de permeabilidad*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Silva, L. C. M., Brotto, M. E. (2014). Nitrato em água: ocorrência e consequências. São Paulo: CREA.
- Soares, P. C., Landim, P. M. B., Fúlfaro, V. J., Neto, A. F. S. (1980). Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Revista Brasileira de Geociências*, 10(3), 177-185.

- Tavares, T. (2013). *Investigação de anomalias hidrogeoquímicas de bário em aquíferos do Estado de São Paulo*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências - USP.
- Tavares, T., Bertolo, R., Fiúme, B., Crespi, A., Martins, V.T.S., Hirata, R. (2015). Hydrochemical investigation of barium in the public water supply wells of Sao Paulo state, southern Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 74(9), 6599-6612.
- Theis, C.V. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *American Geophysical Union*, 16(5), 519-524.
- Walton, W. (1962). Selected analytical methods for well and aquifer evaluation. *Illinois State Water Survey Bulletin*, 49, 81.
- Wetherill, S. F., Guarino, M. J., Cox, R. W. (1981). Acute renal failure associated with barium chloride poisoning. *Annals of Internal Medicine*, 95(2), 187-188.
- Wones, R. G., Stadler, B. L., Frohman, L. A. (1990). Lack of Effect of Drinking Water Barium on Cardiovascular Risk Factors. *Environmental Health Perspectives*, 85, 355-359.
- WHO – World Health Organization. (2001). *Barium and barium compounds*. Geneva: World Health Organization.
- WHO – World Health Organization. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. Geneva: World Health Organization.
- Zhang, P. C., Brady, P. V., Arthur, S. E., Zhou, W. Q., Sawyer, D., Hesterberg, D. A. (2001). Adsorption of barium(II) on montmorillonite: an EXAFS study. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 190(3), 239-249.

ANEXO I
Datos de análisis químicas

Amostra		IPT44_ branco	IPT44_ 15	IPT44_ 30	IPT44_ 60	44_ 60 (duplic)	IPT44_ 180	IPT44_ 360	IPT44_ 540	IPT44_ 720	IPT44_ 1080	IPT44_ 1320	IPT49_ 15	IPT49_ 30	IPT49_ 60	IPT49_ 180	IPT49_ 360	IPT49_ 540	IPT49_ 720	IPT49_ 1080	IPT49_ 1320
NE	(m)	-	29,25	29,25	29,25	29,25	29,25	29,25	29,25	29,25	29,25	29,25	51,36	51,36	51,36	51,36	51,36	51,36	51,36	51,36	51,36
ND	(m)	-	40,48	41,50	42,44	42,44	44,06	45,08	45,44	45,98	45,10	45,01	53,21	-	-	-	-	-	-	-	-
Prof	(m)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	182	182	182	182	182	182	182	182	182
Temp	°C	-	22,80	22,80	22,80	22,80	22,90	23,00	23,04	22,86	22,75	22,69	22,90	23,00	23,00	23,10	23,00	23,10	23,08	23,00	22,99
pH	-	-	7,58	7,48	7,50	7,50	7,61	7,62	7,34	7,58	7,55	7,60	5,88	5,82	5,76	5,73	5,76	5,78	5,85	5,86	6,03
Eh	(mV)	-	225,9	227,6	226	226	224,5	228,3	249,2	246,1	261,3	264,9	395,6	413,7	425,2	428,7	426,9	420,2	414,3	414,6	401,9
OD	mg/L	-	2,61	2,79	2,67	2,67	2,47	2,51	2,72	2,71	2,67	2,46	3,58	3,28	3,54	3,12	3,55	3,74	3,98	3,45	3,34
CE	µS/cm	-	383,0	384,0	382,0	382,0	383,0	384,0	385,0	385,0	385,0	385,0	164,0	163,0	161,0	162,0	163,0	164,0	165,0	168,0	171,0
Ca	mg/L	0,54	41,63	41,56	41,70	42,77	41,37	41,35	41,32	41,46	41,24	41,17	19,11	18,91	19,14	18,90	19,39	19,56	19,96	19,47	20,73
Mg	mg/L	0,04	20,87	20,81	20,82	22,31	20,69	20,68	20,62	20,64	20,61	20,61	4,48	4,44	4,43	4,46	4,59	4,64	4,70	4,54	4,93
K	mg/L	0,04	2,29	2,34	2,37	2,54	2,34	2,35	2,37	2,36	2,33	2,33	2,25	2,24	2,28	2,27	2,21	2,33	2,33	2,49	2,34
Na	mg/L	0,03	1,81	1,80	1,83	1,91	1,83	1,81	1,80	1,80	1,80	1,80	1,51	1,67	1,72	1,50	1,51	1,58	1,64	1,62	1,63
Al	mg/L	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075
Fe	mg/L	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105
Mn	mg/L	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Ba	mg/L	0,0088	2,757	2,4042	2,0792	2,3131	2,7148	2,7201	2,6546	2,3385	2,3356	2,748	0,2888	0,2569	0,2348	0,2607	0,2742	0,2806	0,2656	0,2633	0,27
Sr	mg/L	0,025	0,79	0,79	0,75	0,025	0,8	0,8	0,812	0,78	0,723	0,74	0,107	0,1	0,089	0,105	0,104	0,107	0,106	0,106	0,11
HCO3	mg/L		167,88	170,44	172,85	174,07	182,43	177,54	201,05	190,99	210,51	198,25	28,08	43,95791	50,06	31,75	30,52659	23,20	32,48	29,31	39,07
CO3	mg/L	1,07	0,31	0,25	0,27	0,27	0,37	0,36	0,22	0,36	0,37	0,39	0,00	0,001432	0,00142	0,00	0,000866	0,00	0,001134	0,00	0,00
NO3	mg/L	0,02	20,18	20,16	20,33	20,92	20,37	19,52	20,33	20,28	20,34	20,31	47,83	47,74	48,16	48,34	48,15	47,94	48,55	49,35	50,74
NO2	mg/L	0,0005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
SO4	mg/L	0,94	1,47	1,51	1,47	1,54	1,52	1,60	1,47	1,53	1,47	1,53	0,97	0,88	0,98	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	1,12
Cl	mg/L	0,03	7,43	7,52	7,74	7,77	7,51	7,39	7,58	7,63	7,56	7,48	3,75	3,97	3,98	3,80	3,73	3,79	3,88	4,18	4,09
F	mg/L	0,01	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
HPO42	mg/L	0,004	0,005	0,004	0,004	0,007	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006
Si	mg/L	0,03	13,93	13,86	14,34	13,78	14,37	14,07	14,48	14,71	14,02	13,88	6,67	8,38	6,16	6,01	6,13	7,47	7,58	7,12	6,62
EN%	%	-	9,06	8,26	7,61	9,26	5,17	6,5	1,03	3,15	-1,15	1,44	3,43	-5,67	-8,43	0,49	2,56	7,7	2,6	2,55	-0,52

Amostra	IP T63_15	IP T63_30	IP T63_60	IP T63_180	IP T63_360	IP T63_540	IP T63_720	IP T63_1080	IP T63_1320	IP T72_15	IP T72_30	IP T72_60	72_60 (duplic)	IP T72_180	IP T72_360	IP T72_540	IP T72_720	IP T72_1080	IP T72_1320
NE	(m)	27,72	27,72	27,72	27,72	27,72	27,72	27,72	27,72	96,67	96,67	96,67	96,67	96,67	96,67	96,67	96,67	96,67	96,67
ND	(m)	69,28	72,51	74,02	76,21	77,36	77,29	77,78	77,86	103,65	105,15	104,96	104,96	105,78	106,31	106,62	106,90	107,20	107,32
Prof	(m)	100	100	100	100	100	100	100	100	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Temp	°C	24	24,9	24,5	25	24,9	24,84	24,85	24,81	22,90	23,80	24,10	24,10	24,70	25,00	24,80	24,80	24,47	24,67
pH	-	5,85	5,75	5,51	5,02	5,35	5,42	5,46	5,42	5,99	6,22	6,32	6,32	6,33	6,29	5,98	6,18	7,26	7,49
Eh	(mV)	258,2	255,1	256	277,1	262,9	265,4	273,8	312	402,7	402,9	410	410	400,9	407,2	440	431,7	325,7	316,9
OD	mg/L	5,18	4,12	4,32	4,16	4,41	3,52	2,85	1,93	4,20	4,04	3,64	3,64	3,50	3,56	3,79	4,05	3,63	3,66
CE	mS/cm	148,0	175,0	170,0	165,0	165	164	163	160	161,0	156,0	173,0	173,0	173,0	178,0	184,0	184,0	181,0	182,0
Ca	mg/L	18,47	17,97	17,34	16,55	16,14	15,79	10,98	15,41	17,36	16,79	20,15	20,47	19,76	20,36	21,14	21,41	21,29	21,42
Mg	mg/L	5,35	5,19	5,07	5,14	5,13	5,12	3,52	5,09	6,65	6,38	7,89	8,00	7,79	8,05	8,37	8,51	8,48	8,41
K	mg/L	5,80	5,84	5,87	6,05	6,05	6,11	3,81	6,06	4,47	4,58	4,17	4,16	4,20	4,24	4,19	4,29	4,16	4,29
Na	mg/L	1,83	1,87	3,03	2,03	2,20	2,64	1,43	2,11	1,44	1,45	1,47	1,78	1,45	1,46	1,42	1,41	1,39	1,86
Al	mg/L	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075
Fe	mg/L	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105
Mn	mg/L	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Ba	mg/L	0,4623	0,4746	0,4634	0,3772	0,4676	0,4557	0,4296	0,4812	0,8144	0,7266	0,962	0,9636	1,043	0,8455	0,7603	0,9688	0,8193	0,8218
Sr	mg/L	0,094	0,098	0,09	0,0741	0,091	0,092	0,084	0,089	0,22	0,19	0,275	0,273	0,284	0,24	0,229	0,24	0,229	0,233
HCO3	mg/L	18,32	19,54	8,55	21,98	14,65328	12,21102	13,43213	19,53758	68,38	76,92	80,58	80,58	94,01	74,47	98,90	102,56	93,86	94,95
CO3	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,08	0,14
NO3	mg/L	67,52	67,54	66,42	66,26	66,03	65,93	44,00	64,99	22,54	23,74	17,42	17,93	19,17	18,70	16,56	16,07	15,53	16,30
NO2	mg/L	0,002	0,002	0,04	0,01	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
SO4	mg/L	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,22	0,23	0,23	0,19	0,23	0,23	0,23	0,25	0,26	0,25
Cl	mg/L	5,99	5,88	6,70	5,33	5,59	5,83	3,43	5,15	1,73	1,73	1,28	1,70	1,48	1,30	1,43	1,14	1,70	1,83
F	mg/L	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,044	0,048	0,055	0,05	0,048	0,057	0,056	0,056	0,055	0,058
HPO42	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,006	0,006	0,005	0,006	0,006	0,007	0,006	0,006	0,005	0,006	0,006	0,006
Si	mg/L	12,01	11,78	11,52	10,7	11,4	11,79	10,77	11,81	8,23	9,54	7,84	12,02	7,48	9,26	6,68	8,25	8,01	8,02
EN%	%	1,3	-0,33	5,86	-2,55	0,85	2,16	-0,93	-2,02	2,3	-4,14	5,91	6,37	-1,98	8,94	-0,03	0,4	2,69	2,37

