



Estudos de Caso e Notas

Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Levantamento das características hidrogeológicas do Aquífero Barreiras e Itapecuru na bacia hidrográfica do Rio Paciência-MA.

Survey of the hydrogeological characteristics of the Barreiras And Itapecuru Aquifer in the Rio Paciência-MA Hydrographic Basin-MA.

Gabriel Irvine Ferreira Alves dos Santos¹; Delony de Queiroz Ribeiro²; Walefe Lopes da Cruz³; Edilea Dutra Pereira⁴✉.

¹Universidade Federal do Maranhão., São Luís, Maranhão.

²Universidade Federal do Maranhão., São Luís, Maranhão.

³Universidade Federal do Maranhão., São Luís, Maranhão.

⁴Universidade Federal do Maranhão., São Luís, Maranhão.

✉ gabrielirvine@hotmail.com¹, idelony@hotmail.com², walefe.lopecruz@gmail.com³, edileap@gmail.com⁴

Resumo

Palavras-chave:

Aquífero Barreiras e Itapecuru
Água subterrânea.
Bacia Hidrográfica do rio Paciência.

A bacia hidrográfica do rio Paciência, localiza-se na região central da Ilha do Maranhão, e possui uma área de 145,7 km², sendo constituída pelo rio principal Paciência, que possui uma extensão de 32 km, sendo um dos mais importantes mananciais genuinamente ludovicenses. Este trabalho tem como objetivo principal de contribuir para o conhecimento do comportamento hidrodinâmico dos aquíferos pertencentes aos Grupos Barreiras e Itapecuru, destacando suas potencialidades e vulnerabilidade bem como subsidiar para um acréscimo de conhecimento desses parâmetros no qual são imprescindíveis para a tomada de decisão pelos órgãos responsáveis pela gestão hídrica das cidades. A caracterização dos aquíferos Barreiras e Itapecuru foi realizada a partir da análise dos dados hidrodinâmicos dos 13 poços tubulares da CAEMA e de 12 poços tubulares pertencentes ao SAAE (Paço do Lumiar). Dentre os resultados obtidos na análise das características hidrodinâmicas dos poços, destaca-se que os poços da CAEMA, possuem as seguintes médias: Profundidade de 69m, Vazão de 19,04 m³/h, Nível Estático de 19,20m, Rebaixamento de 4,75m e uma Espessura de 38m, os poços do SAAE, possuem as seguintes médias: Profundidade de 56,83m e Vazão de 24,16 m³/h. Partindo da análise desses dados compreende-se que se faz necessário aplicabilidade de políticas ambientais que possam coibir o uso inadequado desses aquíferos, sobretudo por sua grande importância para manutenção de hídrica na Ilha.

Keywords

Barreiras and Itapecuru Aquifer
Subterranean water.
Hydrographic Basin of the Paciência river.

Abstract

The hydrographic basin of the Paciência river, is located in the central region of Ilha do Maranhão, and has an area of 145.7 km², being constituted by the main Paciência river, which has an extension of 32 km, being one of the most important genuinely ludovicense sources. This work has as main objective to contribute to the knowledge of the hydrodynamic behavior of the aquifers belonging to the Barreiras and Itapecuru Groups, highlighting their potential and vulnerability as well as subsidizing for an increase in knowledge of these parameters in which they are essential for decision-making by bodies responsible for water management in cities. The characterization of the Barreiras and Itapecuru aquifers was carried out by analyzing the hydrodynamic data of the 13 tubular wells of CAEMA and 12 tubular wells belonging to SAAE (Paço do Lumiar). Among the results obtained in the analysis of the hydrodynamic characteristics of the wells, it is noteworthy that the CAEMA wells have the following averages: Depth of 69m, Flow of 19.04 m³/h, Static Level of 19.20m, Lowering of 4.75m and a thickness of 38m, the SAAE wells have the following averages: depth of 56.83m and flow of 24.16 m³/h. Based on the analysis of these data, it is understood that it is necessary to apply environmental policies that can prevent the inappropriate use of these aquifers, especially because of their great importance for maintaining water on the Island.

DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i1.29811>

1. INTRODUÇÃO

Dado que como consequência do adensamento urbano surgiram vários problemas como a ocupação do solo em áreas estratégicas para a recarga de aquíferos, sem prévio planejamento, resultando em vários impactos ambientais, no que tange principalmente ao solo e os recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos.

Em decorrência dos processos intrínsecos a urbanização, tal como substituição da paisagem natural frente ao aumento da área impermeabilizada causada pela implantação de pavimentação asfáltica, calçamento e residências causam um desequilíbrio no processo natural do ciclo hidrológico, sobretudo na infiltração da água, inviabilizando a recarga efetiva de aquíferos e promovendo um elevado escoamento superficial.

