



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Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed.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 HIDRODINÂMICAS DOS AQUÍFEROS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL, SÃO LUÍS – MA.

SURVEY OF THE CHARACTERISTICS OF HYDRODYNAMIC AQUIFERS OF THE RIVER BASIN OF RIO ANIL, SÃO LUIS - MA.

Delony de Queiroz Ribeiro¹; Walefe Lopes da Cruz²; Edilea Dutra Pereira³ ✉

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

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

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

✉ idelony@hotmail.com¹, walefe.lopesacruz@gmail.com², edileap@gmail.com³

Resumo

Palavras-chave:

Aquíferos.
Parâmetros Hidrodinâmicos.
Rio Anil.
São Luís – MA.

Keywords

Aquifers .
Hydrodynamic Parameters .
Anil River.
São Luís – MA.

Abstract

Groundwater has been used since the dawn of civilization, and for natural reasons it has a good quality, which is attractive to the user. In addition, for a thorough knowledge of the hydrogeological conditions of a region, it is necessary to know its hydrodynamic properties. In this way, the objective of the work was to survey the hydrodynamic characteristics of the Anil river basin, the hypothetical-deductive theoretical-methodological approach to its development. From the 30 wells in the database of wells granted by the Secretariat of Environment and Natural Resources - SEMA, it was possible to elaborate the maps of depth isohyet, static and dynamic levels of groundwater, lowering and flow of the basin, among other analyzes of hydrodynamic parameters. The results obtained through the analysis of the data, stand out the averages: Depth 76.99 m, Static Level 16.80 m, Dynamic Level 28.52 m, Water Level 4.26 m, Lowering 11.72 m, Flow 8,08 m³/h. It is recommended the implementation of public policies aimed at preserving the aquifer recharge areas in the Anil river basin and it is emphasized that the basin is heavily waterproofed by several buildings, mainly near the river banks, therefore the control and management of this water body is of fundamental importance for the maintenance of quality water reserves.

DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i1.29766>

1. INTRODUÇÃO

Os recursos naturais, principalmente os recursos hídricos na Ilha do Maranhão (São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa) exigem um tratamento ainda mais diferenciado que em outros ambientes, por tratar-se de uma Ilha com ecossistema estuarino tendo um prisma de macromaré chegando a atingir 7 metros, com duas preamares e duas baixamares de duração aproximadamente de 6 horas.

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).

As alterações no sistema de aquíferos da Ilha estão atreladas ao uso excessivo das águas subterrâneas, através de bombeamentos de poços e a presença do mar, em face da possibilidade da intrusão salina, também ao crescimento urbano dos municípios que a compõem, a partir de grandes empreendimentos que provocaram a impermeabilização do solo diminuindo as áreas de recarga do aquíferos.

A bacia hidrográfica do rio Anil, possui cerca de 277 canais e 146 nascentes ao decorrer de uma área de 40,77 km², e situa-se totalmente em São Luís, na porção noroeste da Ilha do Maranhão, estando localizada no centro urbano de São Luís, podendo ser considerada a bacia hidrográfica mais antropizada da Ilha. Toda a história do início da construção da cidade de São Luís se encontra na bacia hidrográfica do rio Anil, e relacionados a exploração de suas águas

A água subterrânea é usada desde os primórdios das civilizações, e por razões naturais possui uma boa qualidade, o que se torna um atrativo para o usuário.

O rio Anil é fortemente influenciado pelas marés, condicionando a formação de uma cunha de água marinha no interior da bacia por ocasião das preamares,

caracterizado pela presença dos mangues na planície flúvio- marinha. Dentre os recursos naturais, a água doce é o que demanda a compreensão mais sofisticada quanto às suas formas de ocorrência, trânsito, armazenamento e descarga, sejam em superfície ou em subsuperfície.

Nesse contexto, esta pesquisa expressa as preocupações na utilização de águas superficiais e subterrâneas nas áreas costeiras, sem prévio conhecimento de suas capacidades e fragilidades, por isso tem por objetivo o levantamento das características hidrodinâmicas dos aquíferos (Barreiras e Itapecuru) da bacia hidrográfica do rio Anil, uma vez que o estudo dos aquíferos e suas dinâmicas comportamentais irão refletir no seu grau de vulnerabilidade a intrusão salina e demais problemas, frente a intensa demanda por uso de água e a provável futura crise hídrica da Ilha do Maranhão.

2. 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, por conseguinte o material selecionado foi de suma importância para o desenvolvimento das fases da pesquisa e para comparação entre os resultados apresentados.

2. 2. Elaboração do Material Cartográfico

A base cartográfica foi elaborada no ambiente SIG - Sistema de Informação Geográfica, ArcGIS – *Ersi*, versão 10.4.1 e consistiu na delimitação da bacia hidrográfica do rio Anil, definição da rede de drenagem e das nascentes, foram utilizadas as Cartas Planimétricas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército - DSG de 1976 e 1978 (executadas em 1980), Folhas 13, 14, 15, 23 e 24, em escala de 1:10.000, as quais foram editadas e reunidas em forma de mosaico, facilitando assim, a leitura das cotas altimétricas, dos cursos d'água e dos limites das bacias.

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.

E com a colaboração das curvas de nível de 1m em 1m da Areofoto (Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural - INCID, 2009), e baseado no *raster* (SRTM), determinou-se o alto, médio e baixo curso da bacia a partir de um perfil topográfico, para melhor reconhecimento das diferenças altimétricas dos cursos. Também foi necessário a criação de um hillshade, essa função obtém a iluminação hipotética de uma superfície, de elevação, para determinação dos valores de iluminação para cada célula em um *raster*.

As informações da drenagem e das nascentes foram comparadas com as 1976 e 1978 (executadas em 1980), encontradas nas folhas cartográficas DSG, e atualizadas a partir das curvas de nível e da análise da *DigitalGlobe*, WV03_VNIR (resolução espacial de 0.3m) de 2017, disponível no *ArcMap*. Além disso, ocorreu a aquisição de bases cartográficas relativas à organização do território que são do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018).