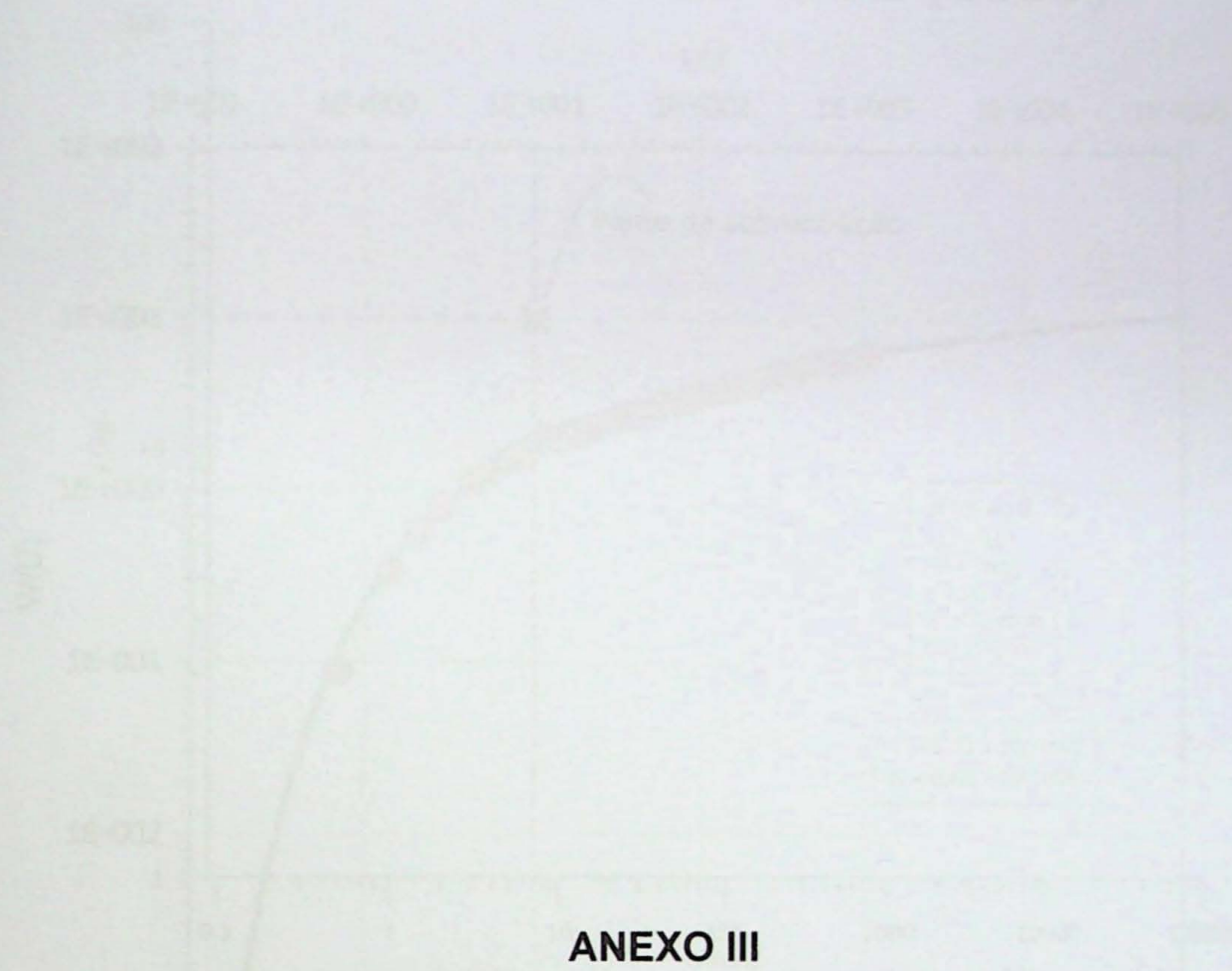
Amostra		IPT130_15	IPT130_30	IPT130_60	IPT130_180	IPT130_360	IPT130_540	IPT130_720	IPT130_1050	IPT245_15	IPT245_30	IPT245_60	IPT245_180	IPT245_360	IPT245_540	IPT245_720	IPT245_1080	IPT245_1440
NE	(m)	204,02	204,02	204,02	204,02	204,02	204,02	204,02	204,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ND	(m)	204,80	204,50	203,93	204,27	205,09	199,60	178,91	177,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prof	(m)	286,75	286,75	286,75	286,75	286,75	286,75	286,75	286,75	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Temp	°C	24,86	25,02	25,10	25,36	25,07	25,09	25,11	25,09	28,3	24,5	24,4	23,6	23,6	23,57	23,47	23,45	23,41
pH	-	6,98	7,13	7,04	7,63	7,92	7,70	7,57	7,60	7,08	6,63	6,79	6,57	6,64	6,52	6,59	6,76	6,95
Eh	(mV)	236,1	244,1	241,5	236,3	238,9	262,2	272	279,4	939,5	953,4	938,1	571,2	573,6	586,5	590,2	575,5	558,3
OD	mg/L	2,23	2,20	2,13	2,51	0,32	0,39	0,42	2,93	4,87	4,21	4,13	3,75	3,96	4,06	4,11	4,07	4,18
CE	µS/cm	278,0	286,0	288,0	233,0	194,0	205,0	214,0	213,0	392,00	328,00	320,00	290,00	284,00	283,00	282,00	278,00	281,00
Ca	mg/L	34,45	34,76	34,13	26,75	22,86	22,25	22,07	21,75	50,70	47,11	47,97	45,82	43,49	42,78	42,21	41,87	41,79
Mg	mg/L	8,74	9,14	9,61	8,50	7,90	7,77	7,78	7,67	15,32	8,85	8,76	8,20	8,17	8,18	8,18	8,11	8,12
K	mg/L	3,35	3,35	3,27	2,67	2,41	2,37	2,39	2,38	2,19	2,68	2,85	2,35	2,15	2,09	2,11	2,05	2,13
Na	mg/L	7,24	7,56	7,72	8,53	10,52	11,29	11,34	11,38	8,50	6,36	4,25	2,90	2,58	2,49	2,98	2,74	2,61
Al	mg/L	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075
Fe	mg/L	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105
Mn	mg/L	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Ba	mg/L	0,7588	0,9532	0,9491	0,7514	0,7376	0,6888	0,703	0,6852	0,6206	0,7359	0,7993	0,7184	0,643	0,5983	0,6041	0,5709	0,4628
Sr	mg/L	0,47	0,63	0,797	0,829	0,84	0,82	0,81	0,833	0,851	0,485	0,456	0,35	0,34	0,34	0,33	0,351	0,25
HCO3	mg/L	118,34	113,41	119,54	131,32	141,69	136,08	133,83	159,33	6110,52	183,09	202,58	185,54	187,97	166,02	224,60	212,35	158,61
CO3	mg/L	0,06	0,08	0,06	0,28	0,58	0,34	0,25	0,31	3,62	0,04	0,06	0,03	0,04	0,03	0,04	0,06	0,07
NO3	mg/L	42,09	42,88	41,94	11,95	5,87	5,36	5,50	4,99	12,51	9,07	8,81	9,17	9,85	10,16	10,07	10,05	10,18
NO2	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,26	0,24	0,18	0,002	0,002	0,002	0,010	0,002	0,002
SO4	mg/L	0,94	0,94	0,39	0,41	0,32	0,22	0,27	0,24	0,85	0,31	0,29	0,30	0,26	0,37	0,51	0,31	0,26
Cl	mg/L	6,59	6,53	6,49	1,97	1,03	0,89	0,90	0,88	7,08	6,43	4,72	3,43	2,99	2,86	3,59	3,23	2,96
F	mg/L	0,048	0,035	0,038	0,047	0,056	0,057	0,057	0,057	0,89	0,24	0,19	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
HPO42	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006
Si	mg/L	13,37	13,16	12,03	11,84	12,16	11,23	11,07	12,16	15,64	12,56	14,71	10,95	18,17	14,18	12,46	13	12,03
EN%	%	0,68	3,12	2,09	1,8	-2,67	-0,52	0,15	-8,47	-91,9	1,53	-3,04	-1,92	-4,72	0,25	-14,03	-11,87	1,41

Amostra	IP261_15	IP261_30	IP261_60	IP261_180	IP261_360	IP261_540	IP261_720	IP261_1080	IP261_1320	IP261_15	IP261_30	IP261_60	IP261_180	IP261_360	IP261_540	IP261_720	IP261_1080	IP261_1320	IP261_180 (duplic)	IP261_360	IP261_540	IP261_720	IP261_1080	IP261_1320
NE	(m)	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8
ND	(m)	119,16	119,24	119,39	119,56	119,61	119,76	119,79	119,84	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80	119,80
Prof	(m)	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147
Temp	°C	23,26	23,29	23,54	23,72	23,56	23,17	23,16	23,09	23,12	23,63	23,64	23,7	23,93	23,93	23,93	23,93	23,93	23,93	23,93	23,93	23,93	23,93	23,93
pH	-	6,57	6,46	6,84	6,64	6,28	6,56	6,48	6,54	6,54	7,04	7,04	7	7,06	7,06	7,06	7,06	7,06	7,06	7,06	7,06	7,06	7,06	7,06
Eh	(mV)	341	351,2	315,8	323,3	345,4	339,2	321,5	314,4	310,6	230,3	230,3	230,9	231	232	237,3	260,6	256,5	267,2	251,9	251,9	251,9	251,9	251,9
OD	mg/L	2,77	2,36	2,13	2,21	2,35	2,43	2,42	2,02	1,82	1,83	1,55	1,09	1,09	1,09	4,12	4,54	40,4	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8
CE	µS/cm	413,00	421,00	431,00	440,00	451,00	453,00	434,00	456,00	457,00	421	421	421	425	425	377	331	332	330	335	335	335	335	335
Ca	mg/L	66,52	67,08	70,84	73,18	73,36	75,69	76,31	76,62	76,44	63,65	62,68	65,89	65,42	53,21	47,15	45,69	45,51	45,58	45,58	45,58	45,58	45,58	45,58
Mg	mg/L	9,11	9,09	9,19	9,57	9,45	9,79	9,83	9,95	9,93	12,29	12,55	12,47	14,21	14,28	13,44	13,14	13,57	12,14	12,14	12,14	12,14	12,14	12,14
K	mg/L	2,57	2,55	2,54	2,40	2,40	2,37	2,37	2,37	2,37	2,53	2,51	2,59	2,58	2,58	2,40	2,38	2,28	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
Na	mg/L	1,85	1,89	1,85	1,86	1,83	1,82	1,93	1,81	1,96	2,83	2,83	2,83	3,48	3,30	4,75	5,43	5,53	5,47	5,47	5,47	5,47	5,47	5,47
Al	mg/L	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075
Fe	mg/L	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,062	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105
Mn	mg/L	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Ba	mg/L	0,3605	0,3584	0,3858	0,3736	0,4096	0,3145	0,3221	0,3115	0,3512	0,9398	0,8386	0,9161	1,1382	0,8158	0,8162	0,8114	0,9207	0,7518	0,7518	0,7518	0,7518	0,7518	0,7518
Sr	mg/L	0,271	0,251	0,28	0,29	0,28	0,23	0,23	0,234	0,27	0,64	0,59	0,7	0,92	0,84	0,91	1,05	1,02	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
HCO3	mg/L	228,27	225,84	224,53	239,24	250,28	236,81	250,26	241,70	241,70	243,96	250,08	253,70	256,14	224,41	214,72	202,45	212,17	205,91	205,91	205,91	205,91	205,91	205,91
CO3	mg/L	0,04	0,03	0,08	0,05	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,13	0,12	0,14	0,14	0,14	0,10	0,13	0,15	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
NO3	mg/L	23,28	22,87	22,74	21,03	20,94	20,78	20,60	20,81	20,38	8,94	9,13	8,96	8,66	5,54	3,58	3,40	3,35	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23
NO2	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
SO4	mg/L	4,85	4,85	4,92	5,01	5,01	4,99	5,01	5,08	5,06	1,91	1,06	1,11	1,03	0,77	0,59	0,57	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Cl	mg/L	10,66	10,66	10,53	10,52	10,63	10,68	10,79	10,60	10,70	2,85	2,83	3,12	2,77	2,16	2,09	1,68	1,75	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
F	mg/L	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
HPO42	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Si	mg/L	13,19	11,29	13,78	11,73	11,58	12,58	13,85	13,87	14,2	15,98	17,16	16,83	18,59	19,16	19,53	19,5	20,05	19,49	19,49	19,49	19,49	19,49	19,49
EN%	%	-3,32	-2,47	0,03	-0,72	-2,65	1,2	-0,72	0,95	0,98	1,87	0,21	3,16	2,73	2,71	1,31	3,71	1,77	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57

