

Qualidade da água subterrânea em comunidades rurais de São Luís – MA

Ground water quality in rural communities of São Luís – MA

Jonas Maurício Bertoldo OLIVEIRA ¹; Antonio Carlos Leal de CASTRO ²; Edilea Dutra PEREIRA ³; James Werllen de Jesus AZEVEDO ⁴

Recibido: 03/06/16 • Aprobado: 03/07/2016

Conteúdo

1. Introdução
 2. Descrição da área de estudo
 3. Metodologia
 4. Resultados e discussão
 5. Conclusão
- Referências

RESUMO:

O presente trabalho pretende avaliar hidroquimicamente os recursos hídricos subterrâneos das comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva em São Luís – MA, Brasil, determinaram-se os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos das amostras de água de 08 (oito) poços locais. Os resultados mostraram alterações nos parâmetros: Turbidez, Potencial Hidrogeniônico – pH e Oxigênio dissolvido. A razão iônica (rMg^{+2}/rCa^{+2}) apresentou valores que classificaram a água subterrânea local como doce. A falta de infraestrutura sanitária, como a disposição dos efluentes domésticos em fossas sépticas pode ter sido a responsável pela contaminação microbiológica constatada neste estudo, com graves implicações na saúde dos usuários dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Água Subterrânea, parâmetros físico-químicos, microbiologia.

ABSTRACT:

This study aims to assess hydrochemically the groundwater resources of the rural communities São Benedito, Porto Grande, Inhaúma and Estiva in São Luís – MA, Brazil, were determined physical, chemical and bacteriological parameters of water samples from eight local wells. The results notice changes in turbidity, hydrogen potential and dissolved oxygen parameters. The ionic ratio (rMg^{+2}/rCa^{+2}) shows values that classified local groundwater as fresh water. The lack of infrastructure, with effluents disposition in septic tanks should be the responsible for the microbiological contamination found in this study, with serious implications for health's users of water resources.

Key-words: Groundwater, physico-chemical parameters, microbiology

1. Introdução

O abastecimento público de água em termos de quantidade e qualidade é uma preocupação crescente da humanidade, em função de sua escassez e da deterioração da qualidade dos mananciais (BRASIL, 2006).

Sob o ponto de vista da saúde pública, a água pode servir como fator de promoção da qualidade de vida, bem como meio de transmissão de doenças ao homem (SANTOS, 2011).

Dados da Organización Mundial de La Salud (2000) apontam que no mundo 6,3% das mortes são causadas por doenças relacionadas com a má qualidade das águas. No Brasil esse percentual cai para 2,3%; em países como Austrália, Itália e Dinamarca, apenas 0,1% das mortes são causadas por doenças de veiculação hídrica.

A grande maioria da população rural do Estado do Maranhão bem como da zona rural de São Luís, vive em condições precárias de habitação, higiene e saneamento básico. Cerca de 89% da população não possui nenhum tipo de esgotamento sanitário ou utiliza apenas fossas sépticas rudimentares (MARANHÃO EM DADOS, 2007). Os “banheiros” são na verdade pequenos espaços de 2 m², normalmente feitos com folhas e pecíolos de babaçu, sem nenhum acessório sanitário, apresentando em alguns momentos uma característica indígena (SEMA, 2008).

Diante desse cenário turbulento, a água subterrânea vem assumindo uma importância cada vez mais relevante como fonte de abastecimento. Devido a uma série de fatores que restringem a utilização das águas superficiais assim como o crescente aumento dos custos de captação, adução e tratamento, a água subterrânea está sendo reconhecida como alternativa viável aos usuários e seu uso tem crescido nos últimos anos (CAPUCCI et al., 2001).

Para Cappi et al. (2011), um dos maiores problemas das fontes de água é a ausência ou irregularidade do monitoramento de sua qualidade.

Conforme UNEP/WHO (1996), a Internacional Organization for Standartion (ISO) define monitoramento como “um processo programado de amostragem, medições e armazenamento de dados sobre várias características da

água”.

Segundo Borges et al. (2007), um programa de monitoramento de águas subterrâneas tem importância ímpar dentro do novo conceito de preservação e conservação dos recursos naturais, pois se torna uma ferramenta para gerenciamento da qualidade, identificação de poluição e vulnerabilidade, além da previsão de fatos que venham a prejudicar aquíferos de forma irremediável.

Chaves (2009) aponta que, no caso brasileiro, a falta de monitoramento em muitas localidades e a ausência de uma análise mais abrangente da qualidade da água prejudica uma caracterização mais confiável sobre a extensão e severidade da degradação dos recursos hídricos subterrâneos e os riscos na saúde da população.

Assim, em um contexto de degradação da qualidade dos aquíferos pela má gestão dos efluentes domésticos e industriais, aliado ao comprometimento da saúde da população desassistida pelos serviços de saneamento básico (sistema de abastecimento d'água, esgotamento sanitário e drenagem de águas pluviais) e sujeita a contrair doenças de veiculação hídrica, como resultado do consumo de águas contaminadas, há de se pensar na importância dos programas de monitoramento de águas subterrâneas como alternativa para a preservação da saúde dos usuários, bem como dos recursos hídricos para as presentes e futuras gerações.

Nesta perspectiva, o presente trabalho buscou caracterizar hidroquimicamente os recursos hídricos subterrâneos das comunidades rurais situadas na região do distrito industrial de São Luís – MA, enfatizando a qualidade da água e seus efeitos na saúde da população local.