Ademais, esse grande contingente populacional demanda grandes quantidades de água, visto que os sistemas de abastecimento Italuís, Sacavém e Batatã não possuem vazão suficiente para suprir a necessidade de toda cidade. Em virtude disso há elevada pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos e eventualmente os aquíferos podem sofrer com superexploração causada pelas grandes quantidades de poços em bombeamento, além da contaminação causada por perfurações realizadas sem prévia análise do local e clandestinas.

Todos esses problemas interferem diretamente na quantidade e qualidade da água subterrânea, que por sua vez também sofre influência da cunha salina no baixo curso da bacia. Por isso os estudos hidrogeológicos são necessários para conhecer as potencialidades e vulnerabilidades dos aquíferos do Grupo Barreiras e Itapecuru na bacia hidrográfica do rio Paciência que é imprescindível para o abastecimento de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa.

Desse modo, este trabalho tem como objetivo principal de contribuir para o conhecimento do comportamento hidrodinâmico dos aquíferos pertencentes ao Grupo Barreiras e Grupo Itapecuru, destacando suas potencialidades e vulnerabilidade bem como subsidiar para um acréscimo de conhecimento desses parâmetros no qual são imprescindíveis para a tomada de decisão pelos órgãos responsáveis pela gestão hídrica das cidades.

2. METODOLOGIA

2. 1. Levantamento e Análise de Material Bibliográfico

Os procedimentos metodológicos para a investigação do problema constaram de levantamento e análise de materiais relacionados com a temática, principalmente na Biblioteca Central da Universidade Federal do Maranhão - UFMA, Laboratório de Hidrobiologia (LABOHIDRO-UFMA) e nas bases de dados do Laboratório de Estudos de Bacias Hidrográficas (LEBAC-UFMA), além de consultas em acervos particulares, nas Coordenadorias de Hidrogeologia da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) e nos relatórios de perfuração Serviço Autônomo Água e Esgoto (SAAE) do município de Paço do Lumiar.

2. 2. Trabalhos de Campo

Nesta etapa foram feitos os reconhecimentos do campo da pesquisa, nos anos de 2016 a 2019. Estes momentos foram de grande importância na determinação dos limites da área em estudo, sendo observadas ainda características relativas à ocupação, cobertura vegetal, problemas ambientais, características topográficas, cursos d'água entre outros, registrando-se as observações através de anotações, fotografias além do georreferenciamento realizado por meio de aparelho GPS *Garmin 78 S*.

Foram realizados o georreferenciamento dos 12 poços tubulares pertencentes ao SAAE- Serviço Autônomo Água e Esgoto (SAAE) do município de Paço do Lumiar e seus registros fotográficos. Esta atividade foi realizada conjuntamente com a equipe técnica do SAAE, em 2016 (Foto 01).

Foto 01 – Trabalho de Campo com a Equipe do SAAE, Paço do Lumiar, Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

2. 3. Elaboração do Material Cartográfico

A base cartográfica foi elaborada no ambiente SIG - Sistema de Informação Geográfica, e consistiu na delimitação e definição da rede de drenagem da bacia do rio Paciência. Para tanto, foram utilizadas as Cartas Planimétricas da DSG de 1980, Folhas 07, 08, 09, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 31, 32 e 33, em escala 1:10.000, da Ilha do Maranhão, as quais foram editadas e reunidas em forma de mosaico, facilitando assim, a leitura das cotas altimétricas, dos cursos d'água e dos limites da bacia.

Com o auxílio da imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil - DSR/INPE de 2008 com Resolução Espacial de 30 metros trabalhou-se com a questões relacionados ao modelo digital do terreno. Esta que primeiramente passou por um tratamento para a correção de erros com base em técnicas envolvem mosaico, conversão de *Float32* para *UInt16*, reprojeção e recorte.

As informações da drenagem e das nascentes foram comparadas com as de 1980, encontradas nas folhas cartográficas DSG, e atualizadas a partir das curvas de nível e da análise da *DigitalGlobe*, WV02 e GEO1, 2017, disponível no *ArcMap*. Além disso, ocorreu a aquisição de bases cartográficas relativas à organização do território.

O Sistema de Informação Geográfica como ferramenta ao planejamento ambiental, tem sido muito utilizado para fins de planejamento e manejo de recurso natural a nível urbano, regional, estadual e nacional de órgãos governamentais (LIMA, 1996).

2. 4. Perfil litológico e determinação dos dados hidrodinâmicos

Foi elaborado um perfil do substrato geológico através da análise dos dados da planilha da coluna estratigráfica de 13 poços tubulares da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão - CAEMA (2016) e a vazão de 12 poços tubulares pertencentes ao SAAE- Serviço Autônomo Água e Esgoto (SAAE) (2016) do município de Paço do Lumiar que forneceram a indicação das características litológicas e hidrodinâmicas dos aquíferos Itapecuru e Barreiras e sua espessura ao longo do rio Paciência.

3. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

A Ilha do Maranhão (São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa) ocupa parte setentrional do Golfão Maranhense, parte integrante da Bacia Costeira de São Luís, formada por rifteamento durante o Cretáceo (Eocretáceo-Albiano), conforme Rodrigues *et al.* (1994).

A Ilha é formada por rochas e sedimentos do Grupo Itapecuru e Grupo Barreiras respectivamente, e estas estão cobertas por uma superfície de crosta ferruginosa que acompanha o relevo que atinge aproximadamente 60 metros, as baixas altitudes apresentam nas faixas

de 0 - 5 m nas planícies flúvio-marinhas; nos níveis de 20 a 30 metros, as suaves colinas dissecadas; e nas altitudes maiores, 40 a 60 metros, tem-se a presença dos tabuleiros . (PEREIRA, 2006).

Considerando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos proposto pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2006), têm-se, na bacia do rio Paciência, as seguintes classes de solos: Argissolo, Neossolo, Gleissolo e os Solos Indiscriminados de Mangue, especificamente na área de estudo da porção superior da bacia foi encontrado os Neossolos Quartzarênicos e os gleissolos.

Segundo a classificação de Köppen (STRAHLER, 1960 *apud* PEREIRA, 2006), o clima na área é representado pelo tropical chuvoso, com estação seca de inverno. A sazonalidade da chuva na área é marcante indicando o período chuvoso de janeiro a junho e o período seco de julho a dezembro.

O modelo hidrogeológico da Ilha do Maranhão é composto por dois aquíferos. O primeiro aquífero semi-confinado, relacionado aos sedimentos cretáceos do Grupo Itapecuru (Formação Cujupe) e o segundo o aquífero livre do Grupo Barreiras constituído pelos sedimentos neógenos (PEREIRA, 2006).

A bacia hidrográfica do rio Paciência situa-se nos municípios de São Luís, São José de Ribamar e Paço do Lumiar, na porção central da Ilha do Maranhão (Figura 01). O acesso pode ser realizado pelas vias terrestres MA-201 e MA-203, e via marítima através de pequenos portos ao longo da desembocadura do rio principal.

A bacia hidrográfica do rio Paciência com uma área de 145,7 km², padrão dendrítico e de 4^a ordem, é constituída pelo rio principal Paciência, estando na margem direita os rios Itapiracó, Santa Rosa, Saramanta, Prata Miritiua e pelos igarapés da margem esquerda, Iguaíba, Cristóvão, Cajueiro, Maiobão e Genipapeiro e Cumbique, dentre outros. O rio Paciência, principal corpo hídrico da bacia, apresenta um curso de 32 km inserido num ambiente estuarino que se desenvolve no sentido nordeste da Ilha de São Luís, desembocando na Baía de São José. Em relação ao padrão de drenagem, o rio Paciência apresenta o tipo dendrítico ou arborescente.

Figura 01 – Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência, Ilha do Maranhão.