	187 45	187 61	187 73	187 234	187 237	187 25
2 00 00	25.29	27.1	28.0	116.1	120.1	121.0
5 00 00	25.75	27.5	28.5	116.5	120.5	121.5
10 00 00	26.21	27.9	29.0	117.0	121.0	122.0
15 00 00	26.67	28.3	29.5	117.5	121.5	122.5
20 00 00	27.13	28.7	30.0	118.0	122.0	123.0
25 00 00	27.59	29.1	30.5	118.5	122.5	123.5
30 00 00	28.05	29.5	31.0	119.0	123.0	124.0
35 00 00	28.51	29.9	31.5	119.5	123.5	124.5
40 00 00	28.97	30.3	32.0	120.0	124.0	125.0
45 00 00	29.43	30.7	32.5	120.5	124.5	125.5
50 00 00	29.89	31.1	33.0	121.0	125.0	126.0
55 00 00	30.35	31.5	33.5	121.5	125.5	126.5
60 00 00	30.81	31.9	34.0	122.0	126.0	127.0
65 00 00	31.27	32.3	34.5	122.5	126.5	127.5
70 00 00	31.73	32.7	35.0	123.0	127.0	128.0
75 00 00	32.19	33.1	35.5	123.5	127.5	128.5
80 00 00	32.65	33.5	36.0	124.0	128.0	129.0
85 00 00	33.11	33.9	36.5	124.5	128.5	129.5
90 00 00	33.57	34.3	37.0	125.0	129.0	130.0
95 00 00	34.03	34.7	37.5	125.5	129.5	130.5
100 00 00	34.49	35.1	38.0	126.0	130.0	131.0
105 00 00	34.95	35.5	38.5	126.5	130.5	131.5
110 00 00	35.41	35.9	39.0	127.0	131.0	132.0
115 00 00	35.87	36.3	39.5	127.5	131.5	132.5
120 00 00	36.33	36.7	40.0	128.0	132.0	133.0
125 00 00	36.79	37.1	40.5	128.5	132.5	133.5
130 00 00	37.25	37.5	41.0	129.0	133.0	134.0
135 00 00	37.71	37.9	41.5	129.5	133.5	134.5
140 00 00	38.17	38.3	42.0	130.0	134.0	135.0
145 00 00	38.63	38.7	42.5	130.5	134.5	135.5
150 00 00	39.09	39.1	43.0	131.0	135.0	136.0
155 00 00	39.55	39.5	43.5	131.5	135.5	136.5
160 00 00	40.01	39.9	44.0	132.0	136.0	137.0
165 00 00	40.47	40.3	44.5	132.5	136.5	137.5
170 00 00	40.93	40.7	45.0	133.0	137.0	138.0
175 00 00	41.39	41.1	45.5	133.5	137.5	138.5
180 00 00	41.85	41.5	46.0	134.0	138.0	139.0
185 00 00	42.31	41.9	46.5	134.5	138.5	139.5
190 00 00	42.77	42.3	47.0	135.0	139.0	140.0
195 00 00	43.23	42.7	47.5	135.5	139.5	140.5
200 00 00	43.69	43.1	48.0	136.0	140.0	141.0
205 00 00	44.15	43.5	48.5	136.5	140.5	141.5
210 00 00	44.61	43.9	49.0	137.0	141.0	142.0
215 00 00	45.07	44.3	49.5	137.5	141.5	142.5
220 00 00	45.53	44.7	50.0	138.0	142.0	143.0
225 00 00	45.99	45.1	50.5	138.5	142.5	143.5
230 00 00	46.45	45.5	51.0	139.0	143.0	144.0
235 00 00	46.91	45.9	51.5	139.5	143.5	144.5
240 00 00	47.37	46.3	52.0	140.0	144.0	145.0
245 00 00	47.83	46.7	52.5	140.5	144.5	145.5
250 00 00	48.29	47.1	53.0	141.0	145.0	146.0
255 00 00	48.75	47.5	53.5	141.5	145.5	146.5
260 00 00	49.21	47.9	54.0	142.0	146.0	147.0
265 00 00	49.67	48.3	54.5	142.5	146.5	147.5
270 00 00	50.13	48.7	55.0	143.0	147.0	148.0
275 00 00	50.59	49.1	55.5	143.5	147.5	148.5
280 00 00	51.05	49.5	56.0	144.0	148.0	149.0
285 00 00	51.51	49.9	56.5	144.5	148.5	149.5
290 00 00	51.97	50.3	57.0	145.0	149.0	150.0
295 00 00	52.43	50.7	57.5	145.5	149.5	150.5
300 00 00	52.89	51.1	58.0	146.0	150.0	151.0
305 00 00	53.35	51.5	58.5	146.5	150.5	151.5
310 00 00	53.81	51.9	59.0	147.0	151.0	152.0
315 00 00	54.27	52.3	59.5	147.5	151.5	152.5
320 00 00	54.73	52.7	60.0	148.0	152.0	153.0
325 00 00	55.19	53.1	60.5	148.5	152.5	153.5
330 00 00	55.65	53.5	61.0	149.0	153.0	154.0
335 00 00	56.11	53.9	61.5	149.5	153.5	154.5
340 00 00	56.57	54.3	62.0	150.0	154.0	155.0
345 00 00	57.03	54.7	62.5	150.5	154.5	155.5
350 00 00	57.49	55.1	63.0	151.0	155.0	156.0
355 00 00	57.95	55.5	63.5	151.5	155.5	156.5
360 00 00	58.41	55.9	64.0	152.0	156.0	157.0
365 00 00	58.87	56.3	64.5	152.5	156.5	157.5
370 00 00	59.33	56.7	65.0	153.0	157.0	158.0
375 00 00	59.79	57.1	65.5	153.5	157.5	158.5
380 00 00	60.25	57.5	66.0	154.0	158.0	159.0
385 00 00	60.71	57.9	66.5	154.5	158.5	159.5
390 00 00	61.17	58.3	67.0	155.0	159.0	160.0
395 00 00	61.63	58.7	67.5	155.5	159.5	160.5
400 00 00	62.09	59.1	68.0	156.0	160.0	161.0
405 00 00	62.55	59.5	68.5	156.5	160.5	161.5
410 00 00	63.01	59.9	69.0	157.0	161.0	162.0
415 00 00	63.47	60.3	69.5	157.5	161.5	162.5
420 00 00	63.93	60.7	70.0	158.0	162.0	163.0
425 00 00	64.39	61.1	70.5	158.5	162.5	163.5
430 00 00	64.85	61.5	71.0	159.0	163.0	164.0
435 00 00	65.31	61.9	71.5	159.5	163.5	164.5
440 00 00	65.77	62.3	72.0	160.0	164.0	165.0
445 00 00	66.23	62.7	72.5	160.5	164.5	165.5
450 00 00	66.69	63.1	73.0	161.0	165.0	166.0
455 00 00	67.15	63.5	73.5	161.5	165.5	166.5
460 00 00	67.61	63.9	74.0	162.0	166.0	167.0
465 00 00	68.07	64.3	74.5	162.5	166.5	167.5
470 00 00	68.53	64.7	75.0	163.0	167.0	168.0
475 00 00	68.99	65.1	75.5	163.5	167.5	168.5
480 00 00	69.45	65.5	76.0	164.0	168.0	169.0
485 00 00	69.91	65.9	76.5	164.5	168.5	169.5
490 00 00	70.37	66.3	77.0	165.0	169.0	170.0
495 00 00	70.83	66.7	77.5	165.5	169.5	170.5
500 00 00	71.29	67.1	78.0	166.0	170.0	171.0
505 00 00	71.75	67.5	78.5	166.5	170.5	171.5
510 00 00	72.21	67.9	79.0	167.0	171.0	172.0
515 00 00	72.67	68.3	79.5	167.5	171.5	172.5
520 00 00	73.13	68.7	80.0	168.0	172.0	173.0
525 00 00	73.59	69.1	80.5	168.5	172.5	173.5
530 00 00	74.05	69.5	81.0	169.0	173.0	174.0
535 00 00	74.51	69.9	81.5	169.5	173.5	174.5
540 00 00	74.97	70.3	82.0	170.0	174.0	175.0
545 00 00	75.43	70.7	82.5	170.5	174.5	175.5
550 00 00	75.89	71.1	83.0	171.0	175.0	176.0
555 00 00	76.35	71.5	83.5	171.5	175.5	176.5
560 00 00	76.81	71.9	84.0	172.0	176.0	177.0
565 00 00	77.27	72.3	84.5	172.5	176.5	177.5
570 00 00	77.73	72.7	85.0	173.0	177.0	178.0
575 00 00	78.19	73.1	85.5	173.5	177.5	178.5
580 00 00	78.65	73.5	86.0	174.0	178.0	179.0
585 00 00	79.11	73.9	86.5	174.5	178.5	179.5
590 00 00	79.57	74.3	87.0	175.0	179.0	180.0
595 00 00	80.03	74.7	87.5	175.5	179.5	180.5
600 00 00	80.49	75.1	88.0	176.0	180.0	181.0
605 00 00	80.95	75.5	88.5	176.5	180.5	181.5
610 00 00	81.41	75.9	89.0	177.0	181.0	182.0
615 00 00	81.87	76.3	89.5	177.5	181.5	182.5
620 00 00	82.33	76.7	90.0	178.0	182.0	183.0
625 00 00	82.79	77.1	90.5	178.5	182.5	183.5
630 00 00	83.25	77.5	91.0	179.0	183.0	184.0
635 00 00	83.71	77.9	91.5	179.5	183.5	184.5
640 00 00	84.17	78.3	92.0	180.0	184.0	185.0
645 00 00	84.63	78.7	92.5	180.5	184.5	185.5
650 00 00	85.09	79.1	93.0	181.0	185.0	186.0
655 00 00	85.55	79.5	93.5	181.5	185.5	186.5
660 00 00	86.01	79.9	94.0	182.0	186.0	187.0
665 00 00	86.47	80.3	94.5	182.5	186.5	187.5
670 00 00	86.93	80.7	95.0	183.0	187.0	188.0
675 00 00	87.39	81.1	95.5	183.5	187.5	188.5
680 00 00	87.85	81.5	96.0	184.0	188.0	189.0
685 00 00	88.31	81.9	96.5	184.5	188.5	189.5
690 00 00	88.77	82.3	97.0	185.0	189.0	190.0
695 00 00	89.23	82.7	97.5	185.5	189.5	190.5
700 00 00	89.69	83.1	98.0	186.0	190.0	191.0
705 00 00	90.15	83.5	98.5	186.5	190.5	191.5
710 00 00	90.61	83.9	99.0	187.0	191.0	192.0
715 00 00	91.07	84.3	99.5	187.5	191.5	192.5
720 00 00	91.53	84.7	100.0	188.0	192.0	193.0
725 00 00	91.99	85.1	100.5	188.5	192.5	193.5
730 00 00	92.45	85.5	101.0	189.0	193.0	194.0
735 00 00	92.91	85.9	101.5	189.5	193.5	194.5
740 00 00	93.37	86.3	102.0	190.0	194.0	195.0
745 00 00	93.83	86.7	102.5	190.5	194.5	195.5
750 00 00	94.29	87.1	103.0	191.0	195.0	196.0
755 00 00	94.75	87.5	103.5	191.5	195.5	196.5
760 00 00	95.21	87.9	104.0	192.0	196.0	197.0
765 00 00	95.67	88.3	104.5	192.5	196.5	197.5
770 00 00	96.13	88.7	105.0	193.0	197.0	198.0
775 00 00	96.59	89.1	105.5	193.5	197.5	198.5
780 00 00	97.05	89.5	106.0	194.0	198.0	199.0
785 00 00	97.51	89.9	106			