2. Descrição da área de estudo

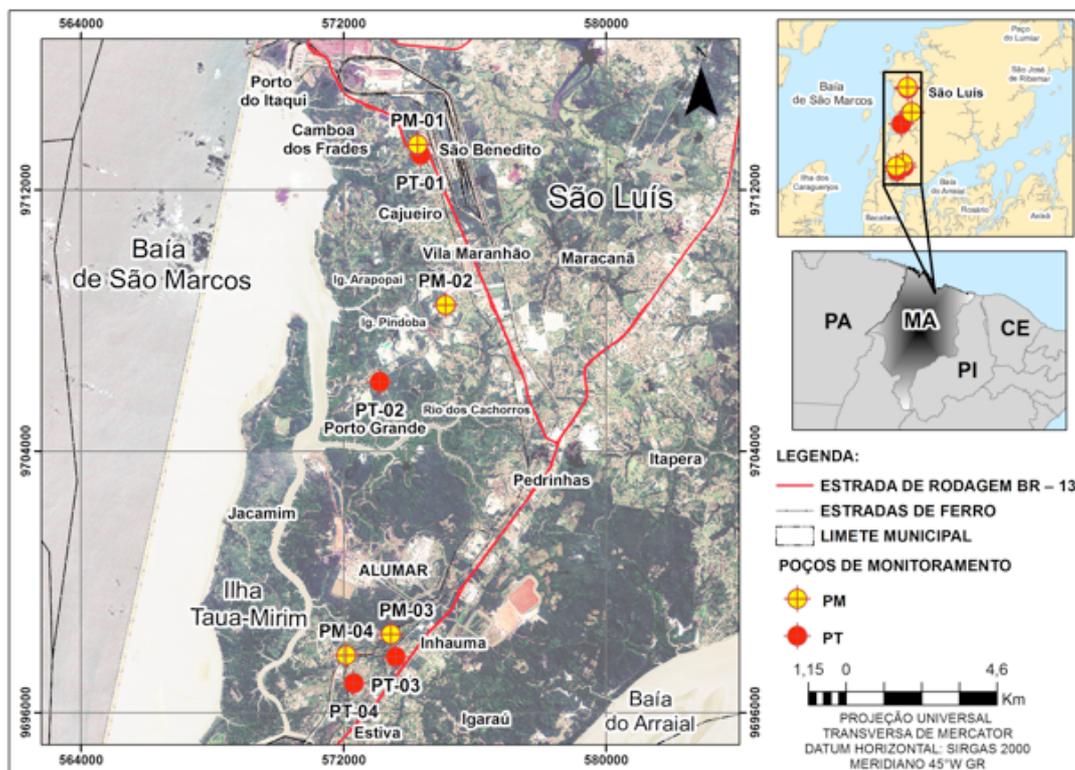
O local de estudo está inserido na área de influência do Distrito Industrial de São Luís (DISAL), tendo como foco as comunidades adjacentes que utilizam água de poços tubulares e profundos para o consumo diário (Figura 1).

A região recebe influência direta do clima local, se inserindo na área de transição climática do semi-árido nordestino e tropical úmido amazônico, sendo considerado como clima tropical chuvoso, com estação seca no período de inverno (PEREIRA, 2006). As chuvas têm média anual de 1.857,16 mm e temperatura média anual de 27°C, com máxima de 34,4°C e mínima de 18°C e uma umidade média anual de 80%, sendo importante destacar a sazonalidade das chuvas, cujo período chuvoso concentra-se entre os meses de janeiro a junho e o período seco de julho a dezembro.

Com relação à hidrogeologia, o sistema aquífero da Ilha do Maranhão é composto de um pacote de camadas sedimentares areno-argilosas que se depositaram na região cratônica da Bacia Costeira de São Luís ao longo dos períodos Cretáceo e Quaternário – entre 1 e 135 milhões de anos – constituído, principalmente, pelas formações geológicas Itapecuru e Barreiras e o recente constituído por areias de dunas e aluviões de rios. A área de estudo insere-se sobre a formação Barreiras que funciona como aquífero livre e se caracteriza pela presença de arenitos inconsolidados, vermelhos e amarelados, siltitos amarelados a ocre, ferruginizados e argilitos caolínicos (SOUSA, 2000).

Para coleta e caracterização da água subterrânea utilizada pelos moradores, utilizou-se 04 poços de monitoramento (piezômetros) construídos pela Universidade Federal do Maranhão, acrescido de 04 poços tubulares (PT) gerenciados pela Companhia de Saneamento Ambiental (CAEMA) e distribuídos entre as seguintes comunidades rurais: São Benedito (PT-01), Porto Grande (PT-02), Inhaúma (PT-03) e Estiva (PT-04). A escolha das comunidades levou em consideração a distribuição espacial dos 04 poços de monitoramento. Quanto ao critério de escolha dos poços tubulares, considerou-se a capacidade de se comparar a qualidade das águas subterrâneas entre os poços de monitoramento e os tubulares mais próximos, além da logística de deslocamento durante a pesquisa de campo.

Figura 1- Mapa de localização dos poços utilizados no presente estudo



3. Metodologia

Foram realizadas 04 (quatro) visitas sistemáticas aos poços para amostragem de água subterrânea, com periodicidade bimestral, durante as datas de 18/03, 26/05, 14/07 e 15/09/2015, de modo a cobrir as estações chuvosa e seca do período em estudo.

Foram coletadas duas amostras em cada poço, sendo uma para análise bacteriológica e outra para análise físico-química, totalizando 16 amostras por coleta. As coletas, preservação, armazenamento e transporte seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WPCF, 2005). As análises das variáveis físico-químicas e bacteriológicas foram realizadas pelos laboratórios de Oceanografia Química e Controle de Qualidade de Água e de Microbiologia de Alimentos e Água da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

A partir das determinações dos íons cálcio e magnésio foram obtidas as razões iônicas (rMg^{+2}/rCa^{+2}) a fim de avaliar o possível efeito da intrusão da água do mar nas águas subterrâneas. O índice compreendido entre 0,3 e 1,5 meq/L foi adotado como indicativo de águas doces e da ordem de 5 meq/L para água do mar (Custódio & Llamas, 1983 apud FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

Durante as coletas foram mensurados *in situ* a Temperatura da água, Turbidez, Condutividade Elétrica – C.E., Potencial Hidrogeniônico - PH, Oxigênio Dissolvido – O.D e nível estático da água dos poços, com o auxílio de um Multi-parâmetro HQ40d (marca HACH, modelo HI 9828), Turbidímetro (marca HANNA, Modelo HI 93703), e Medidor Elétrico de Nível D'água, respectivamente.

Com base nos resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras, a potabilidade da água foi avaliada por meio da comparação entre os dados obtidos nas análises com os valores máximos permitidos pela Portaria MS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011). Através desta interpretação identificaram-se os possíveis riscos de incidência de doenças de veiculação e/ou origem hídrica nas comunidades estudadas.

Quanto a análise estatística, utilizou-se o teste de Levene's para testar a homocedasticidade das variâncias. Em seguida, quando atendidos os pressupostos de homogeneidade das variâncias, utilizou-se a Análise de Variância (ANOVA), para verificar a existência de possíveis diferenças temporais e espaciais na composição hidroquímica da área em estudo, através da comparação de médias, com um nível de significância de 0,05 ($\alpha = 0,05$). Quando os resultados da Análise de Variância indicavam a presença de diferenças significativas ($p \leq 0,05$), utilizou-se, posteriormente, o teste de Tukey para identificar quais médias eram diferentes.