Todos os mapas foram feitos com o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), visto que desde 25 de fevereiro de 2015, o SIRGAS2000 é o único sistema geodésico de referência oficialmente adotado no Brasil, de acordo com a Resolução do IBGE Nº 1/2005, empregou-se a Projeção Universal Transversa de Mercator – Projeção UTM, zona 23M, que é a faixa que compreende a Ilha do Maranhão, e em escala 1:53.000.

2. 3. Georreferenciamento dos Poços Tubulares da Área de Estudo

Georreferenciamento dos poços tubulares da bacia hidrográfica do rio Anil a partir do banco de dados da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA, sendo 30 poços tubulares, acompanhados pelos seus relatórios de caracterização geológica e hidrogeológica, são processos de 2014 a 2018 (Foto 01).

O relatório tem a finalidade de identificar os aspectos geológicos e hidrogeológicos da área do poço, atendendo as leis estaduais com finalidade de solicitar a outorga de águas subterrâneas para funcionamento do empreendimento, formando assim todos os dados necessários referente ao poço tubular profundo ali existente. A outorga dos recursos hídricos é fundamental para que se pense em seu planejamento. É através dela que o órgão competente autoriza, concede ou licencia o direito de uso ou, até mesmo de interferência a determinado usuário.

Foto 01 – Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA.



Fonte: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA)/Dados da Pesquisa, 2019.

2. 4. Análise Espacial (Interpolação de Dados)

“A interpolação espacial é o processo de utilização de pontos com valores conhecidos para um atributo, para prever os valores do atributo em localizações (pontos) onde não existem dados” (COSTA, 2015, p. 5). O método adotado foi a Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW). “O IDW garante que os valores estimados estão entre o máximo e o mínimo dos valores amostrados” (COSTA, 2015, p.14).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3. 1. Localização dos Poços Tubulares

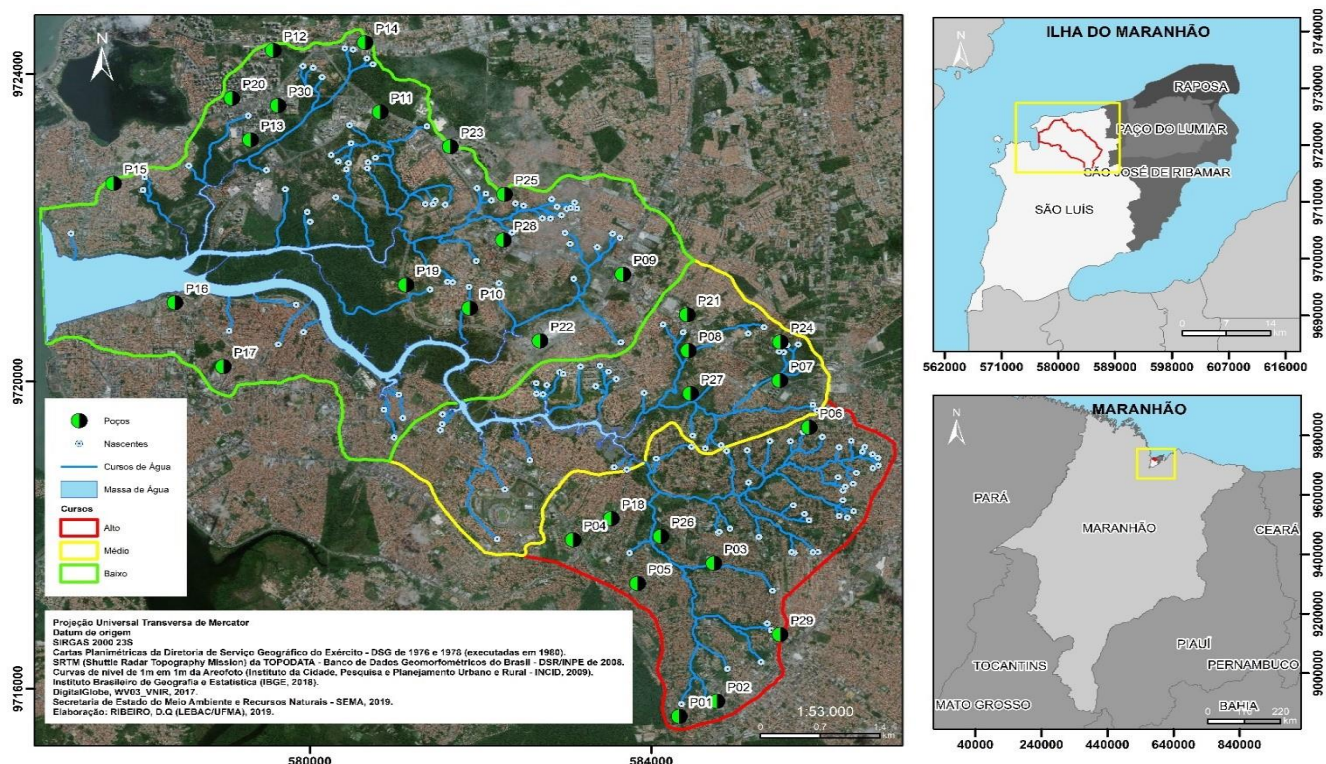
A água subterrânea é usada desde os primórdios das civilizações, e por razões naturais possui uma boa qualidade, o que se torna um atrativo para o usuário. Além do mais, a redução considerável nas contas, impulsiona os brasileiros a construir cada vez mais poços tubulares profundos.

Os poços tubulares (30) localizados na bacia hidrográfica do rio Anil, São Luís – MA, foram cadastrados a partir da base de dados da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA, são pertencem a região hidrográfica do sistema hidrográfico das Ilhas Maranhenses (Figura 01). A hidrogeologia da área de estudo configura-se por dois aquíferos, o Barreiras (sistema livre) e o Itapecuru (sistema semi-confinado).