	IPT 44	IPT 63	IPT 72	IPT 261	IPT 347	IPT 49
Q (m3/h)	12	6	2	4	11	16
NE (m)	29,25	27,72	96,67	115,8	126,23	51,36
t (min)	ND (m)	ND (m)	ND (m)	ND (m)	ND (m)	ND (m)
0,5	32,30	35,80	97,40	115,17	-	52,00
1	34,44	39,10	97,73	118,22	-	52,46
1,5	35,76	42,22	98,30	118,42	-	-
2	36,60	45,60	98,88	118,62	133,05	53,61
3	37,63	49,21	99,92	118,84	-	53,42
4	38,33	52,98	100,70	118,94	-	-
5	38,67	56,39	101,25	118,98	-	52,00
6	39,00	59,21	101,75	119,00	153,26	53,21
8	39,95	63,26	102,56	119,05	153,00	-
10	39,85	65,87	102,96	119,07	155,17	-
12	40,14	67,54	103,30	119,12	157,66	-
15	40,48	69,28	103,65	119,16	159,80	-
20	40,93	70,66	104,22	119,21	162,66	-
25	41,22	71,75	104,74	119,23	165,63	-
30	41,50	72,51	105,15	119,24	166,90	-
40	41,90	73,28	105,57	119,29	169,89	-
50	42,20	73,78	104,98	119,31	172,54	-
60	42,44	74,02	104,96	119,39	175,00	-
80	42,83	74,81	105,13	119,42	179,50	-
100	43,18	75,25	105,26	119,47	182,92	-
120	43,42	75,80	105,26	119,51	186,30	-
150	43,74	75,94	105,62	119,55	187,90	-
180	44,06	76,21	105,78	119,56	187,99	-
210	44,27	76,23	105,92	119,57	188,00	-
240	44,44	76,38	106,02	119,59	188,30	-
300	44,76	76,31	106,17	119,60	188,00	-
360	45,08	76,57	106,31	119,61	188,02	-
420	44,92	76,85	106,43	119,66	188,03	-
480	45,29	77,12	106,55	119,67	188,05	-
540	45,44	77,36	106,62	119,67	188,03	-
600	45,66	77,04	106,73	119,70	188,07	-
660	45,79	77,17	106,80	119,74	188,05	-
720	45,98	77,29	106,90	119,76	188,04	-
780	46,15	77,57	106,96	119,80	188,07	-
840	45,85	77,73	107,00	119,80	-	-
900	45,95	77,73	107,08	119,78	-	-
960	45,76	77,86	107,11	119,79	188,08	-
1020	45,56	77,81	107,15	119,80	188,11	-
1080	45,10	77,78	107,20	119,79	188,12	-
1140	45,18	77,72	107,23	119,82	189,50	-
1200	44,97	77,87	107,29	119,83	188,13	-
1260	44,91	78,11	107,28	119,85	-	-
1320	45,01	77,86	107,32	119,84	-	-
1380	45,20	77,63	107,46	-	-	-
1440	45,49	77,72	107,38	-	-	-

IPT 44 - Método de Theis (1935)



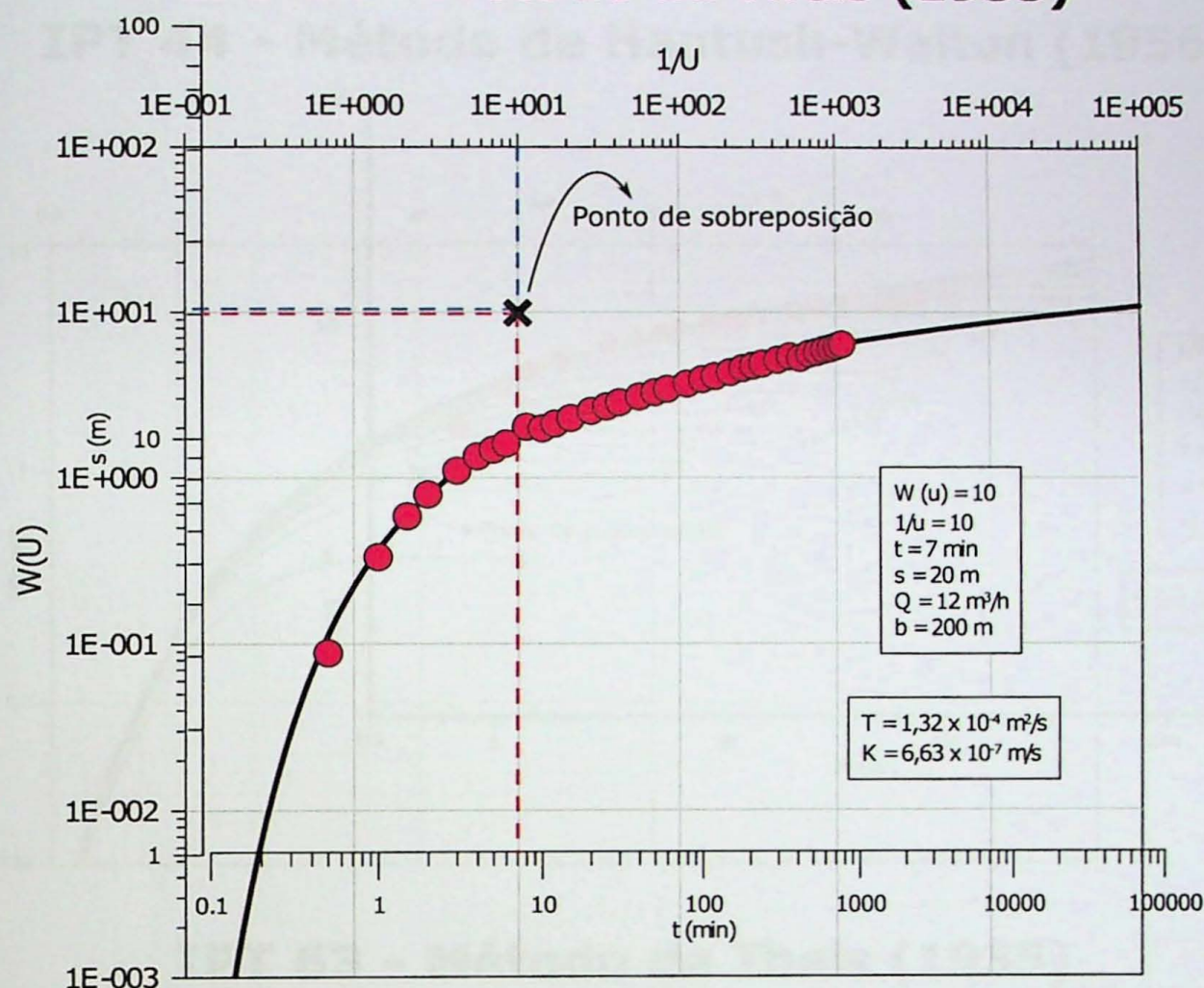
ANEXO III

Gráficos dos métodos de interpretação de testes de bombeamento

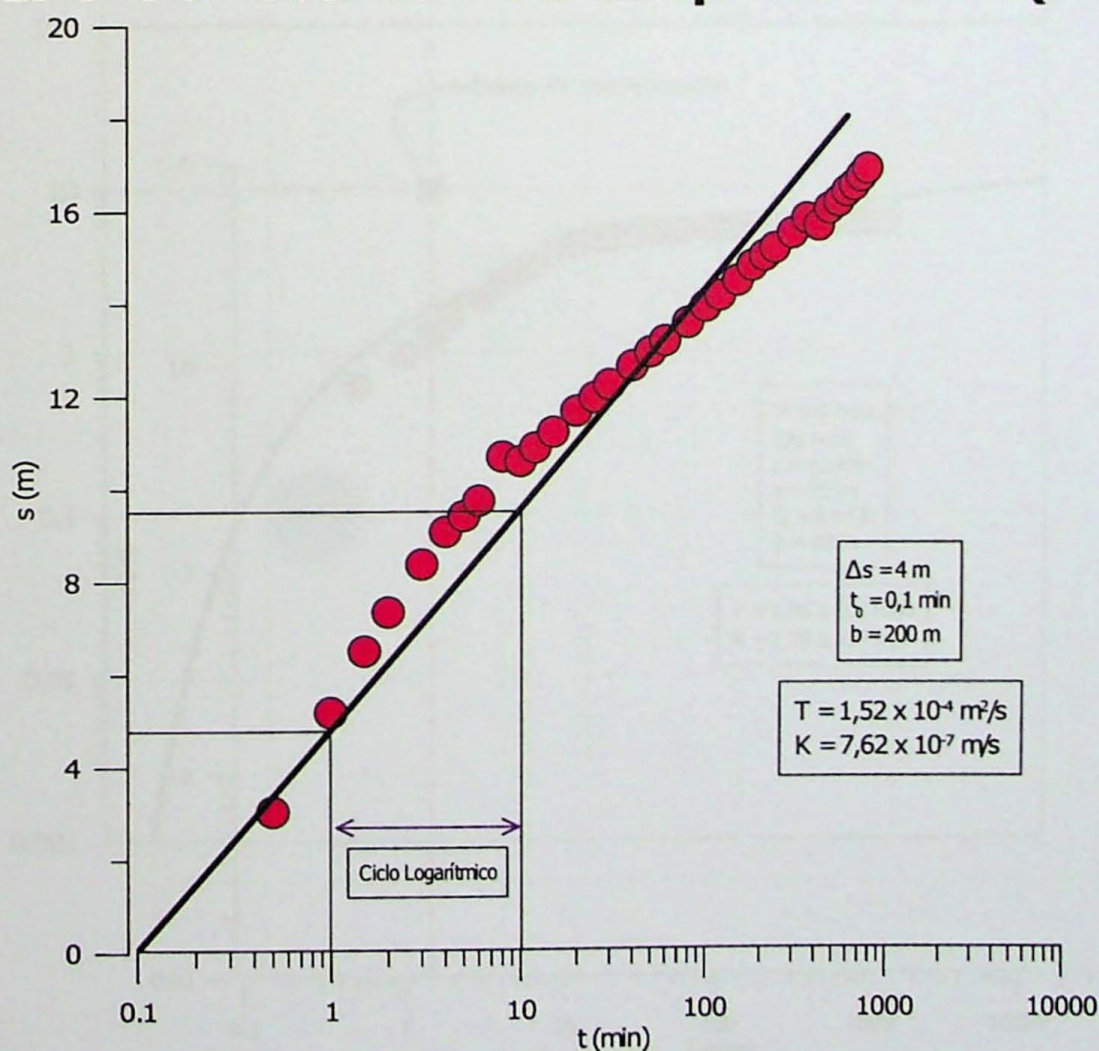
IPT 44 - Método de Cooper e Jacob (1946)