Nos casos em que ambos os pressupostos da ANOVA não foram atendidos, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (CONOVER, 1990), acompanhado do teste não paramétrico Mann-Whitney que compara dois grupos testando quais foram estatisticamente diferentes, com um nível de significância de 0,05 ($\alpha = 0,05$).

As avaliações estatísticas foram efetuadas utilizando o pacote computacional Palaeontological Statistics (PAST), versão 2.17 (HAMMER et al, 2001).

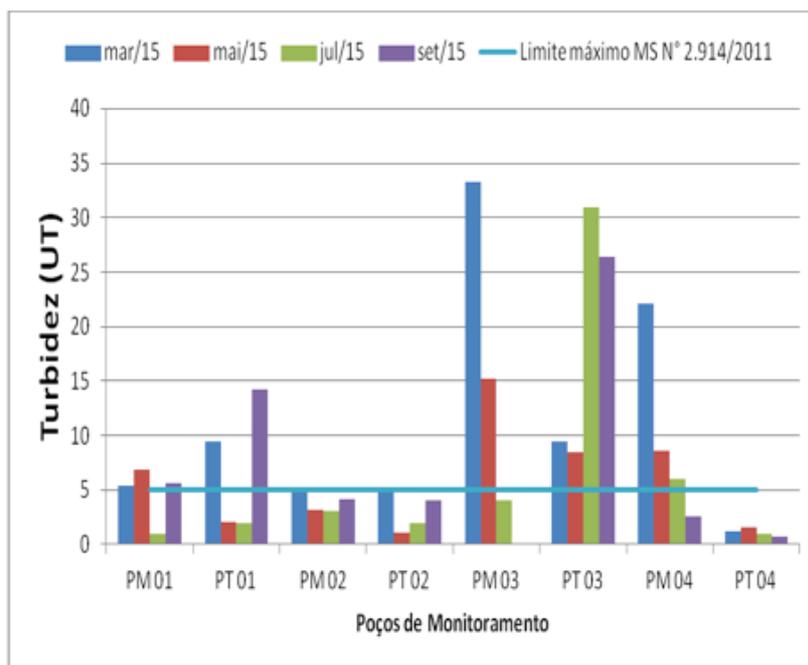
4. Resultados e discussão

4.1. Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos durante o período amostrado apresentaram as seguintes variações: Temperatura da água de 27,0 a 30° C, estando compatíveis com as médias registradas para a atmosfera local; Condutividade Elétrica (CE) de 32,1 a 376 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Sólidos Totais Dissolvidos (STD) de 20,865 a 244,4 mg/L; Turbidez de 0,71 a 33,34 UT; Potencial Hidrogeniônico (PH) de 4,38 a 6,5 e Oxigênio Dissolvido (OD) de 1,56 a 7,98 mg/L. Durante a campanha do mês de setembro, não foi possível coletar amostras do poço PM-03 devido à reforma do túnel da ferrovia do Consórcio de Alumínio do Maranhão – ALUMAR.

A turbidez indicou o valor médio de 7,68 UT, sendo o valor mínimo de 0,71 UT, registrado na campanha do mês de setembro (período de estiagem) no PT-04 e máximo de 33,34 UT no PM-03, durante a campanha do mês de março (período chuvoso). Pode-se observar a contribuição da sazonalidade sobre os valores de turbidez encontrados (Figura 2).

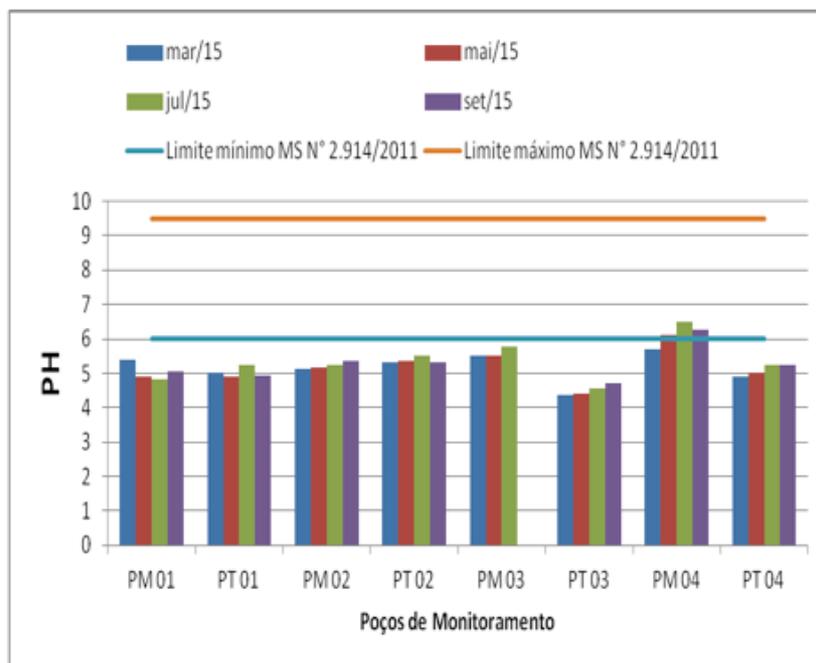
Figura 2 – Valores de Turbidez nos poços de monitoramento



Valores de turbidez abaixo de 5,0 UT são os aceitáveis em água para consumo humano (Portaria MS nº 2.914/11), mas é recomendável que a turbidez seja a mais baixa possível. A turbidez, material em suspensão na água, pode se fixar aos patógenos existentes, protegendo-os e até dificultando a ação do cloro sobre os mesmos. Schwartz e Goldstein (2000) encontraram associação positiva entre índices de turbidez e admissão hospitalar por doenças gastrointestinais, entre a população de idosos na Filadélfia, Estados Unidos, no período 1992-1993. A presença de *Cryptosporidium* também está associada a turbidez da água. Para água tratada, em sistemas de filtração rápida, adequadamente operados, produzindo efluentes com turbidez $\leq 0,3$ UNT, pode-se obter remoção de 99% de oocistos de *Cryptosporidium* (BASTOS et al., 2001). Acredita-se que os elevados valores de turbidez encontrados, especificamente, no PT-03, durante as duas campanhas do período de estiagem, ocorreram devido a influência antrópica para retirada do ar da tubulação do poço no momento da amostragem. Acrescenta-se o fato de que este poço raso (13m) utilizado na lavagem de veículos automotores foi perfurado manualmente, não possuindo os filtros determinados pela norma brasileira de perfuração de poços NBR 12244/1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), muito menos o selo de proteção sanitária permitindo a percolação de materiais particulados ao longo do perfil do solo.