Visando atender a metodologia proposta, foram catalogadas as informações hidrogeológicas dos poços tais como: Profundidade (Prof.), Nível Estático (NE) e Nível Dinâmico (ND), contudo, informações adicionais estão presentes do banco de dados da pesquisa (Tabela 01). Os poços tubulares foram escolhidos sistematicamente em distâncias relativas para que não haja tendências nos resultados desta pesquisa, mas também sendo levado em conta os documentos presentes nos relatórios de solicitação de outorga dos poços.

Figura 01 – Mapa de Localização dos Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS TUBULARES BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL



Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

Tabela 01 – Banco de Dados dos Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA.

	Proprietário	Endereço	Finalidade	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)	Ano do Relatório	Documentos Presentes no Relatório
P1	Empresa Auto Viação Progresso S.a	Av. Dos Franceses, Nº 50, Tirirical	Consumo humano	60,00	17,30	28,60	5,00	2014	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento; Foto do Poço
P2	Cisne Branco Transporte E Turismo Ltda	Av. Santos Dumond, Nº 350, Tirirical	Consumo humano	55,00	19,20	25,00	36,00	2016	Teste de Bombeamento; Foto do Poço
P3	Empresa Brasileira De Distribuição	Av. Santos Dumont, Nº 501, Anil	Outros	80,00	4,50	30,33	2,40	2018	Teste de Bombeamento; Foto do Poço
P4	Treviso Engenharia Ltda/Residencial Porto Seguro	Av. Dos Franceses, Nº 01, Outeiro Da Cruz	Consumo humano	100,00	0,00	0,00	0,00	2014	Perfil Litológico
P5	Condominio Residencial Eco Park IV	Av. Edson Brandão Nº 36, Condominio Residencial, Cutim	Consumo humano	148,00	47,95	68,15	13,65	2017	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P6	Instituto Maranhense Do Rim Ltda	Av. São Sebastião, Nº. 173, Cruzeiro Do Anil	Consumo humano	70,00	18,00	20,00	8,00	2016	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento

P7	Api Spe 20 - Planejamento E Desenvolvimento De Empreendimento Imobiliário Ltda /Vite Condominium	Av. Jerônimo De Albuquerque, Lote 01, Angelim	Consumo humano	80,00	12,00	14,00	12,00	2014	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P8	Marvite Maranhão Vidros Temperados Ltda	Av. Jerônimo De Albuquerque, Nº 1001, A, Angelim	Indústria	80,00	5,55	8,55	17,00	2018	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P9	Senai - Serviço Nacional De Aprendizagem Industrial	Av. Jerônimo De Albuquerque, S/n, Ed Albano Franco, 2º Andar, Cohama	Consumo humano	117,93	39,62	46,88	4,20	2016	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P10	Erick Augusto Reis Da Silva/Cond. Resid. Colinas Dos Colibris	Rua Netuno, Recantos Dos Vinhais	Consumo humano	42,00	11,48	15,30	3,00	2016	Teste de Bombeamento; Foto do Poço
P11	Mercadinho Carone Ltda	Av. Jerônimo De Albuquerque, Nº 110, Bombas, Calhau	Consumo humano	50,00	12,20	33,88	0,006	2016	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P12	Condomínio Do Edifício Vivendas Do Renascença	Avenida Do Vale Nº 15, Quadra 25, Jardim Renascença	Consumo humano	110,00	20,00	72,00	3,00	2016	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P13	Condomínio Dubai Residence	R. Monção S/n Area 1-b, Jardim Rensacença	Consumo humano	60,00	0,00	0,00	0,00	2014	Perfil Litológico
P14	Jeová Barbosa Engenharia Ltda/Edifício M Bio	Av. Dos Holandeses, Quadra 05 Nº 02, Calhau	Consumo humano	81,00	20,30	48,88	5,20	2014	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P15	Bompreço Supermercados Do Nordeste Ltda	Av. Colares Moreira, Nº 80, São Francisco	Consumo humano	72,00	6,00	22,00	10,00	2014	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento; Foto do Poço
P16	Fundação Universidade Federal Do Maranhão/Área/terrenos/lotas (huufma)	R. Barão De Itapary, Nº 227, Centro	Consumo humano	150,00	47,94	57,86	20,50	2017	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento; Foto do Poço
P17	Unisãoluis Educacional Ltda/Universidade Estácio de Sá	R. Grande, Nº 1455, Centro	Consumo humano	3,00	1,00	1,50	5,00	2017	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P18	Rio Anil Transporte E Logística Ltda	R. Antônio Raposo, Em Frente A Empresa Formav, Cutim	Consumo humano	75,00	32,00	38,68	5,89	2015	Teste de Bombeamento