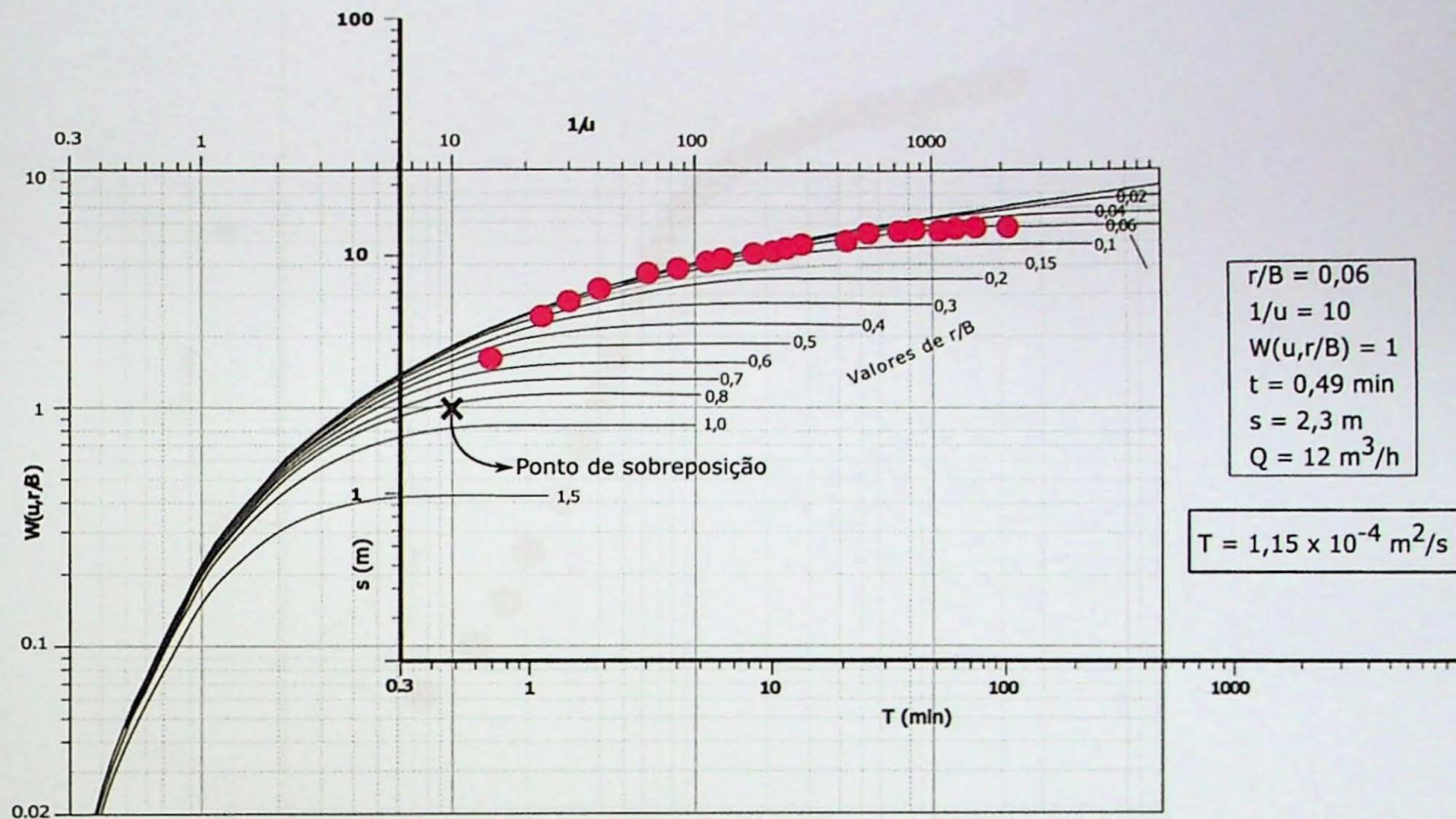
IPT 44 - Método de Theis (1935)



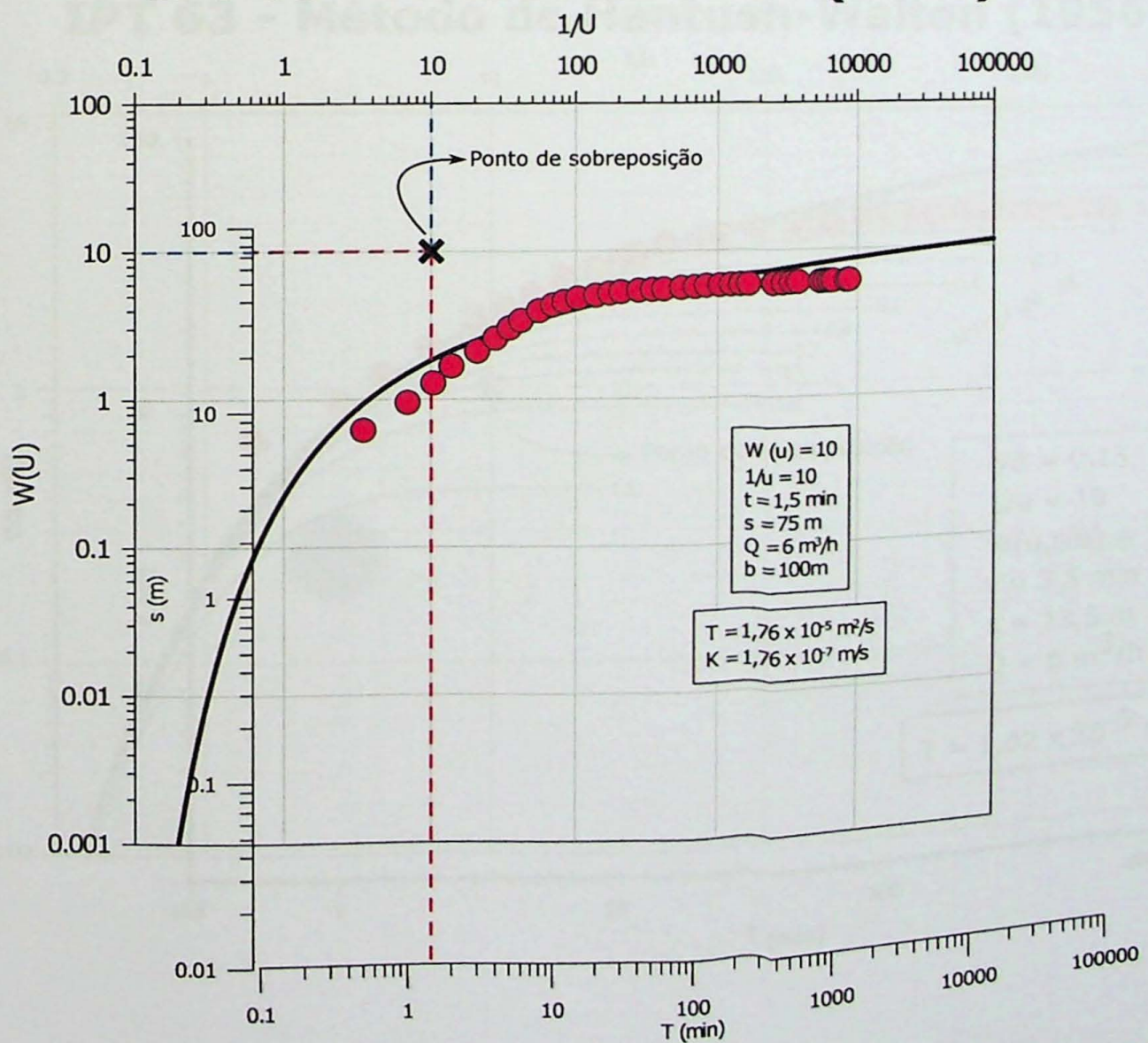
IPT 44 - Método de Cooper e Jacob (1946)



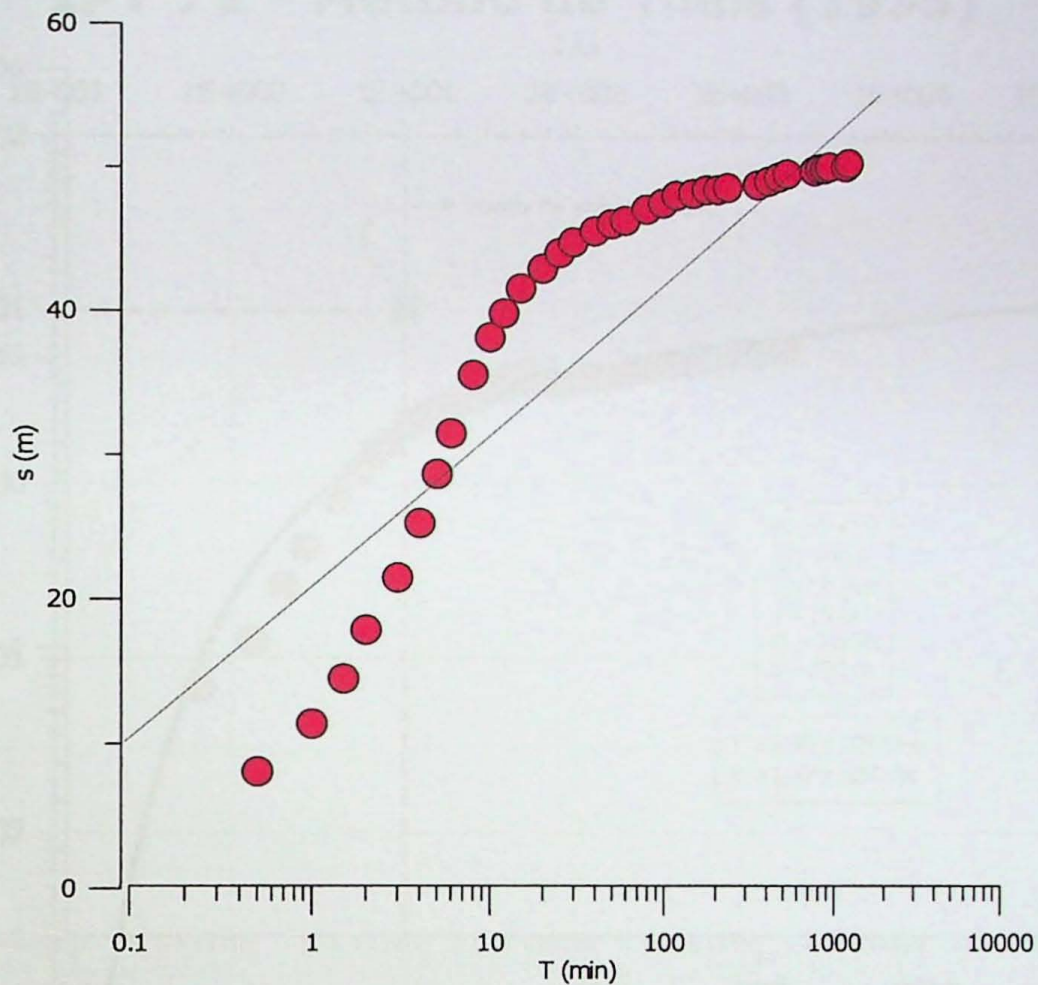
IPT 44 - Método de Hantush-Walton (1956)