O pH indicou valor médio de 5,08, sendo o valor mínimo de 4,38 registrado durante o mês de março (período chuvoso) no PT-03 e máximo de 6,5 no PM-04 na campanha do mês de julho (período de estiagem). Apenas o PM-04 apresentou valores dentro da faixa de pH preconizada pela Portaria MS nº 2.914/2011 que estabelece os limites mínimo e máximo de pH entre 6,0 e 9,5 para águas destinadas ao consumo humano (Figura 3).

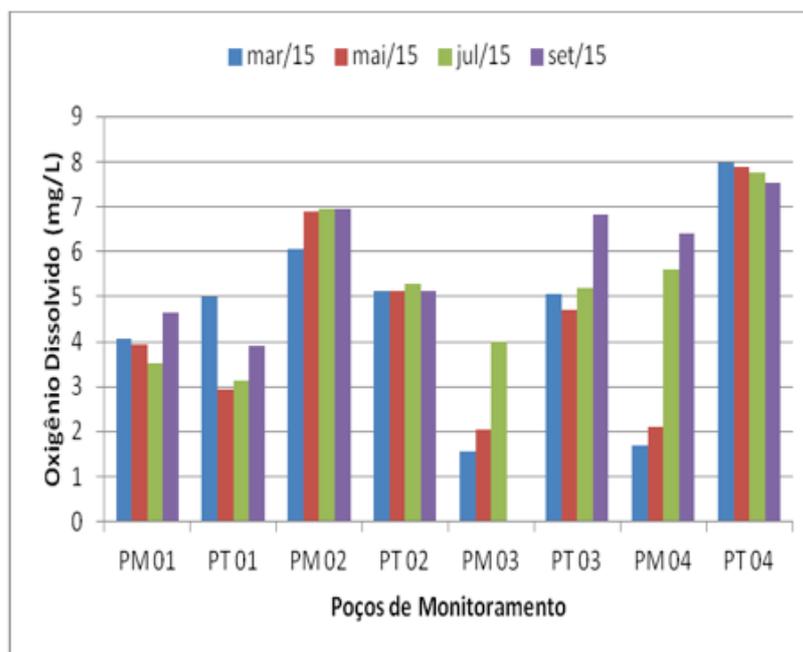
Figura 3 – Valores de PH nos poços de monitoramento



Carvalho, Schlittler e Tornisielo (2000) afirmam que com o aumento das chuvas, o pH tende a subir e aproximar-se da neutralidade, pois ocorre maior diluição dos compostos dissolvidos e escoamento mais rápido. O pH indica o tipo de água que exerce efeito corrosivo sobre as tubulações e equipamentos de sistemas de água e esgoto, influenciando na coagulação química e sedimentação em estações de tratamento de água (CONCEIÇÃO et al., 2009). A acidificação das águas subterrâneas reage com os metais presentes no solo, aumentando a concentração de elementos químicos na água de beber (OPS, 2000 apud SILVA, 2003).

Dentre todos os poços amostrados, os maiores e o menores valores da concentração de oxigênio dissolvido foram obtidos nos poços PM-03 (1,56 mg/L) e PT-04 (7,98 mg/L), respectivamente, enquanto que o média deste parâmetro foi de 4,84 mg/L (Figura 4).

Figura 4 – Valores de OD nos poços de monitoramento



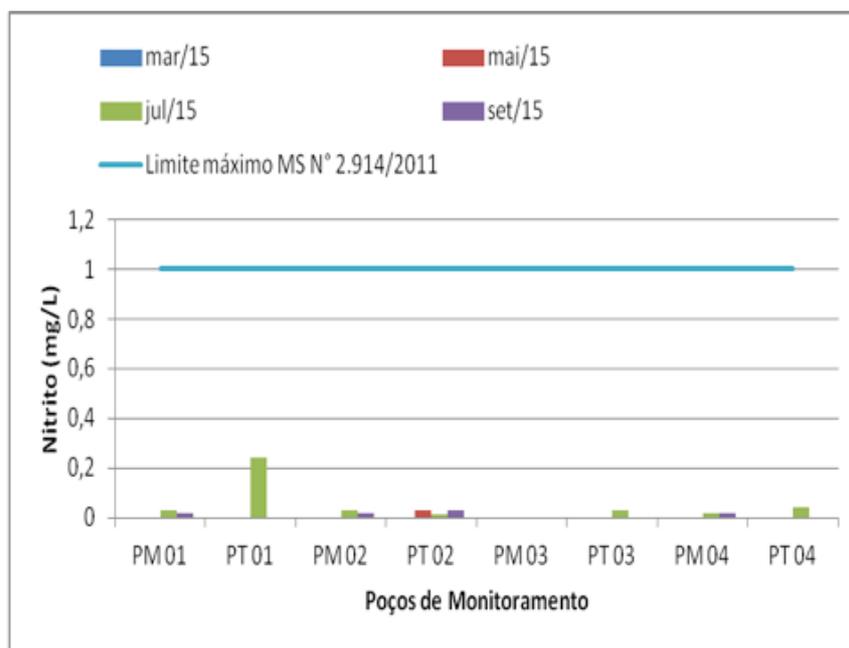
Conceição et al. (2009) afirmam que dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio, é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos, sendo que, em águas subterrâneas, assume concentrações conforme percorre as etapas do ciclo hidrológico. É um importante indicador de poluição, mostrando a redução de substâncias orgânicas e intensidade da autodepuração. Sua solubilidade na água depende, como em todos os gases, dos fatores de temperatura e pressão, ou seja, com a elevação da temperatura e diminuição da pressão ocorrem redução e solubilidade do oxigênio na água, respectivamente.

