

# ANÁLISE DOS DADOS QUALI-QUANTITATIVOS DOS POÇOS TUBULARES EM PRODUÇÃO DO COMPLEXO PONTA DA MADEIRA, SÃO LUIS/MA.

*Samantha Barriga Dias<sup>1</sup>, Claudemir G. Santana<sup>2</sup>, David Soares<sup>3</sup>, Rossana Vasconcellos Soares<sup>4</sup>*

**RESUMO** – A área do Complexo Ponta da Madeira está localizada na porção noroeste do Estado do Maranhão, localização de uma das unidades da VALE/SA. O monitoramento de Recursos Hídricos realizado pela empresa nos pontos de captação é de grande importância para acompanhamento ambiental dos recursos hídricos subterrâneos. Neste artigo são apresentados resultados do monitoramento no período de 2008 a 2010, considerando: os parâmetros quantitativos, as variações dos níveis potenciométricos dos aquíferos, os índices de pluviometria mensal, além do diagnóstico referente aos parâmetros físico-químicos, avaliados nos anos de 2009 e 2010, dados disponibilizados pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão. Foram selecionados para este trabalho 11 poços de bombeamento para avaliação do cenários em estudo. Sendo assim, observou-se que a variação dos níveis estáticos, nos poços de bombeamento, provavelmente possui uma relação direta com os índices de precipitação pluviométrica. Também foi observando que o monitoramento qualitativo realizado pelas empresas VALE é uma ferramenta de gestão de extrema importância, usada para identificar eventuais inícios de uma contaminação e/ou anomalias no sistema de água subterrâneo, sendo utilizada para controlar a quantidade de água subterrânea captada para consumo humano.

**ABSTRACT** - The *Complexo Ponta da Madeira* area is located in the northwest portion of the State of Maranhão, location of an unit from VALE/SA. This paper presents partial resulted from 2008 to 2010 of quant-qualitative monitoring, tracking aquifer potentiometric level, in addition the monthly rainfall monitoring and the physical-chemicals diagnosis relating measured from 2009 to 2010. Wells pumping were selected, exactly 11, for these monitoring. The variation in levels static is probably related with precipitation. The qualitative monitoring carried through by VALE companies is a tool of extreme importance used to identify eventual beginnings of a contamination, and to control the quality of underground water for human consumption.

**PALAVRAS CHAVE:** Gestão; monitoramento; Complexo Ponta da Madeira.

---

1 M.Sc., Geóloga. Analista Ambiental da VALE/SA, Área de Meio Ambiente, Complexo Ponta da Madeira, CPM, São Luis, MA, CEP 65085.580, tel. (98) 3218-4124, e-mail: [samantha.dias@vale.com](mailto:samantha.dias@vale.com)

2 Dr. Química. Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, Avenida Colares Moreira, Depto. Engenharia Civil, E-mail: [claudemirsantana@uol.com.br](mailto:claudemirsantana@uol.com.br).

3 Engenheiro Civil. Analista Ambiental da VALE/AS. Área de Meio Ambiente, Rua Paraíba, Ed. das Américas, 1122,18 andar, Savassi, 30130-141, Belo Horizonte, MG, e-mail: [david.soares@vale.com](mailto:david.soares@vale.com)

4 M.Sc., Engenheira Civil. Programa de pós graduação Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte - MG CEP 31270-901. E-mail: [rossana.soares@potamos.com.br](mailto:rossana.soares@potamos.com.br)

---

## **INTRODUÇÃO**

A área do Complexo Ponta da Madeira (CPM) está localizado na porção oeste da Ilha de São Luís, este complexo portuário é gerenciado pela empresa VALE/SA.

Conforme Souza 2004, o sistema aquífero da Ilha do Maranhão situa-se na Bacia Costeira de São Luís e é constituído pelos depósitos sedimentares das formações Barreiras (Terciário) e Itapecuru (Cretáceo), abrangendo 957,05 km<sup>2</sup>.

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”.