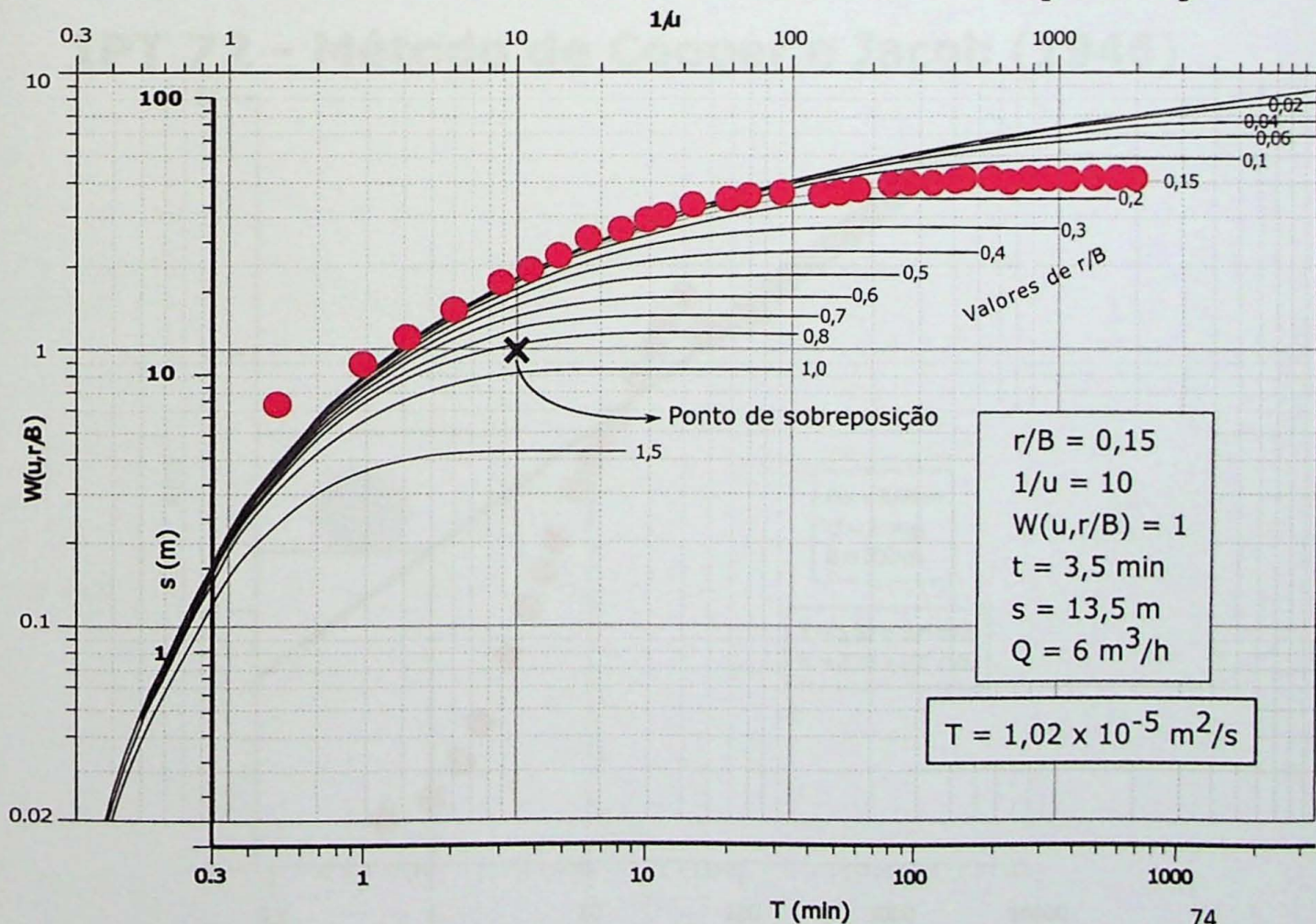
IPT 63 - Método de Theis (1935)



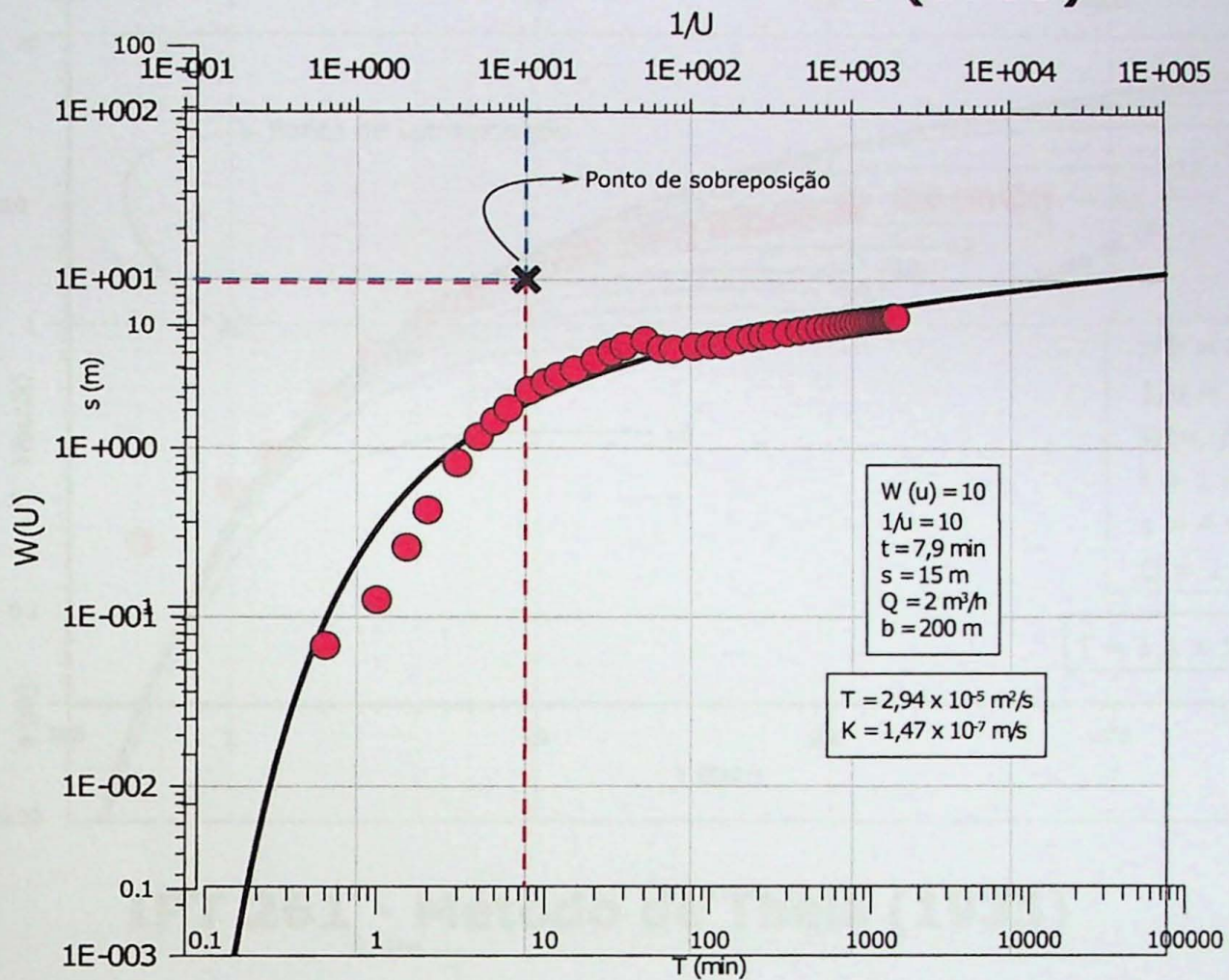
IPT 63 - Método de Cooper e Jacob (1946)



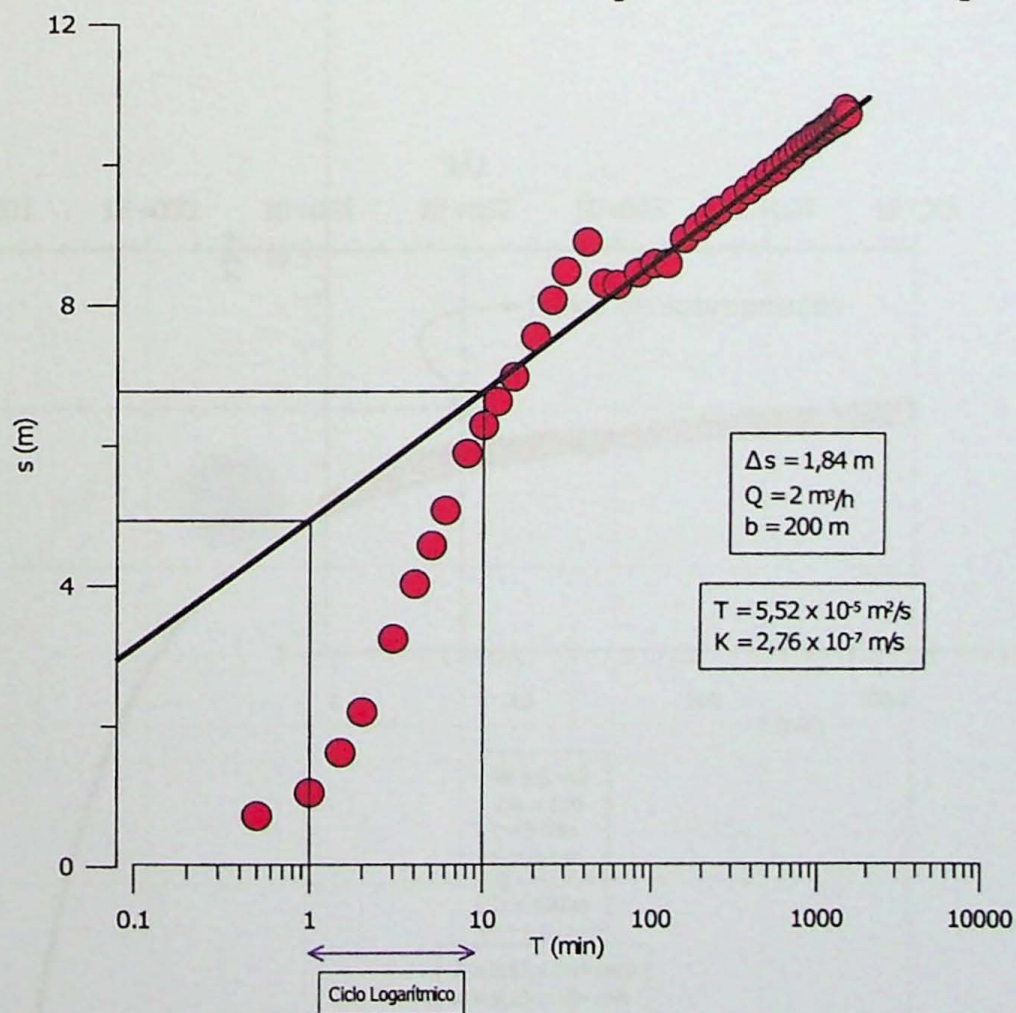
IPT 63 - Método de Hantush-Walton (1956)



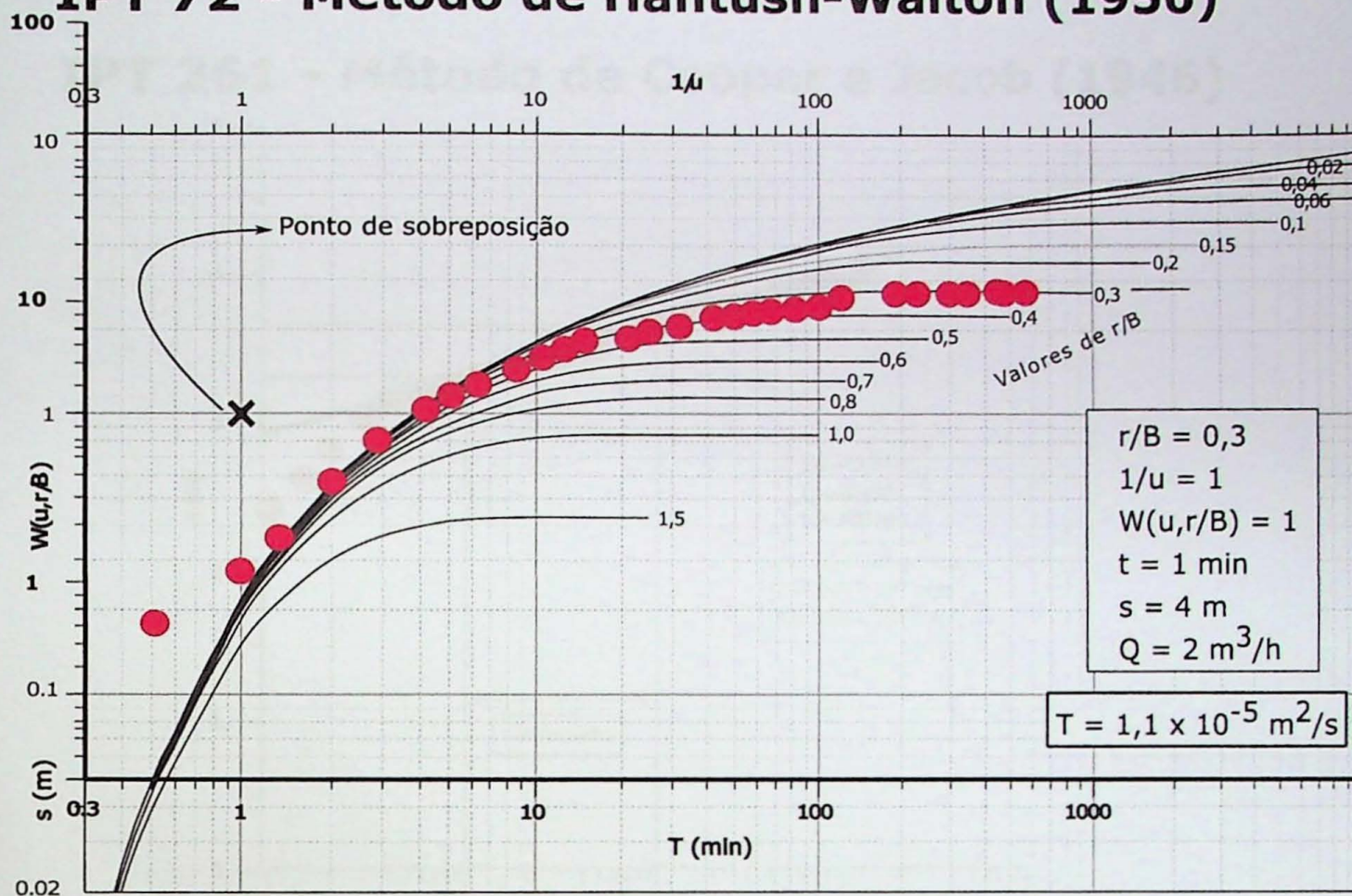
IPT 72 - Método de Theis (1935)