4.2. Composição iônica da água

O nitrito indicou valor médio de 0,022 mg/L, sendo o valor mínimo abaixo de <0,001 mg/L em todos os poços durante o mês de maio (período chuvoso), com exceção do PT-02 que registrou uma concentração de 0,03 mg/L,

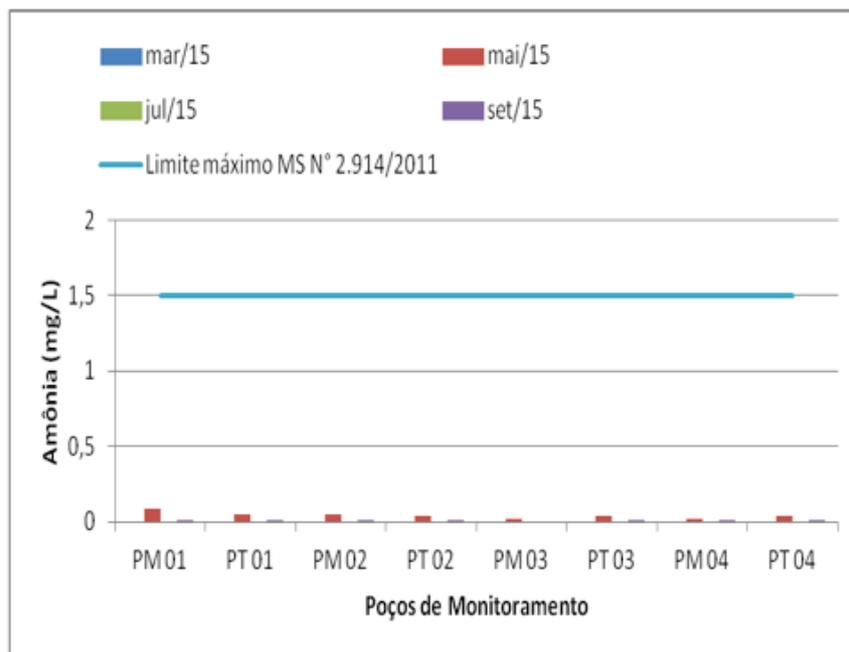
e máximo de 0,24 mg/L no PT-01 na campanha do mês de julho (período de estiagem) (Figura 5). Considerando que a Portaria nº 2.914/2011 do MS estabelece o limite de 1,0 mg L⁻¹ de nitrito em águas destinadas ao consumo humano, observou-se que nenhuma amostra apresentou valores acima do permitido.

Figura 5 – Valores de Nitrito nos poços de monitoramento



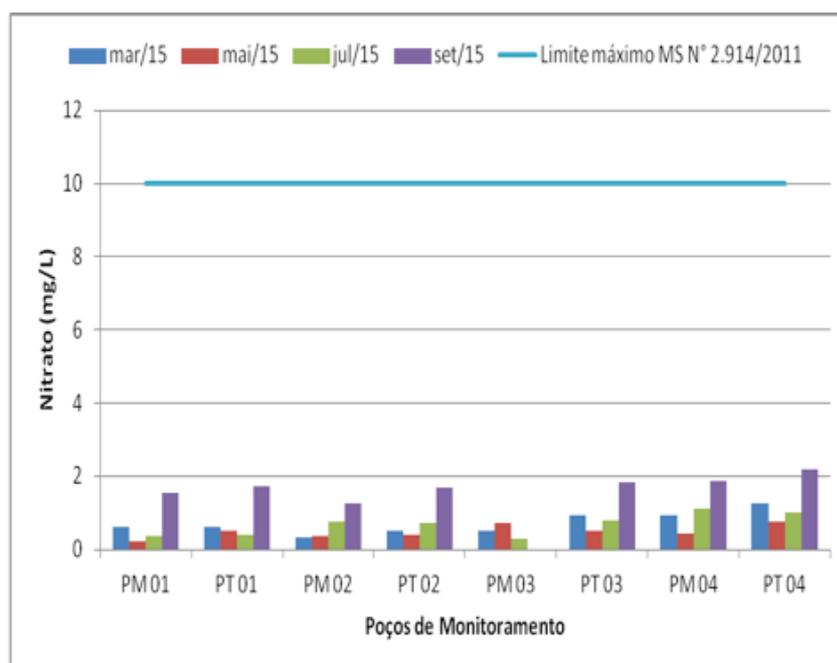
Com relação à amônia seu valor médio foi de 0,013 mg/L, sendo o valor mínimo abaixo de < 0,001 mg/L em todos os poços durante a campanha do mês de julho (período estiagem) e máximo de 0,09 mg/L no PM-01 na campanha do mês de maio (período chuvoso), mantendo-se dentro da faixa estipulada pela Portaria nº 2.914/2011 do MS que prevê um limite de 1,5 mg L⁻¹ de amônia em águas de abastecimento (Figura 6).

Figura 6 – Valores de Amônia nos poços de monitoramento



O nitrato indicou valor médio de 0,84 mg/L, sendo o valor mínimo de 0,21 mg/L registrado durante o mês de julho (período estiagem) no PM-01 e máximo de 2,17 mg/L no PT-04 na campanha do mês de setembro (período de estiagem) (Figura 7).

Figura 7 – Valores de Nitrato nos poços de monitoramento



Considerando que a Portaria nº 2.914/2011 do MS estabelece o limite de 10 mg L⁻¹ de nitrato em águas de abastecimento, observou-se que nenhuma das amostras analisadas apresentou valores acima do permitido. Supõe-se que o mecanismo de filtragem e as reações químicas ocorridas no solo contribuíram para que tais concentrações ocorressem. Fetter (1993) ensina que o processo de redução do nitrato a nitrogênio gasoso (N₂) constitui um mecanismo importante para a diminuição do teor deste elemento em águas subterrâneas. Antes de atingir a zona saturada, muitos compostos são modificados e/ou retidos nos sedimentos. O NH₄⁺ é retido por reações de troca de cátions e junto com o K⁺, pode ser fortemente fixado pelas argilas. Essa fixação ou troca catiônica pode reter uma grande quantidade de NH₄⁺ quando a água residuária infiltra-se no terreno, retardando a transferência de nitrogênio na forma de NH₄⁺ ou NO₃⁻ para a superfície freática.

Devido à sua proximidade com a faixa litorânea da Ilha do Maranhão, as águas subterrâneas da região de estudo podem sofrer intrusão salina. Existem diversas metodologias que auxiliam na avaliação da intrusão da água do mar, no presente estudo adotou-se o método da razão iônica entre os íons cálcio e magnésio (rMg²⁺/rCa²⁺), por fornecer resultados confiáveis com menores custos. Segundo Custódio e Llamas (1983) apud Feitosa e Manoel Filho (1997), a razão iônica (rMg²⁺/rCa²⁺) fornece uma imediata indicação deste fenômeno. Este índice possui um valor compreendido entre 0,3 e 1,5 meq/L em águas doces e da ordem de 5 meq/L em água do mar. A razão iônica (rMg²⁺/rCa²⁺) apresentou valor médio de 0,737 meq/L, sendo o mínimo de 0,098 meq/L no início da estação chuvosa no PT-04 e máximo de 4,135 meq/L no início do período de estiagem no PT-01 (Tabela 1).