P19	Mateus Supermercados S.a.	Av. Jerônimo De Albuquerque, R. Parnaíba, Recanto Dos Vinhais	Consumo humano	80,00	11,80	13,50	20,00	2015	Teste de Bombeamento
P20	Mercury Construções Ltda/Edifício Michelangelo	Av. Do Vale Quadra 23, Lote 5/8, Renascença li	Consumo humano	90,00	0,00	0,00	0,00	2015	Perfil Litológico
P21	Condomínio Renata	R. Projetada S/n, Bequimão	Consumo humano	60,00	28,12	37,56	6,54	2018	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P22	Condomínio Empresarial Dos Agrupamentos A A A F E Grupamento Comercial/Shopping Da Ilha (area Desmembrada Do Sitio Pombal)	Av. Daniel De La Touche, Shopping Da Ilha, Cohama	Consumo humano	100,00	33,30	36,66	9,00	2017	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento; Foto do Poço
P23	Condomínio Jardim De Lombardia	1ª Av. Deputado Luis Eduardo Magalhaes, S/n, Altos Do Calhau, Calhau	Consumo humano	60,00	6,10	39,55	25,00	2017	Teste de Bombeamento; Foto do Poço
P24	Saga Engenharia Ltda/Condomínio Chilli Residence	R. Projetada, S/n, Angelim	Consumo humano	100,00	0,00	0,00	0,00	2018	Perfil Litológico
P25	Andreia Viviane Da Rocha Ferreira/Nosso Canto Vinhais	R. Dois, Nº 1, Quadra 02, Planalto Vinhais I	Consumo humano	80,00	58,00	64,00	7,50	2017	Teste de Bombeamento; Foto do Poço
P26	Jose Richardson Pinto Da Costa	R. Casemiro Junior, Nº80, Anil, Anil	Consumo humano	30,00	8,13	9,17	2,00	2016	Teste de Bombeamento; Foto do Poço
P27	Termac Terraplenagem Mecanização Agrícola E Comércio Ltda	Av. Jerônimo De Albuquerque, Nº 1000, Angelim	Consumo humano	72,00	7,30	36,60	4,56	2014	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P28	Leopoldo Correa Santos Neto/Posto Natureza do Vinhais	1ª Av. Jeronimo De Albuquerque, 07, Vinhais	Comércio e serviços	60,00	16,60	42,25	6,00	2014	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento
P29	Alci Mario De Jesus Souza Costa	Residencial Goibeiras, Loteamento Cidades E Fruteiras, Araçagy	Comércio e serviços	64,00	12,00	29,00	10,00	2015	Perfil Litológico; Teste de Bombeamento

P30	Jaracaty Empreendimento Imobiliário Ltda.	Avenida Colares Moreira N° 04 Qd Ac1, Loteamento Boa Vista, Renascença II	Consumo humano	80,00	7,70	15,80	1,00	2015	Teste de Bombeamento
------------	---	---	----------------	-------	------	-------	------	------	----------------------

Fonte: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA)/Dados da Pesquisa, 2019.

Dos 30 poços tubulares da área de estudo, 9 estão no alto curso da bacia (P01, P02, P03, P04, P05, P06, P18, P26 e P29), 5 no médio (P07, P08, P21, P24 e P27), e 16 no baixo curso (P09, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P19, P20, P22, P23, P25, P28 e P30). A cota altimétrica dos poços tubulares da bacia oscilaram de 8 a 48 m, com uma elevação média de 24,10 m. Os poços tubulares P01, P02 e P9 são os poços com maiores elevações, e estão localizados próximo ao tabuleiro do alto curso da bacia.

3. 2. Análise dos Dados Hidrodinâmicos

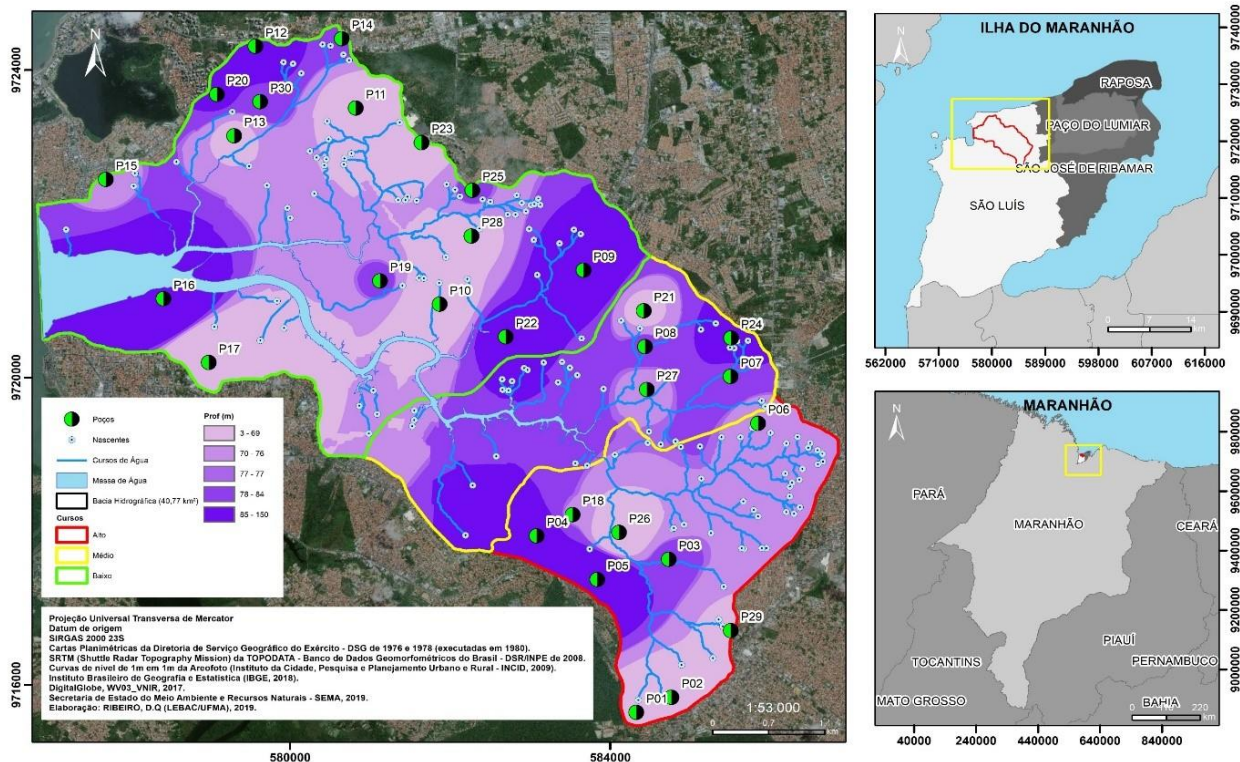
Para um conhecimento profundo das condições hidrogeológicas de uma região é necessário conhecer suas propriedades hidrodinâmicas. A partir das informações hidrodinâmicas tabuladas foram gerados os mapas de isoietas dos poços tubulares, possibilitando assim, uma análise do comportamento da bacia.