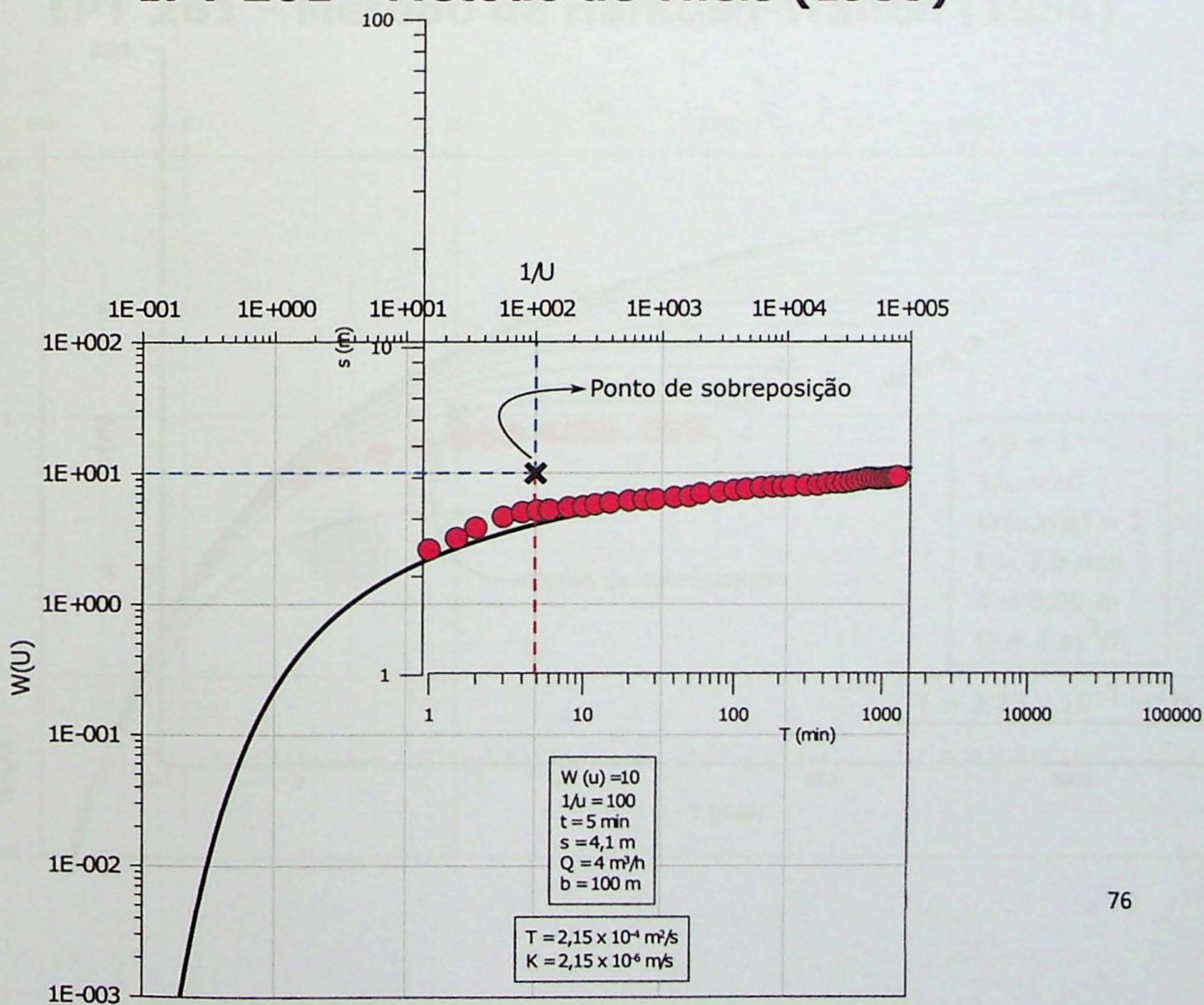
IPT 72 - Método de Cooper e Jacob (1946)



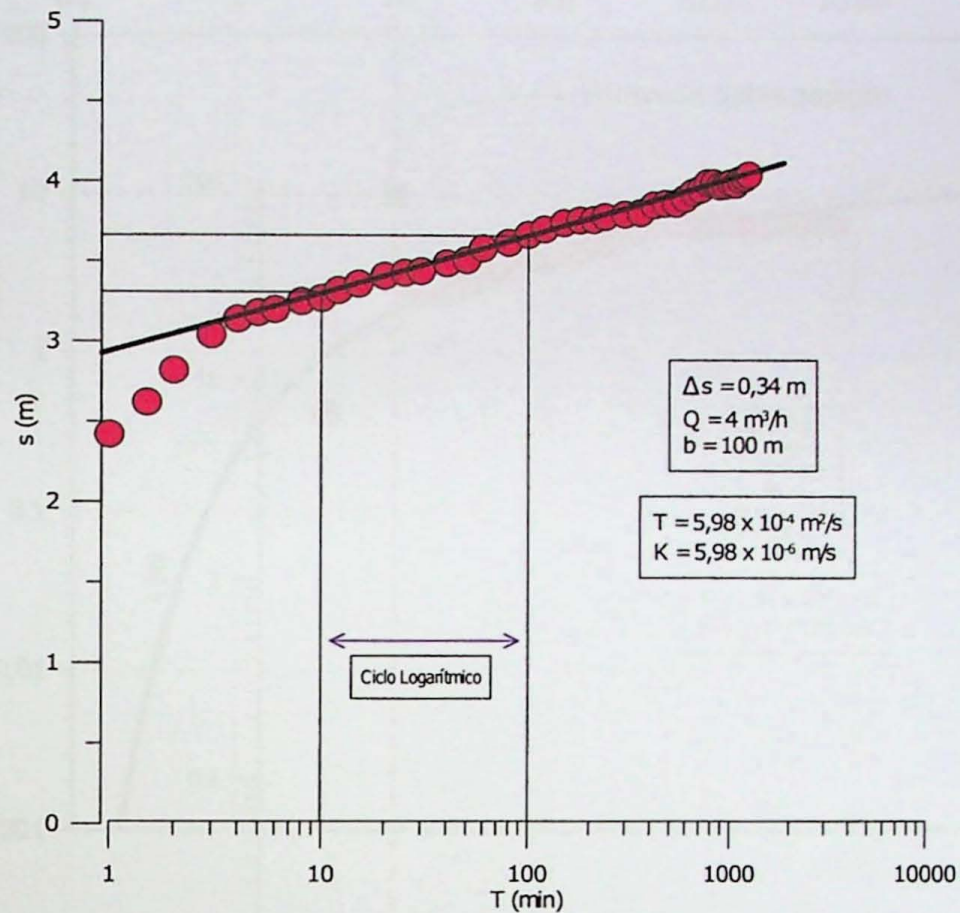
IPT 72 - Método de Hantush-Walton (1956)



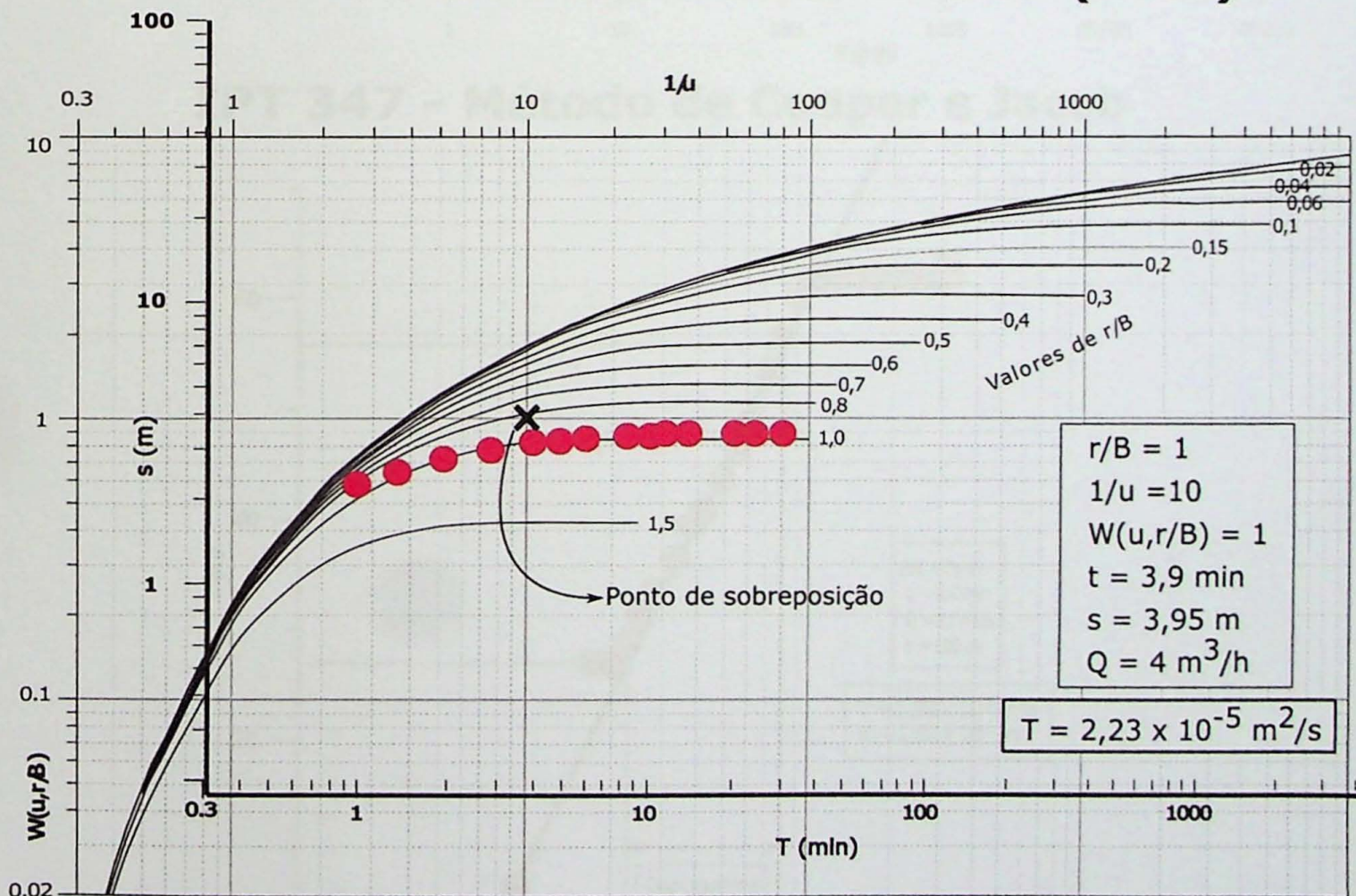
IPT 261 - Método de Theis (1935)