Tabela 1 – Razão Iônica (rMg²⁺/rCa²⁺) da água dos poços monitorados nas comunidades rurais objeto de estudo.

Razão iônica rMg ²⁺ /rCa ²⁺ (meq/L)						
Poço	Mar/15	Mai/15	Jul/15	Set/15	Águas Doces	Água do mar
PM 01	0,141	0,329	0,114	0,994	0,3 - 1,5	≥ 5
PT 01	1,491	2,982	4,135	0,325		
PM 02	0,498	0,329	1,028	0,997		
PT 02	0,493	1,33	0,714	0,596		
PM 03	1,33	0,994	0,665	-		
PT 03	0,109	0,221	0,146	0,238		
PM 04	0,329	0,164	0,501	0,745		
PT 04	0,098	0,623	0,699	0,142		

Observou-se que durante o período estudado, quase todos os poços apresentaram valores compreendidos entre a faixa de 0,3 e 1,5 meq/L indicadores de água doce, descaracterizando a ocorrência de intrusão salina na região. Somente o PT-01 apresentou valor de 4,135 meq/L, indicando possível intrusão salina, no início do período de

estiagem. Novas campanhas de monitoramento deste parâmetro são necessárias para confirmação deste resultado, pois o PM-01, situado na mesma área e localizado a menos de 50 m do PT-01 não apresentou valores indicativos de intrusão por água salgada. Avaliando o grau de salinidade através dos conteúdos de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), as Resoluções CONAMA N° 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, e a n° 430/2011 que complementa e altera a n° 357/2005, estabelecem três categorias para águas de acordo com o nível de salinidade, quais sejam doces ($STD \leq 500$ mg/L), salobras ($500 \text{ mg/L} \leq STD \leq 30.000$ mg/L) e salinas ($STD \geq 30.000$ mg/L). De acordo com as premissas acima descritas e com a análise dos resultados obtidos, observou-se que os valores de sólidos totais dissolvidos das águas, no presente estudo, variaram, entre 20,86 mg/L (PM-02) no pico do período de estiagem a 244,4 mg/L (PT-04) no início da estação chuvosa, com média de 80,1120 mg/L, ou seja, bem abaixo do limite de 500 mg/L estipulados pelas Resoluções CONAMA citadas acima, o que reforça a caracterização das águas da região como doce (Tabela 2). Classificação semelhante, foi obtida por Dias et al. (2014) monitorando o conteúdo de sólidos totais dissolvidos (STD) em 11 poços localizados na área do Complexo Portuário da Ponta da Madeira pertencente a Companhia Vale em São Luís – MA, onde o conteúdo de STD variou entre 3,7 mg/L a 642 mg/L, com média de 266,10 mg/L, classificando também as águas como doce.

Tabela 2 – Conteúdo de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da água dos poços monitorados nas comunidades rurais objeto de estudo.

STD (mg/L)				
Poço	Mar/15	Mai/15	Jul/15	Set/15
PM 01	53,30	106,54	55,90	34,97
PT 01	34,905	52,0	99,45	69,745
PM 02	45,175	69,29	27,235	20,865
PT 02	83,252	63,505	53,365	34,71
PM 03	31,135	36,595	31,98	-
PT 03	177,45	167,05	132,54	85,865
PM 04	80,925	74,49	52,065	46,995
PT 04	244,4	185,25	167,05	145,6

4.3. Análise microbiológica da água

A Tabela 3 mostra os resultados das 32 amostras de água analisadas quanto a presença de Coliformes totais e *E. coli*, pela técnica do substrato cromogênico-fluorogênico.

Tabela 3 – Valores de Coliformes Totais e *E. coli* em amostras de água subterrânea dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA.

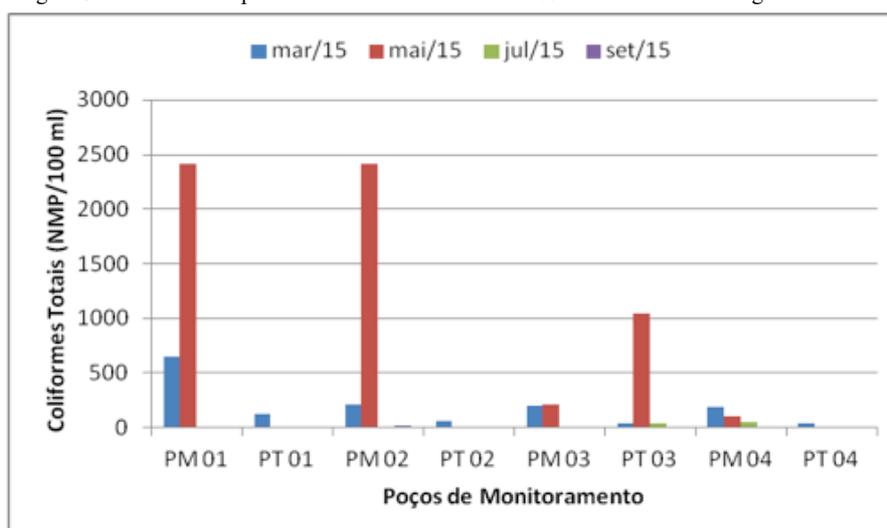
Coliformes totais (NMP/100ml)					
Poço	Mar/15	Mai/15	Jul/15	Set/15	MS 2.914/2011
PM 01	648,08	2419,6	<1	1,0	Ausência
PT 01	122,4	<1	<1	<1	
PM 02	214,3	2419,6	6,3	15,4	
PT 02	56,5	<1	4,1	5,0	
PM 03	201,4	209,8	3,1	-	
PT 03	33,6	1046,2	36,4	1,0	
PM 04	193,5	108,1	47,1	2,0	
PT 04	37,3	<1	<1	2,0	

Escherichia coli (Presença/Ausência)					
Poço	Mar/15	Mai/15	Jul/15	Set/15	MS 2.914/2011
PM 01	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
PT 01	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	
PM 02	Ausência	Presença	Ausência	Ausência	
PT 02	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	
PM 03	Ausência	Ausência	Ausência	-	
PT 03	Ausência	Presença	Ausência	Ausência	
PM 04	Ausência	Presença	Presença	Ausência	
PT 04	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	