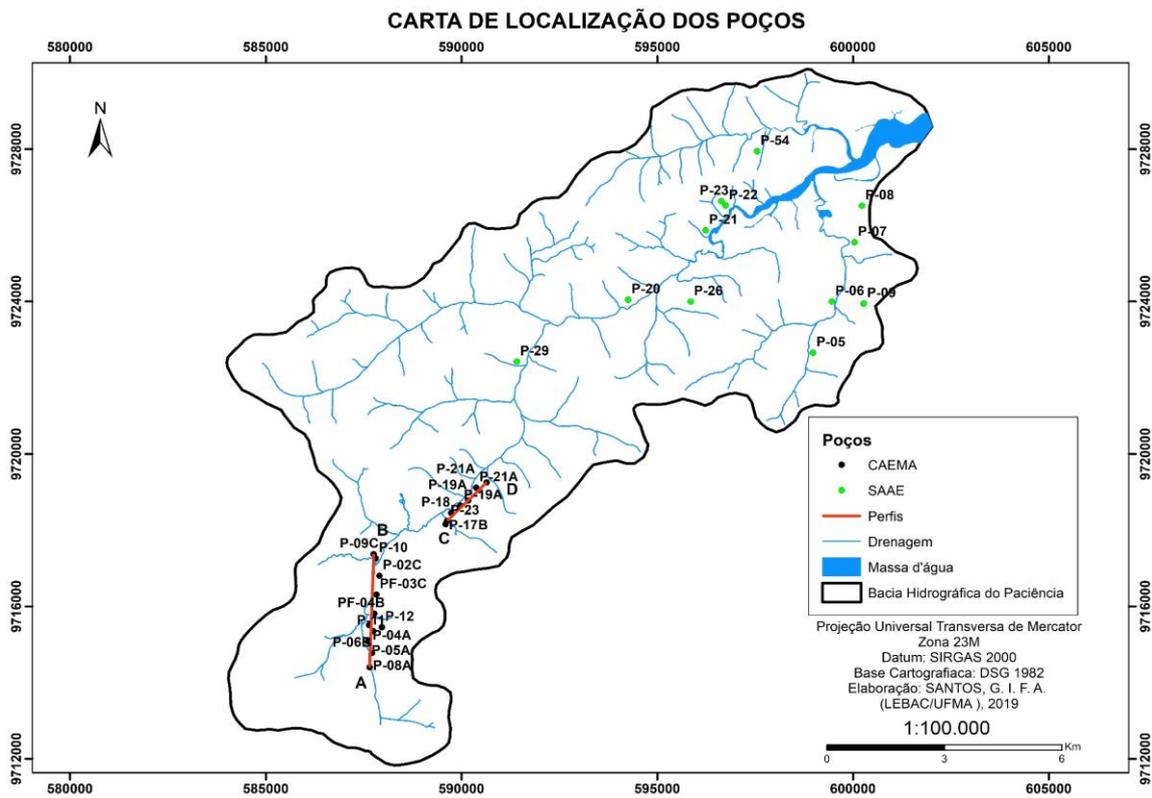


Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

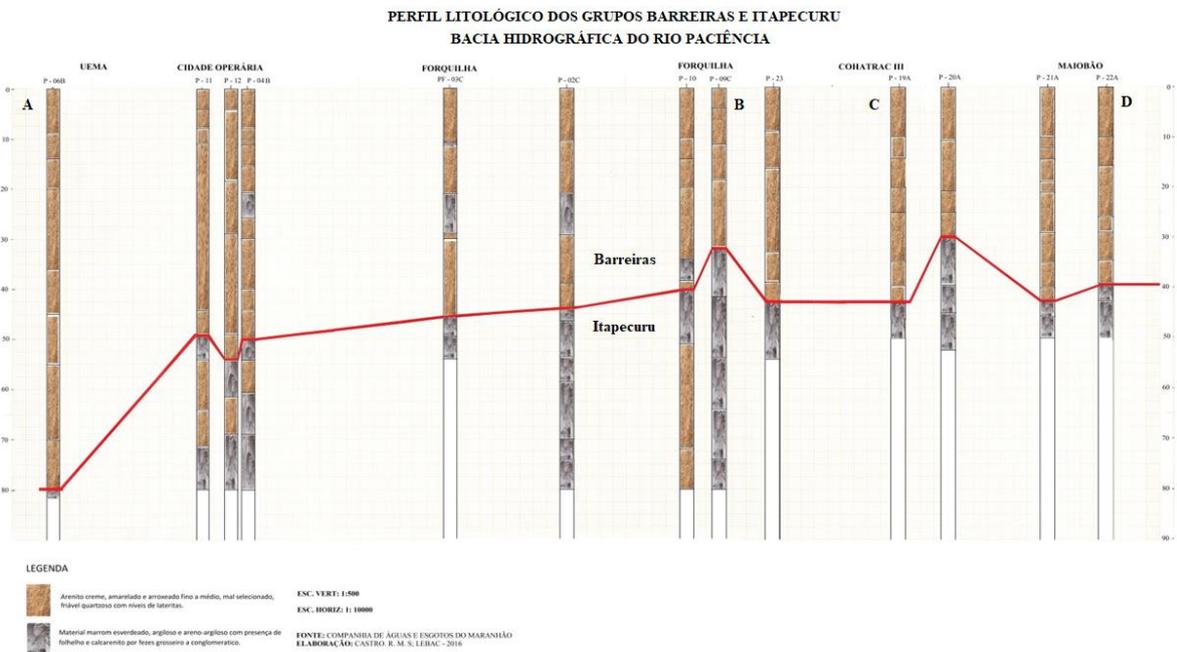
Foi realizado o levantamento de poços tubulares para entendermos o comportamento hidrodinâmico dos aquíferos na área da bacia do rio Paciência, sendo identificados na área no alto curso da bacia 18 poços tubulares de propriedade da CAEMA - Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (2016) e no médio e baixo curso foram identificados 14 poços pertencentes ao SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Paço do Lumiar (2016) (Figura 02).

Figura 02 – Carta de Drenagem/Perfil dos Poços, Bacia Hidrográfica do Rio Paciência, Ilha do Maranhão.



As características litológicas e espessura dos aquíferos Barreiras e Itapecuru foram analisadas a partir dos dados de perfis litológicos A-B e C-D, de 13 (treze) poços tubulares do Sistema Paciência I e II (Figura 03).

Figura 03 – Perfil Esquemático do Substrato Geológico Subterrâneo – Bacia Hidrográfica do Rio Paciência –SL.