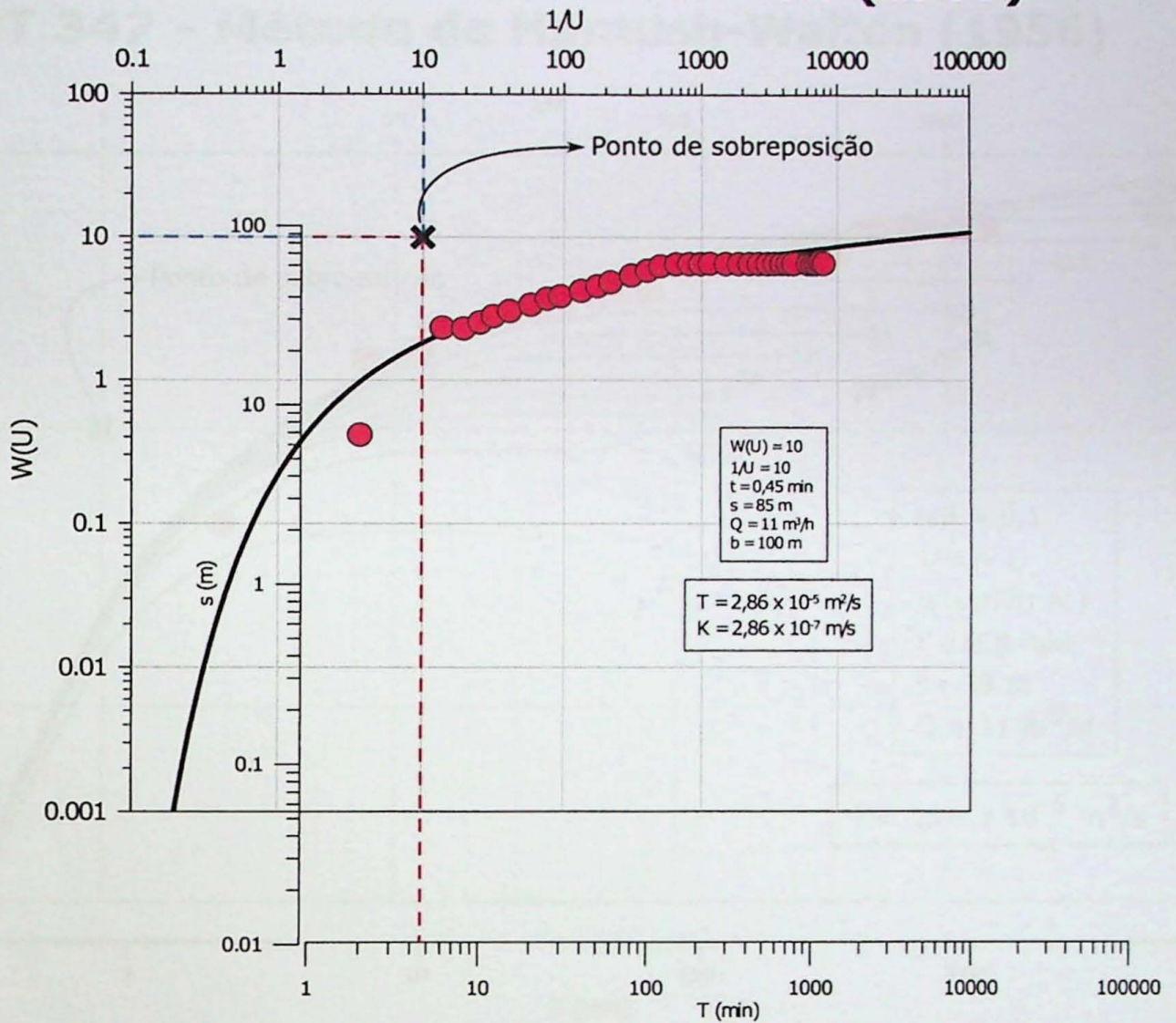
IPT 261 - Método de Cooper e Jacob (1946)



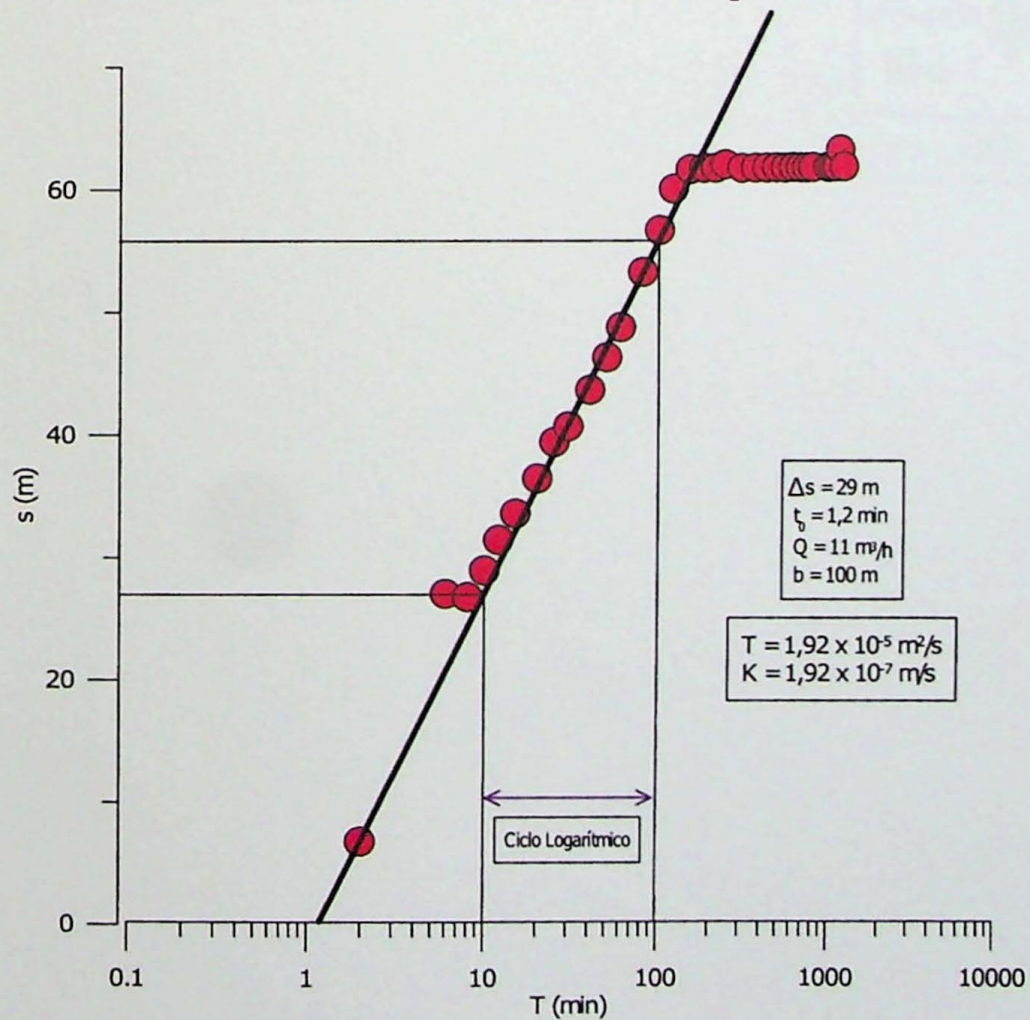
IPT 261 - Método de Hantush-Walton (1956)



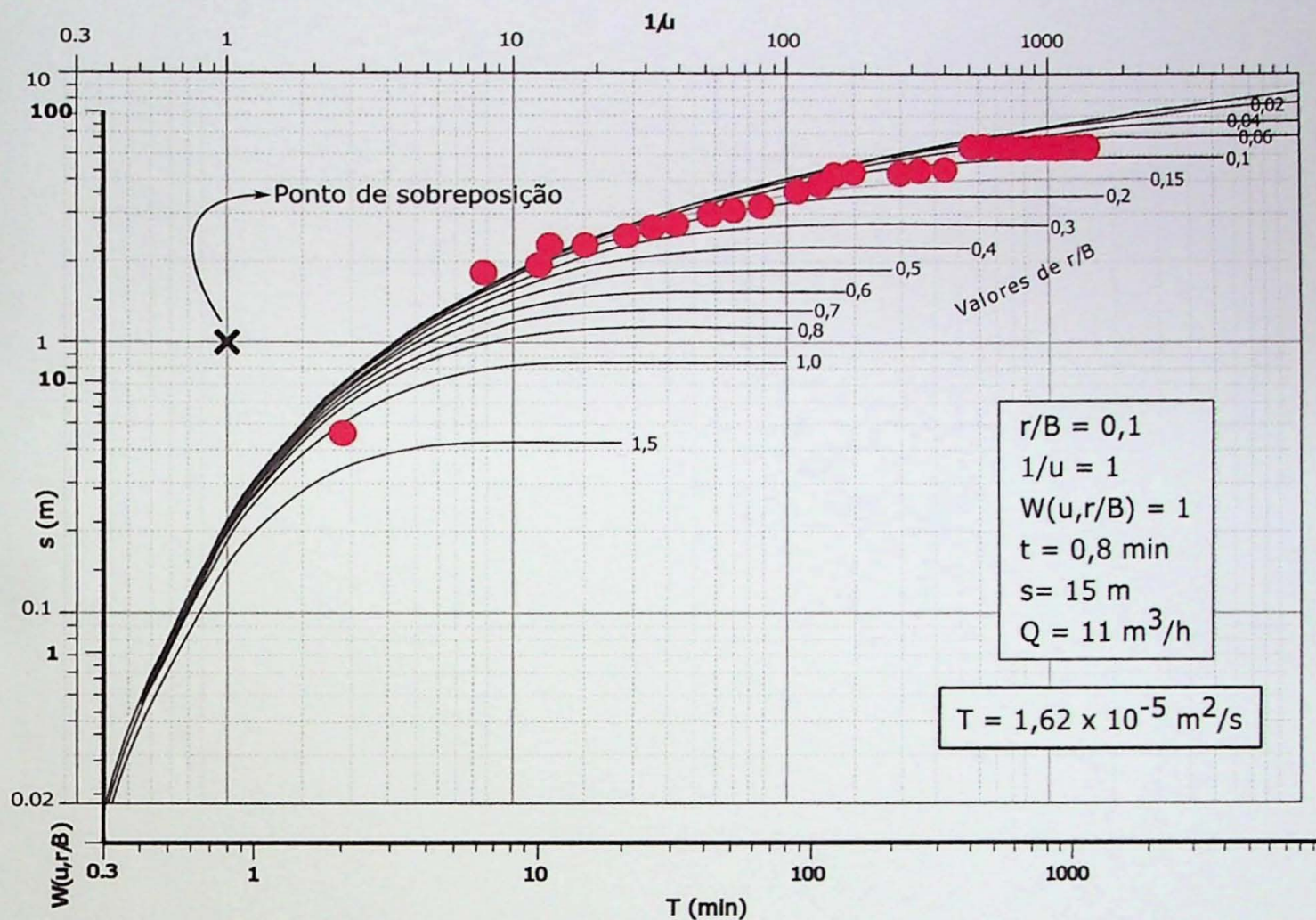
IPT 347 - Método de Theis (1935)



IPT 347 - Método de Cooper e Jacob



IPT 347 - Método de Hantush-Walton (1956)



DOAÇÃO *Graduação*
 1Gc
 Data: 20 / 03 / 18