Do total analisado, 24 amostras (75%) apresentaram qualidade microbiológica insatisfatória para coliformes totais e 4 (12,5%) para *E. coli*. Estes resultados indicam que a água dos poços pode ter sido contaminada pelo conteúdo de fossas ou dejetos animais. O manejo inadequado dos dejetos animais ou de fossas sépticas pode levar à contaminação da água por micro-organismos de origem fecal, *Escherichia coli* e enterococos, que podem ser carreados do solo para fontes de água superficiais, como córregos e represas, ou sofrerem percolação, podendo atingir lençóis de água subsuperficial, causando contaminação, principalmente em época de alta pluviosidade (COGGER, 1988). Colvara, Lima e Silva (2009), ao avaliar a qualidade de águas subterrâneas de poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul, observaram que 100% das amostras estavam contaminadas por coliformes totais e 70% delas apresentavam coliformes termotolerantes. Os autores ressaltaram que vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação: falta de manutenção do reservatório; localização inadequada do poço; e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo. Resultado similar é relatado por Amaral et al. (2003) em estudo desenvolvido na região nordeste do estado de São Paulo que, analisando a água para consumo humano em propriedades rurais, verificaram que aproximadamente 96% das amostras de água de poços rasos analisadas apresentavam-se impróprias para o consumo humano, representando fator de risco à saúde, tendo em vista as altas concentrações encontradas. A Portaria MS nº 2.914/2011 estabelece que a água destinada ao consumo humano em qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas e nascentes deve ter ausência de *Escherichia coli* em 100 ml da amostra.

Valores acentuados de Coliformes Totais (2.419,6 e 1.046,2 NMP/100ml) foram encontrados nos poços PM-01, PM-02 e PT-03, respectivamente, na campanha do mês de maio (período chuvoso mais intenso) (Figura 8).

Figura 8 – Número mais provável de Coliformes Totais/100 ml em amostras de água subterrânea.



A Portaria MS nº 2.914/2011 estabelece que a água destinada ao consumo humano deve ter ausência de Coliformes Totais em 100 ml da amostra. No caso de amostras individuais procedentes de poços, fontes, nascentes e outras formas de abastecimento sem distribuição canalizada, tolera-se a presença de coliformes totais, na ausência de *Escherichia coli*, cabendo ao órgão de vigilância ambiental investigar o motivo da ocorrência das bactérias e tomar as providências imediatas de caráter preventivo e corretivo.

4.4. Análise estatística dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos

Os resultados da ANOVA, apresentados na tabela 4, mostraram a existência de diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os poços somente para os parâmetros: condutividade elétrica, turbidez, nitrato e nível de elevação.

Tabela 4 – Resultados do teste ANOVA identificando os parâmetros físico-químicos que apresentaram diferença estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), entre os poços estudados.

	CE	Turbidez	Nitrato	NE
Valor p	0,000995	0,001728	0,00000756	0,00932
n	31	31	31	15

n = número de amostras; CE = Condutividade elétrica; NE = Nível de elevação

Quanto à análise de condutividade elétrica, aplicando-se o teste de Tukey para identificação de quais médias foram diferentes percebeu-se que aquelas apresentadas pelos poços PT-03, PM-04 e PT-04 foram significativamente maiores que as demais. Apesar deste parâmetro encontrar-se abaixo do limite máximo permitido estabelecido pela Portaria MS nº 2.914/2011, trata-se de uma situação de alerta a ser verificada em novos trabalhos de monitoramento nas águas subterrâneas da região, mais precisamente nestes 03 poços pois a condutividade elétrica da água é uma medida da capacidade deste líquido em conduzir corrente elétrica e possui relação direta com o conteúdo de sais dissolvidos na água, influenciando a salinidade do meio aquoso.

Quanto à turbidez, o teste de Tukey evidenciou que a média apresentada pelo poço PT-04 foi menor quando comparada com as demais. Este poço foi perfurado pela concessionária CAEMA e acredita-se que o correto cumprimento das etapas de perfuração e a profundidade deste poço tenham contribuído para a manutenção de índices de turbidez bem reduzidos, muito embora novos estudos sejam necessários para o melhor entendimento deste fenômeno.

Quanto ao nitrato, os resultados do teste ANOVA mostraram a existência de diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) apenas quando se comparou os teores deste parâmetro com os períodos de amostragem. Nesta análise, percebe-se que a concentração de nitrato atingiu maiores valores na campanha realizada no mês de setembro do período estudado.

Quanto ao nível de elevação, o teste de Tukey indicou que a média apresentada pelo poço PM-02 foi significativamente maior que os demais poços. Supõe-se que a localização deste poço em cota altimétrica mais elevada do que os demais tenha contribuído para este fenômeno.

Os resultados do teste de Mann Whitney e Kruskal-Wallis, apresentados na tabela 5, mostraram a existência de diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) para Coliformes totais e cálcio, respectivamente, quando comparados com os meses de amostragem.

Tabela 5 – Resultados do teste Mann-Whitney e Kruskal-Wallis identificando os parâmetros físico-químicos que apresentaram diferença estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), entre os poços estudados.

	Mann-Whitney Coliformes totais	Kruskal-Wallis Cálcio
Valor p	0,0004	0,01
n	31	31

n = número de amostras; CE = Condutividade elétrica; NE = Nível de elevação

Os resultados mostram, quanto ao parâmetro Coliformes totais, que os meses de julho e setembro, representativos do período de estiagem, apresentaram menores valores nas amostras de água subterrânea. Percebe-se mais uma vez a influência da sazonalidade sobre a contaminação bacteriológica dos mananciais subterrâneos.

Quanto ao elemento cálcio, analisando os resultados do teste de Kruskal-Wallis, percebe-se que os poços PT-03 e PT-04 apresentaram as maiores médias em relação aos demais poços.

5. Conclusão

1. Quanto à qualidade físico-química da água, a turbidez mostrou-se elevada em boa parte do período estudado podendo interferir na eficiência de futuros trabalhos de cloração da água consumida pelos moradores. Os demais parâmetros demonstraram variação dentro do esperado;
2. Quanto à concentração de nitrito, nitrato e amônia, nenhuma amostra apresentou-se acima dos limites preconizados pela legislação;

3. A razão iônica (rMg^{+2}/rCa^{+2}) indicou que a água dos poços monitorados ainda não está contaminada pela intrusão salina;
4. A presença de *Escherichia coli* em 04 amostras analisadas coloca em risco a saúde das famílias;
5. Os resultados do teste ANOVA seguido do teste de Tukey, para o parâmetro condutividade elétrica, indicaram situação de alerta no que diz respeito à continuidade dos trabalhos de monitoramento da salinidade nos poços PT-03, PM-04 e PT-04;
6. O teste de Mann-Whitney permitiu verificar, para as análises de coliformes totais, a influência da sazonalidade sobre a concentração deste indicador bacteriológico.