O aquífero Barreiras é constituído por clásticos finos a grosseiros, reunindo arenitos médios a conglomeráticos, siltitos e argilas. Constitui um sistema livre, descontínuo, heterogêneo de boa permeabilidade. Acha-se influenciado pelas feições topográficas do terreno, sendo

suas águas comumente drenadas para locais mais baixos, onde o lençol subterrâneo aflora, originando a fontes ou surgências, que em alguns casos correspondem às nascentes de pequenos córregos ou aumentam o caudal de rios, constituindo os principais exutórios desse aquífero. Sua profundidade média de exploração varia de 60 a 80 metros (MARANHÃO, 1997).

O aquífero Itapecuru é em sua composição formado por sequências cíclicas variáveis de argila e areia. A recarga desse aquífero é realizada principalmente, através da infiltração direta das precipitações pluviométricas e pelos rios que o drenam. O nível de variação média de profundidade das águas (nível dinâmico e nível estático) é da ordem de 9m e vazão específica média de 2,94 m³/h/m, verificando-se um valor máximo de 21,5 m³/h/m e mínimo de 1,4 m³/h/m (RODRIGUES et. al.1994).

O aquífero Barreiras do período Neogeno na bacia do rio Paciência é representado por clásticos de colorações cremes, amarelado e arroxeado reunindo arenitos fino a conglomeráticos, regularmente selecionado, friável, angulosos, com nível de lateritas ocasionalmente. Constitui um sistema de aquífero livre, descontínuo, heterogêneo de boa poro-permeabilidade. Ocorrem nos tabuleiros e colinas com altitudes aproximadas de 60 a 15 metros na área enfocada.

A maior espessura do Grupo Barreiras na bacia varia de 77 a 50 metros na área da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA e do Bairro Cidade Operária, diminuindo em direção ao curso inferior com 50 a 40 metros. O contato com o Grupo Itapecuru ocorre de forma brusca a gradacional geralmente passando da litologia arenosa para a argilosa e areno-argilosa.

O aquífero Itapecuru do período Cretáceo na bacia é constituído por sedimentos de coloração marrom e marrom esverdeada, argiloso e argilo-arenoso com presença de folhelhos e calcarenitos. Constitui um sistema aquífero semi-confinado. No aquífero Itapecuru geralmente a concessionária CAEMA coloca os filtros para captação da água subterrânea que passa por drenança vertical pelos arenitos do Grupo Barreiras, onde a água pluvial infiltra, geralmente um pouco ácida, e durante a infiltração pelos estratos sedimentar, se enriquece de sais minerais e outras substâncias, para correção natural do Potencial hidrogeniônico (pH) da água subterrânea.

A CAEMA possui duas baterias de poços (Sistemas Paciência I e II) no total de 18 (dezoito) que estão localizados estrategicamente no alto curso da bacia, seguindo o fluxo preferencial da água subterrânea, se localizam na área de descarga na planície do rio Paciência. Esses poços estão nos domínios hidrogeológicos do Grupo Barreiras e Grupo Itapecuru (Quadro 01).

Quadro 01 – Dados hidrodinâmicos dos Poços tubulares – Bacia Hidrográfica do Rio Paciência –SL.

Sigla	Prof. (m)	Vazão (m ³ /h)	NE (m)	ND (m)	Rebaixamento (m)	Espessura(m)
P-02C	80	23,29	4,58	7,71	2,73	36
PF-03C	-	-	-	-	-	-
P-04B	-	-	-	-	-	-
P-04A	81	14	9,20	11,20	2,00	40
P-05A	*48	-	7,00	24,13	-	-
P-06B	81	-	5,85	21,50	-	-
P-08A	*48	16,16	6,85	13,00	6,15	28
P-09C	80	14,4	4,22	5,95	1,73	40
P-10	80	16,16	4,52	16,64	12,12	40
P-11	80	12,00	11,33	25,09	13,76	40
P-12	80	18,80	11,80	21,80	10,00	40
P-17B	*46	-	2,13	23,0	-	-
P-18	60	20	1,48	3,24	1,76	-
P-19A	50	24,75	2,0	29,51	1,55	-
P-20A	50	24,00	3,33	41,10	2,35	-
P-21A	50	21,05	2,02	29,88	1,79	-
P-22A	50	22,62	3,33	28,91	4,54	-
P-23	80	20,30	3,30	4,60	1,30	40
Média	69	19,04	5,18	19,20	4,75	38

Fonte: CAEMA -Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão, 2016 e Dados da Pesquisa, 2019, * dados não contabilizados na média.

Os doze poços tubulares do SAAE estão localizados no médio e baixo curso da bacia do rio Paciência apresentam em média 57 metros e uma vazão de 24,2 m³/h. destaca-se que a maior vazão encontrada foi de 40 m³/h e a menor de 10 m³/h. Infelizmente o SAAE não possui em seus arquivos os parâmetros hidrodinâmicos dos poços tubulares sob sua responsabilidade (Tabela 01).