Os poços tubulares da bacia hidrográfica do rio Anil variaram de 3 a 150 m de profundidade, apresentando uma média de 76,99 m. Observa-se que os poços tubulares P03, P04, P05, P07, P08, P09, P12, P14, P16, P19, P20, P22, P24, P25 e P30 são os que expressam os maiores valores, variando de 80 a 150 m (Tabela 01).

O nível de profundidade das águas para os aquíferos é muito variável, seguindo uma tendência local, sendo seu controle condicionado por efeitos topográficos, litológicos e estruturais. Os maiores índices de profundidade se apresentam principalmente nas áreas do médio e baixo curso da bacia, o baixo curso apesar de ser próximo a orla marítima, apresenta densos bairros e conseqüentemente uma alta demanda hídrica. Além disso, o alto curso da bacia demonstra valores mais elevados de profundidade na margem esquerda do rio (Figura 02).

Figura 02 – Mapa de Profundidade dos Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA.

MAPA DE PROFUNDIDADE DOS POÇOS TUBULARES BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL



Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

Os poços tubulares variaram de 1 a 58 m de nível estático, apresentando uma média de 16,80 m. Observa-se que P05, P09, P16, P18, P22 e P25 são os que exibem os maiores números, variando de 32 a 58 m (Tabela 01).

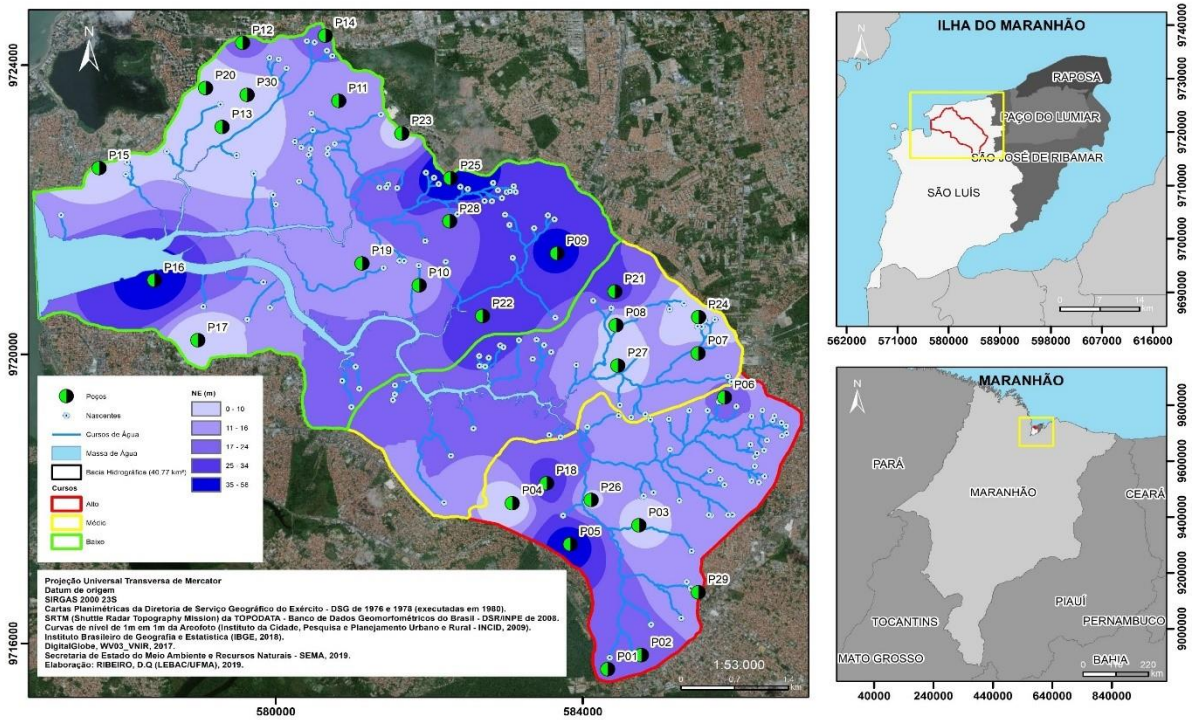
Em nível dinâmico, os poços tubulares alteram-se de 1,5 a 72 m, apresentando uma média de 28,52 m. Verifica-se que P05, P12, P14, P16 e P25, são os que evidenciam os dados mais elevados, oscilando de 48,88 a 72 m (Tabela 01)

Desta forma, enquanto o NE é a profundidade do nível da água dentro do poço, quando não está em bombeamento por um período o ND é a profundidade do nível da água dentro do poço, quando está em bombeamento.

Os maiores valores de nível estático se encontram sobretudo nas áreas do médio curso da bacia, particularmente na margem direita, e pontualmente no alto curso com os poços tubulares P05 e P18, na margem esquerda, e no baixo curso com o poço tubular P16, na margem esquerda da bacia hidrográfica do rio Anil. O nível dinâmico se torna mais evidente no baixo e no médio curso da bacia hidrográfica do rio Anil, essencialmente na margem direita, e com destaque para o poço tubular P16, na margem esquerda. No alto curso os maiores valores se encontram também na margem esquerda do rio (Figuras 03 e 04)

Figura 03 – Mapa de Nível Estático dos Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA.