As águas subterrâneas assumiram um papel importante como fonte de abastecimento de água, seu monitoramento contínuo e permanente permitirá antever possíveis impactos causados pelas atividades humanas e auxiliar na melhor tomada de decisão para o controle e minimização dos impactos bem como para o correto gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos, contribuindo para a manutenção da saúde das populações. Com os dados oriundos desta pesquisa ainda não podemos afirmar que o aquífero local encontra-se contaminado, apesar de haver alguns indícios pontuais de contaminação. Estes valores servem para mostrar a necessidade do monitoramento permanente dos poços, já que esta solução alternativa de abastecimento de água é a única na região.

Referências

- AMARAL, L.A. et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista de Saúde Pública**, v. 37, n. 4, p. 510-514, 2003.
- APHA; AWWA; WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Baltimore: Port City Press, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Construção de poço para captação de água subterrânea NBR12244**. 1992. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.244-Construc%C3%A3o-de-po%C3%A7o-para-capta%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1gua-subterr%C3%A2nea.pdf>>. Acesso em: 4 nov. 2015.
- BASTOS, R.K.X. et al. Abordagem sanitário-epidemiológica do tratamento e da qualidade parasitológica da água: entre o desejável e o possível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. CD-ROM.
- BORGES, G.B.C. et al. Avaliação de tecnologias para o monitoramento de águas subterrâneas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 27., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgecv3/userfiles/sumarios/e8f96c42b845091b0dd09d0528e79196_a3b4b25a61680364db17410beb804bd0.pdf> Acesso em: 16 jul. 2014.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_2914-11.pdf>. Acesso em: 21 maio 2015.
- _____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 23 de Janeiro 2005.
- _____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
- _____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF, 2006, 212 p. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2014/maio/30/Manual-de-Vigilancia-e-Controle-da-Qualidade-da-Agua.pdf>>. Acesso em 12 fev. 2016.
- CAPPI, N. et al. Qualidade química e sanitária da bacia do córrego João Dias, Aquidauana/MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: CONBEA, 2011. p. 1-9.
- CAPUCCI, E. et al. **Poços tubulares e outras captações de água subterrâneas: orientação aos usuários**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 70 p.
- CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, F.H.M.; TORNISIELO, V.L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, v. 23, n. 5, p. 618-622, 2000.
- CHAVES, A. de. **Monitoramento de águas subterrâneas em um empreendimento potencialmente poluidor no município de Santa Maria/RS**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/dissertao_adilson_chaves.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2014.
- COGGER, C. On-site septic systems: the risk of groundwater contamination. **Journal of Environmental Health**, v. 51, n. 1, p.12-16, 1988.

- COLVARA, J.G.; LIMA, A.S.; SILVA, W.P. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, p. 11-14, 2009.
- CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazini da et al. Hidrogeoquímica do aquífero guarani na área urbana de Ribeirão Preto (SP). **Geociências (São Paulo)**, São Paulo, v. 28, n. 1, 2009. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-90822009000100006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 5 nov. 2015.
- CONOVER, W. J. **Practical nonparametric statistics**. New Jersey: John Willey & Sons, 584 p. 1990.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia subterrânea**. 2. ed. Barcelona: Ômega, 1983.
- DIAS, Samantha Barriga; SANTANA, Claudemir G.; Soares, David; Soares, Rossana Vasconcellos. Análise dos dados quali-quantitativos dos poços tubulares em produção do Complexo Ponta da Madeira, São Luís/MA. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2014, Belo Horizonte. Disponível em: <aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28260>. Acesso em: 16 fev. 2016.
- _____. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM; Serviço Geológico do Brasil; LCR, 1997. 389 p.
- FETTER, C.W. **Contaminant hydrogeology: upper soddler river**. New Jersey: Prentice-Hall, 1993. 458 p..
- HAMMER, Ø., HARPER, DAT., and RYAN, PD., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** 4(1): 9pp.
- MARANHÃO EM DADOS 2005 / Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos – São Luís: IMESC, 2007.
- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. **Aspecto de la lucha contra la contaminacion del agua**. Ginebra, 2000. (Cuadernos de Salud Pública, 13). Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/seminabio/article/viewfile/2903/2461>>. Acesso em: 14 ago. 2014.
- PEREIRA, Ediléa Dutra. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do Reservatório Batatã – São Luís/MA**. Rio Claro: [s.n.], 2006.
- SANTOS, R.N. dos. **Teor de sódio e outros íons em águas subterrâneas do município de Rosário (MA) e suas possíveis implicações na saúde da população**. 2011. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2011. Disponível em: <http://www.tedebr.ufma.br//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=822>. Acesso em: 24 jul. 2014.
- SCHWARTZ J, Levin R.; GOLDSTEIN, R. Drinking water turbidity and gastrointestinal illness in the elderly of Philadelphia. **Journal of Epidemiology & Community Health**, v. 54, n. 1, p. 45-51, 2000.
- SEMA, Secretaria de Meio Ambiente, Relatório Técnico sobre as ações de Educação Ambiental, 2008. São Luís, 56p.
- SILVA, Rita de Cássia Assis da. Avaliação da qualidade bacteriológica e físico-química, para consumo humano, de água de manancial subterrâneo, em áreas urbanas de Feira de Santana/BA/Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003.
- SOUSA, Sérgio Barreto de. **Sistema Aquífero Da Ilha Do Maranhão (Ma)**. *Joint World Congress on Groundwater*, 2000, Fortaleza. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/24101/16130>>. Acesso em: 28 julho 2016.
- UNEP/WHO. **Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes**. Organização Mundial da Saúde. Genebra. 1996.

-
1. Mestrando em Saúde e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão – UFMA; Email: jmb13@hotmail.com
 2. Professor Dr. do Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão – UFMA; Email: alec@ufma.br
 3. Professora Dra. Do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Maranhão – UFMA; Email: edileap@gmail.com
 4. Professor Msc. do Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão – UFMA; Email: jameswerllen@yahoo.com.br
-

Revista Espacios. ISSN 0798 1015

Vol. 37 (Nº 31) Año 2016

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]