Tabela 01 – Dada hidrodinâmicos dos Poços tubulares do SAAE -- Bacia Hidrográfica do Rio Paciência - Paço do Lumiar.

Poço Tubular	Profundidade (m)	Vazão (m ³ /h)
P-05	60	20
P-06	48	40
P-07	42	35
P-08	32	10
P-09	70	30
P-20	48	40
P-21	48	10
P-22	95	35
P-23	42	10
P-26	95	25
P-29	42	25
P-54	60	10
Média	56,83	24,16

Fonte: SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto, 2016 e Dados da Pesquisa, 2019.

As características hidrodinâmicas indicaram a partir dos poços tubulares bombeados no Grupo Itapecuru uma condutividade hidráulica (K) de $1,4 \times 10^{-5}$ m²/s, transmissividade (T) de 7×10^{-5} m²/s e coeficiente de armazenamento (S) de $3,5 \times 10^{-2}$ (REBOUÇAS, 1972). A condutividade hidráulica e a transmissividade indicaram valores baixíssimos para o abastecimento doméstico.

O comportamento hidrodinâmico deste aquífero Itapecuru na área do Terminal da Ponta da Madeira a partir do teste de bombeamento de uma bateria de 11 poços tubulares da Vale S.A (2013), com profundidade em média de 144 m, variando de 128 m a profundidade mínima e 170 metros a profundidade máxima indicou uma Permeabilidade (K) de 1,05 a $4,5 \times 10^{-5}$ m/s, caudal específico 1,28 a 4,51 m²/h e coeficiente de armazenamento (S) de $1,5$ a $3,0 \times 10^{-4}$ (FRASA, 2001, F. JUNIOR, 2003). As permeabilidades indicam valores baixíssimos para o abastecimento doméstico, indicando uma susceptibilidade à intrusão da cunha salina caso esse aquífero seja intensamente utilizado ((Tabela 02) (Figuras 04 a 06).

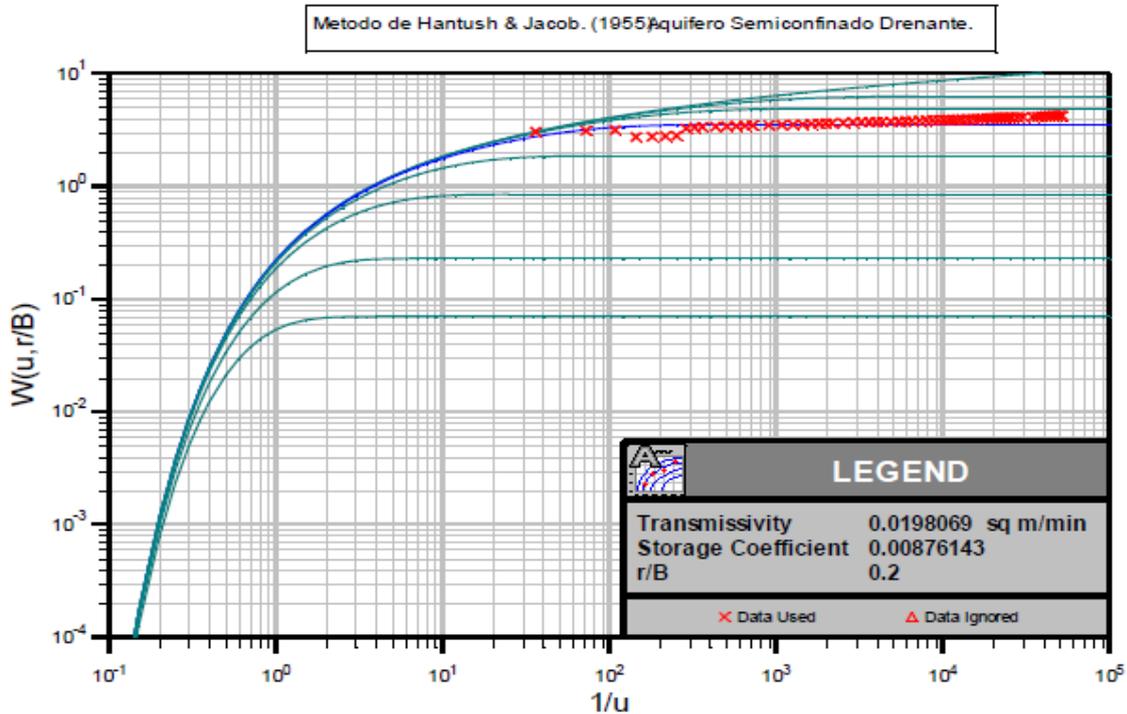
Conforme (SFADU, 2013), os resultados do teste de bombeamento do Poço P-01 da Vale, analisado utilizando-se o método de *Hantush and Jacob* (1955) para análise das características hidrodinâmicas de aquíferos sem confinados, obteve-se os valores da Transmissividade (T) indicando uso adequado da água subterrânea para demandas domésticas, mas com baixo potencial para demandas industriais. O valor da condutividade hidráulica indicou a influência de misturas de materiais na granulometria silte, argila e areia fina, na constituição do meio subterrâneo nessa região (Tabela 02) (Figuras 04 a 06).