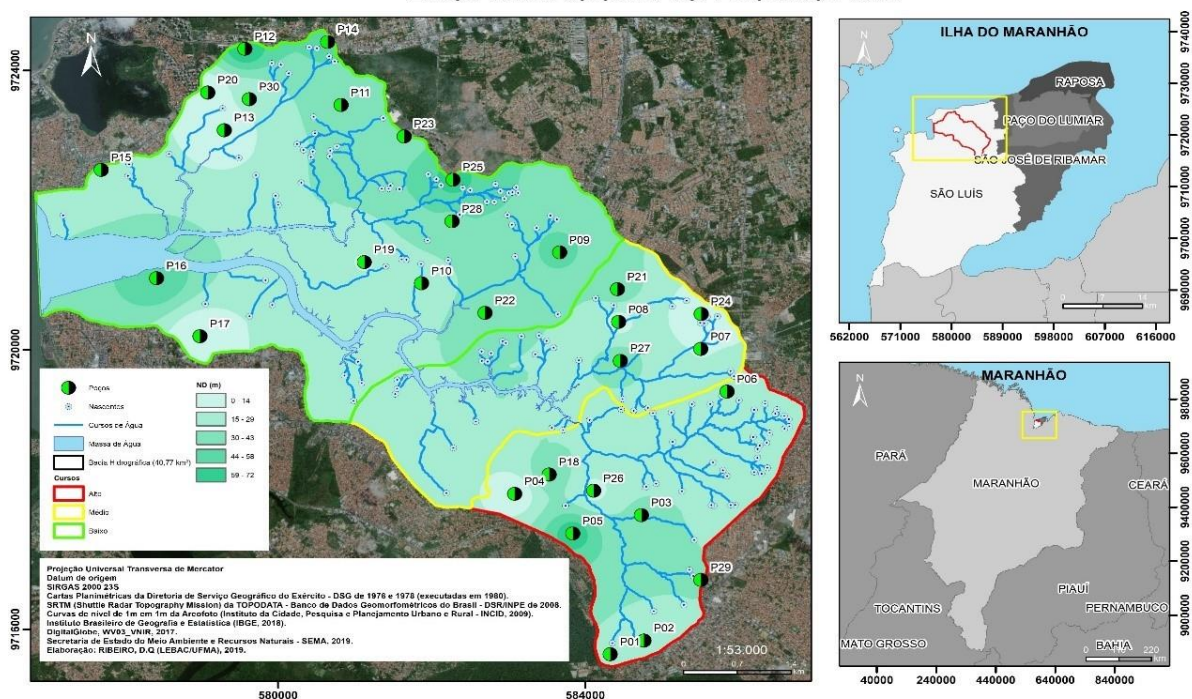
MAPA DE NÍVEL ESTÁTICO DOS POÇOS TUBULARES BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL



Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

Figura 04– Mapa de Nível Dinâmico dos Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA.

MAPA DE NÍVEL DINÂMICO DOS POÇOS TUBULARES BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL



Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

Para a obtenção do nível de água dos poços tubulares (NA) da bacia foi necessário aplicar a fórmula “Cota Altimétrica – NE = NA”, a medida de comprimento utilizada para todos esses parâmetros é o metro, como consequência foi obtido os seguintes resultados (Tabela 02)

Tabela 02 – Banco de Dados dos Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA.

Poço	NA (m)
P1	30,70
P2	23,80
P3	12,50
P4	0,00
P5	-21,95
P6	24,00
P7	19,00
P8	12,45
P9	-18,62
P10	11,52
P11	6,80
P12	7,00
P13	0,00
P14	13,70
P15	14,00

P16	-29,94
P17	7,00
P18	-6,00
P19	3,20
P20	0,00
P21	-4,12
P22	-22,30
P23	16,90
P24	0,00
P25	-26,00
P26	6,87
P27	5,70
P28	7,40
P29	29,00
P30	5,30

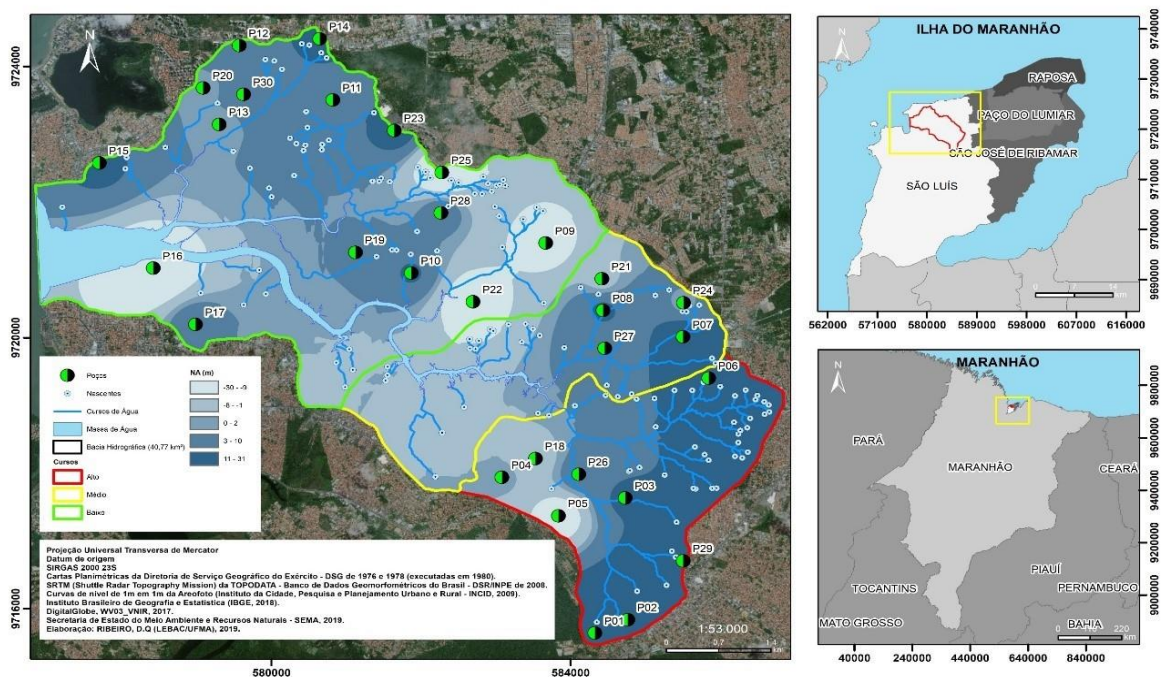
Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

O nível de água subterrâneos dos poços tubulares da área oscilaram de -29,94 a 30,7 m, com uma média de 4,26 m. Consta-se que os poços tubulares P01, P02, P06, P07, P15, P23 e P29 são os que apresentam os valores mais relevantes, alternando-se de 14 a 30,7 m (Tabela 01).