Tabela 02 – Parâmetros Hidrodinâmicos dos Poços Tubulares no Grupo Itapecuru

PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS	P-01	P-07	P-10
Transmissividade (T) m ² /dia	28,2	28,2	24,0
Coeficiente de Armazenamento (S)	$8,8 \times 10^{-3}$	4×10^{-3}	23×10^{-3}
Condutividade hidráulica (K) m/dia	0,94	0,94	0,60
Curva Características r/B	0,2	0,15	-
Propriedade	VALE	VALE	CAEMA
Fontes	SFADU,2013	SFADU,2013	CAEMA,2016

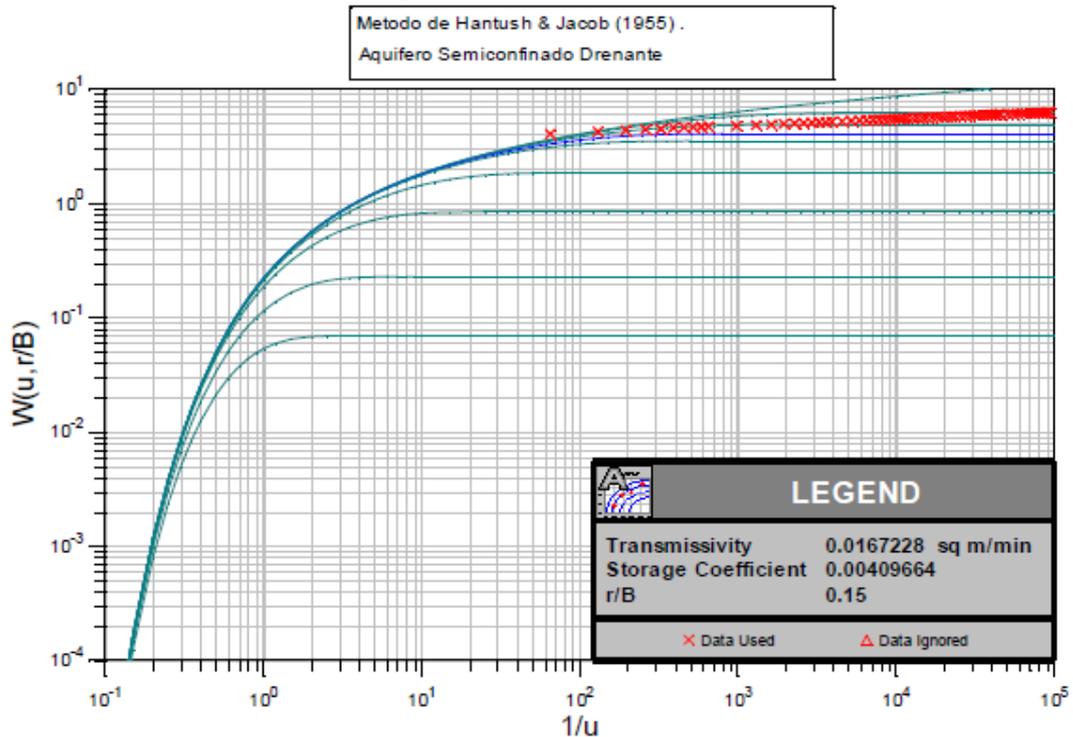
Os resultados do teste de bombeamento do Poço P-10 Paciência I analisado utilizando-se o método de *Papadopoulos and Cooper* utilizados para poços de grande diâmetro, no caso 20", para análise das características hidrodinâmicas de aquíferos semi-confinado, obteve-se os valores da Transmissividade (T) de 24,0 m²/dia, indicando uso adequado da água subterrânea para demandas domésticas, mas com baixo potencial para demandas industriais. O valor da condutividade hidráulica de 0,6 m/dia indicou as características hidrodinâmicas de um meio poroso do aquífero consiste de material clástico com mal selecionado com areias médias, com cimentação argilosa e silte disperso (Tabela 02) (Figuras 04 a 06).

Figura 04 – Poço Tubular P-01, Vale.



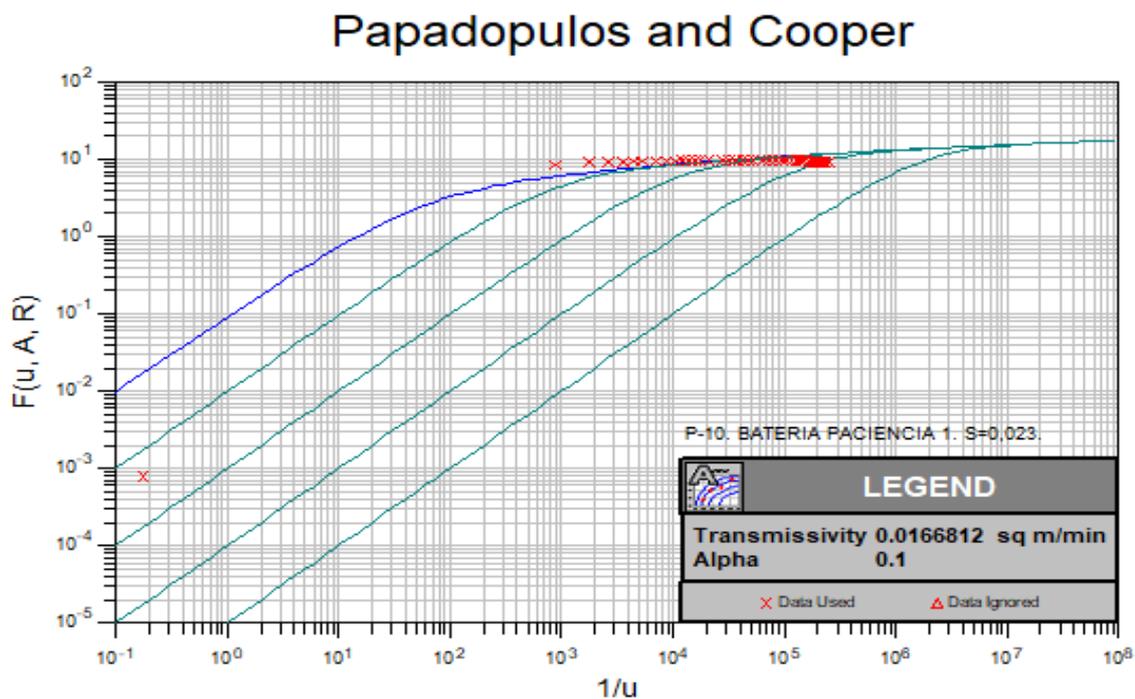
Fonte: Vale S.A, 2013 e Dados da Pesquisa, 2016-2019.

Figura 05 – Poço Tubular P-7, VALE



Fonte: Vale S.A, 2013 e Dados da Pesquisa, 2016-2019.

Figura 06 – Poço Tubular P-10, Sistema Paciência I – CAEMA.



Fonte: Vale S.A, 2013 e Dados da Pesquisa, 2016-2019.

5. CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica é um ambiente onde o homem desenvolve todas as suas atividades e onde se encontra a maioria dos recursos naturais necessários para sua sobrevivência. A gestão desse espaço é fundamental para a sustentabilidade dos diversos ecossistemas presentes na bacia.

O aquífero Barreiras do período Neogeno tem um comportamento hidrodinâmico de aquífero livre e o Aquífero Itapecuru na área da bacia hidrográfica do rio Paciência é geralmente utilizado para o abastecimento doméstico e industrial, entretanto, este aquífero na área tem um comportamento semi-confinado com potencial indicando para uso doméstico, mas com baixo potencial para demandas industriais e muito susceptível a entrada da cunha salina, similar ao comportamento encontrado na área Industrial do Itaqui, São Luís - MA.

Sugere-se apesar das características hidrodinâmicas indicarem um aquífero semi-confinado a composição da argila predominante é a caulinita que apresenta uma baixa capacidade de troca catiônica dos sedimentos argilosos quanto adsorção de metais.

A manutenção das reservas de água doce dos aquíferos depende da permanência da vegetação nas áreas de recargas de aquíferos.

Recomenda-se o monitoramento da qualidade da água do aquífero Itapecuru e Barreiras para esguardar no caso de eventuais riscos de derramamento de óleo ou outros produtos derivados ou percolação de outros efluentes líquidos contaminantes e o eminente risco da intrusão da cunha salina na Ilha do Maranhão.

REFERÊNCIAS

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

LIMA, M. A. **Planejamento urbano**: utilização de Sistemas de Informação Geográfica - SIG na avaliação socioeconômica e ecológica - um estudo de caso. In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A. (Coord.). Economia do meio ambiente: teoria, políticas, e a gestão regional. Campinas: UNICAMP, 1996. p. 218-239.

MARANHÃO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro. Macrozoneamento do Golfão Maranhense. **Diagnóstico Ambiental da Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário**. Apostila. SEMA/MMA/PNMA: Estudo de Pedologia/ Cobertura Vegetal; São Luís, 1997.

PEREIRA, E. D. **Vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do Aquífero do Reservatório Batatã**. Tese (doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências exatas. Unesp; Rio Claro, 2006.

RODRIGUES, T. L. N. et al. (Org) **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**: São Luís, Folha SA-23-2-A, Cururupu Folha SA-23-X-C, escala 1:250.000. CPRM; Brasília, 1994.