É especialmente na margem direita dos cursos da bacia hidrográfica do rio Anil que o nível de água subterrânea ganha aspectos mais significativos (Figura 05).

Figura 05- Mapa de Nível de Água dos Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís - MA.

MAPA DE NÍVEL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DOS POÇOS TUBULARES BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL



Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

Rebaixamento (sw), é a diferença entre o nível dinâmico e o estático, ou seja, o quanto o nível da água rebaixou dentro do poço, durante o bombeamento, desta maneira, “Reb = ND – NE”, em metros. O rebaixamento dos poços tubulares da bacia hidrográfica do rio Anil modificou-se de 0,50 a 52 m, com uma média de 11,72 m, como resultado foi obtido os seguintes produtos (Tabela 03).

No quesito rebaixamento, nota-se que P03, P05, P11, P12, P14, P23, P28 e P27, são os que detêm os maiores resultados, alternando-se de 20,2 a 52 m.

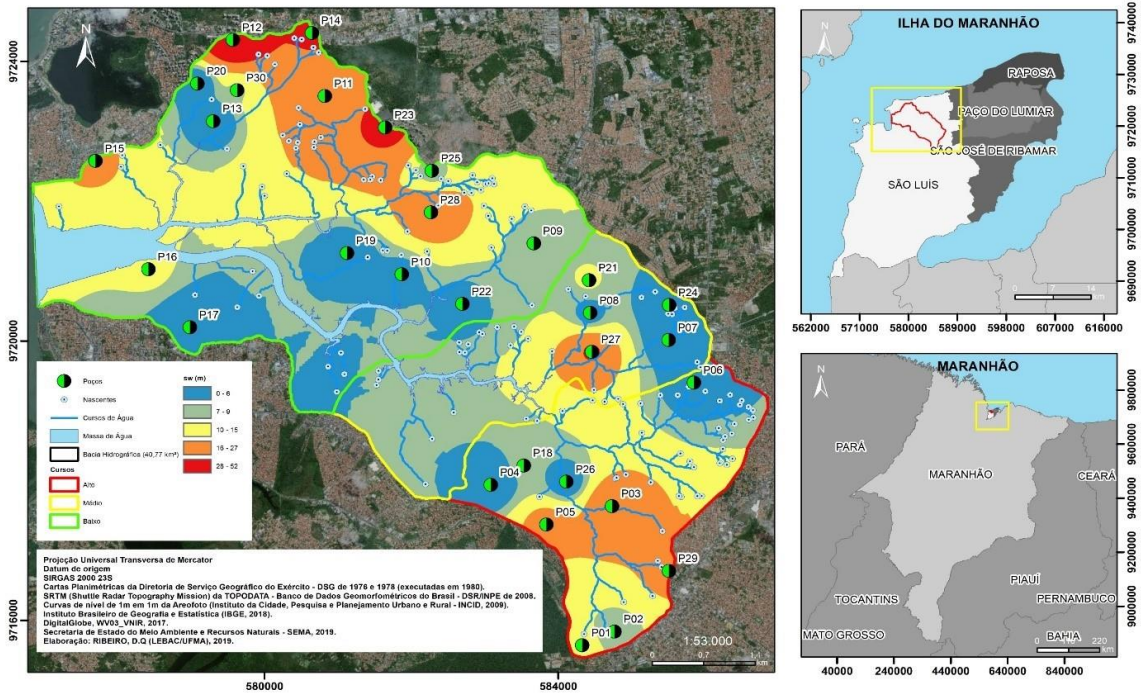
Tabela 03 – Rebaixamento dos Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA.

Poço	sw (m)
P1	11,30
P2	5,80
P3	25,83
P4	0,00
P5	20,20
P6	2,00
P7	2,00
P8	3,00
P9	7,26
P10	3,82
P11	21,68
P12	52,00
P13	0,00
P14	28,58
P15	16,00
P16	9,92
P17	0,50
P18	6,68
P19	1,70
P20	0,00
P21	9,44
P22	3,36
P23	33,45
P24	0,00
P25	6,00
P26	1,04
P27	29,30
P28	25,65
P29	17,00
P30	8,10

Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

Figura 06– Mapa de Rebaixamento dos Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA.

MAPA DE REBAIXAMENTO DOS POÇOS TUBULARES BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL



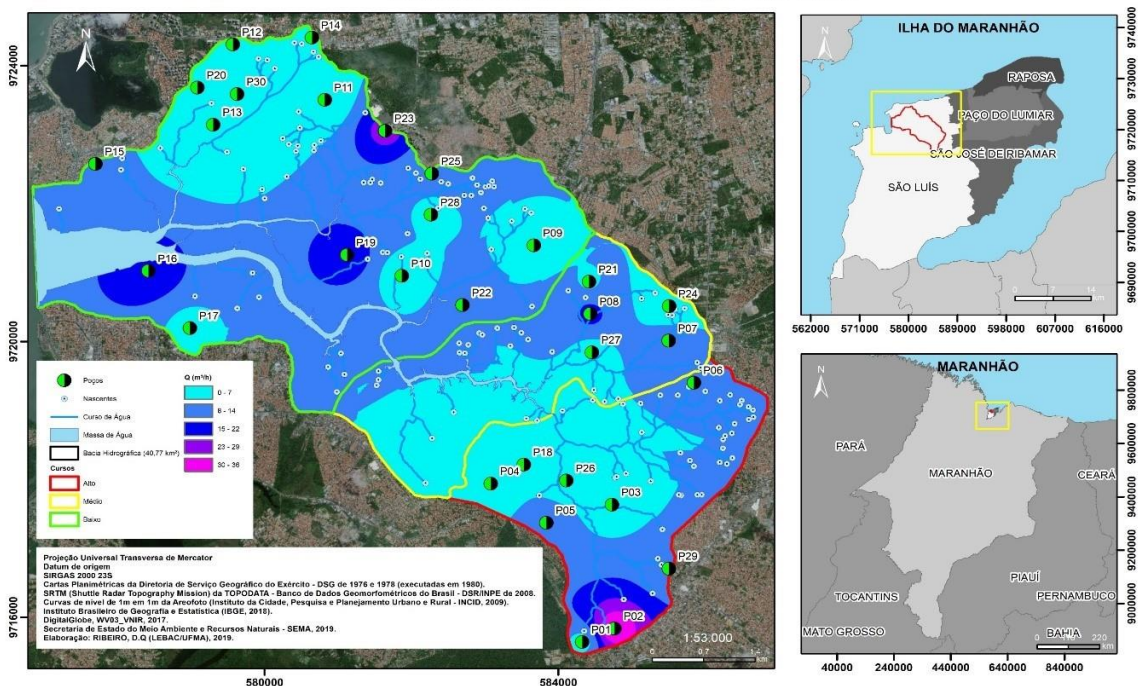
Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

No alto curso o rebaixamento se torna mais intenso nas áreas dos poços tubulares P03, P05 e P29, no médio curso, com o P27, localizado na margem direita. No baixo curso os maiores valores se localizam também na margem direita do rio, e próximos aos limites da delimitação da bacia hidrográfica (Figura 06).

A vazão dos poços tubulares (Q) variou de 0,6 a 36 (m³/h), apresentando uma média de 8,08 (m³/h). Observa-se que P02, P19, P16 e P23 são os que possuem os maiores níveis, intercalando-se de 20 a 36 (m³/h). É no alto curso e no baixo curso da bacia que a vazão alcança os dados máximos. (Tabela 01) (Figura 07).

Figura 07– Mapa de Vazão dos Poços Tubulares, Bacia Hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA.

MAPA DE VAZÃO DOS POÇOS TUBULARES BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL



Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

Nota-se durante as análises, que o poço tubular P16 sempre demonstra dados de médio a alta intensidade, possivelmente por estar localizado no Hospital Universitário da Universidade Federal do Maranhão – Hospital Dutra, no Centro da cidade, e ser um poço de notória estrutura executado para suprir a demanda hídrica desse grande empreendimento, e que em seus testes obteve bons resultados, garantindo assim uma produção boa de água de qualidade para todos os usos, inclusive para consumo humano objeto da presente outorga solicitada.

A avaliação geral do atual estágio de conhecimento e exploração do sistema aquífero da Ilha do Maranhão indica a necessidade de uma ampla articulação e conjugação de esforços entre as instituições do Estado do Maranhão, com vistas a uma política comum de desenvolvimento do potencial hídrico subterrâneo. Na falta disso, a exploração desses recursos hídricos tende a se manter descontrolada e imediatista, sem ampliar os benefícios econômicos e sociais de um projeto abrangente (SOUSA, 2000, p. 11 - 12).

Desta forma, faz-se necessários estudos como este, para discutir a interferência de cada uma das variáveis hidrodinâmicas, com vistas a contribuir com o poder público municipal para um planejamento ambiental adequado

4. CONCLUSÕES

As alterações no sistema de aquíferos da Ilha estão atreladas ao uso excessivo das águas subterrâneas, através de bombeamentos de poços e a presença do mar, em face da possibilidade da intrusão salina, também ao crescimento urbano dos municípios que a compõem, a partir de grandes empreendimentos que provocaram a impermeabilização do solo diminuindo as áreas de recarga do aquíferos.

O município de São Luís é constituído por unidades hidrogeológicas aquíferas com produtividade que variam de boa a fraca, que precisam ser estudadas e dimensionadas para que possam ser exploradas e usadas de forma racional dentro de um plano de gerenciamento costeiro. É importante salientar que são necessários estudos mais profundos para confirmar as relações e tendências aqui sugeridas. Ressalta-se que a bacia hidrográfica do rio Anil é uma das mais antropizadas da Ilha do Maranhão, e se encontra intensamente impermeabilizada por vários prédios, principalmente próximos das margens do rio, os quais possivelmente sofrem com a salinização dos poços tubulares utilizados no abastecimento público. É umas das mais prejudicadas, sobretudo pelo grande crescimento populacional registrado entre as décadas de 70 e 90, e que detém uma grande quantidade de poços tubulares em sua área, por conseguinte o controle e gerenciamento desse corpo hídrico é fundamental para prevenção da entrada da cunha salina para o interior da Ilha do Maranhão.

Portanto, recomenda-se a implantação de políticas públicas voltadas a área da bacia hidrográfica do rio Anil para manutenção das áreas de recarga de aquíferos presentes e a criação de espaços como jardins para revitalização de espaços porosos; a realização de registro das condições sanitárias dos poços tubulares e o acompanhamento físico-químico de suas águas subterrâneas. Durante a realização deste trabalho foram encontradas dificuldades, sobretudo em relação a dados incompletos, imprecisos e informações incongruentes nos relatórios de caracterização geológica e hidrogeológica, e relacionados ao georreferenciamento dos poços tubulares.

REFERÊNCIAS

COSTA, A. C. Geoestatística: Introdução à interpolação espacial. In: RUCKAUER, F. J. C. **TecGEO** - MOOC de Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, UNIGS PT, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Resolução nº 1/2005 - Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil**. Disponível: ftp://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros...de.../rpr_01_2015_sirgas2000.pdf. Acesso em: jan., 2019.

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.

SOUSA, S. B. **Sistema Aquífero da Ilha do Maranhão (MA)** 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/24101/16130>. Acesso em: jan., 2019.