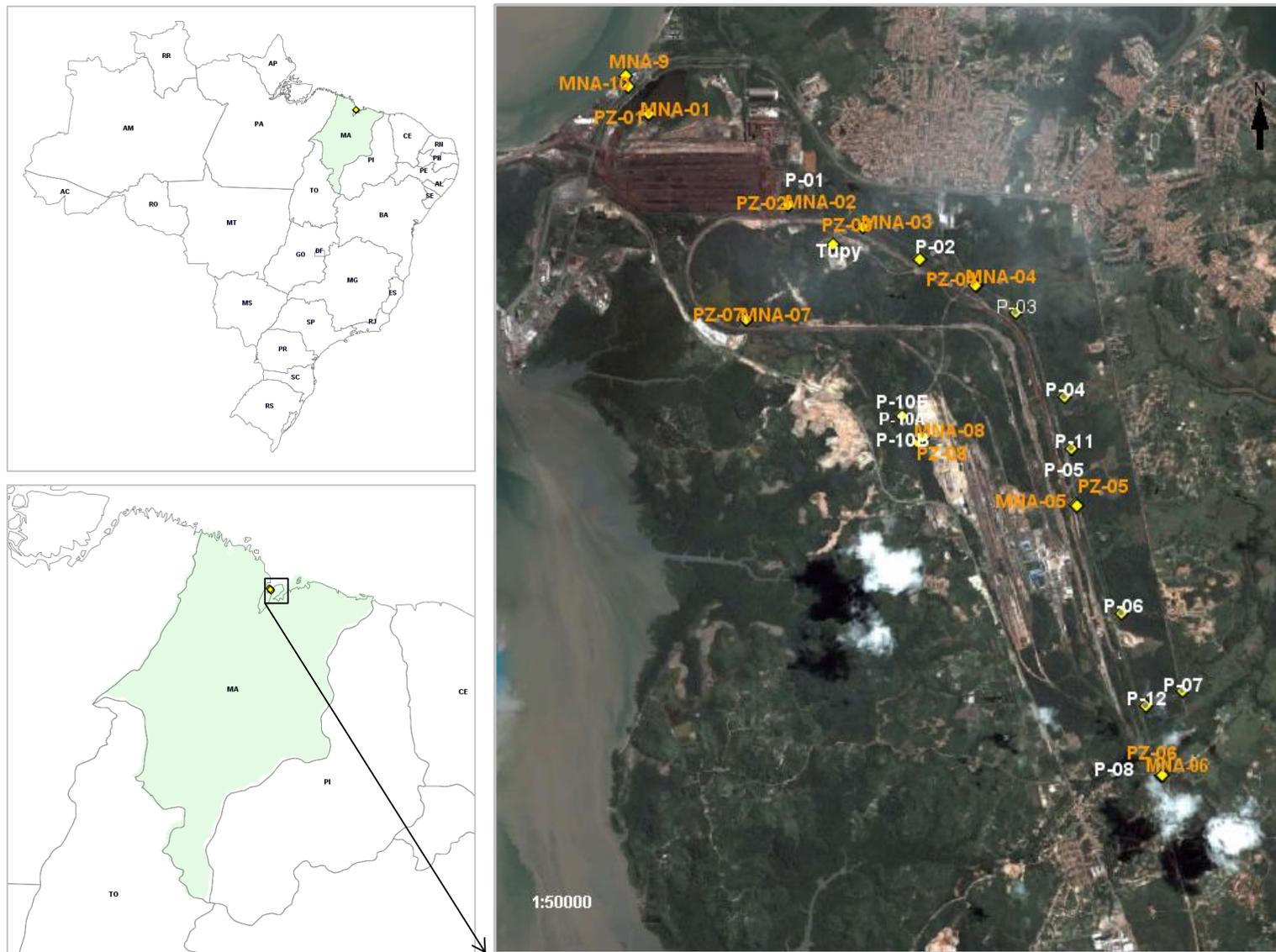
De acordo com Simoneti, 1999, o monitoramento da qualidade da água, é definido como sendo o esforço para obter compreensão das características químicas, físicas e biológicas da água, por meio de amostragem e interpretação estatística.

É de conhecimento da VALE que as águas subterrâneas exercem diferentes funções – social econômica e ambiental, por isso desenvolveu-se um programa de monitoramento abrangente, correlacionando os dados controle da quantidade e qualidade destes recursos, considerando suas inter-relações com as águas superficiais, com as variáveis climáticas e condições de uso e ocupação do solo.

Atualmente o CPM possui 14 poços de bombeamento (PB), dos quais 11 estão em funcionamento, além de 12 poços de monitoramento construídos durante a implantação do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos em 2004, que estão fornecendo todas as informações necessárias para o efetivo gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais como pode ser observado na Figura 01. As informações obtidas do monitoramento subsidiam a tomada de decisões na gestão dos recursos hídricos, especialmente em função da importância, preservação e o uso racional da água. Para melhor compreender o cenário ambiental e as inter-relações com os dados levantados, fez-se necessário uma breve descrição geológica e hidrológica da área como pode ser vista a seguir.

## **GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DA ÁREA**

A área do Complexo Ponta da Madeira - CPM insere-se no contexto geológico da Bacia Sedimentar de São Luís, onde foram depositados sedimentos de idade Cretácica, Terciária e Quaternária. Esta bacia se encontra separada da bacia do Parnaíba, no seu bordo interior, pelo Arco Ferrer Urbano Santos. De acordo com os estudos realizados na área, as formações geológicas que ocorrem na ilha são: Formação Itapecuru, Formação Barreiras e Sedimentos Tércio- Quaternários. Em termos hidrogeológicos, os estudos realizados no âmbito da Ilha de São Luís (CPRM, 1994;



**Figura 01** – Mapa de localização do Complexo Ponta da Madeira. As siglas destacadas em laranja correspondem aos poços de monitoramento (PM) e em branco aos poços de bombeamento (PB).

(SOUSA, 1997) e da área investigada, apontam quatro aquíferos principais, denominados Itapecuru, Paleógeno, Barreiras e Coberturas Sedimentares. Estes aquíferos estão distribuídos pela área das bacias hidrográficas do Bacanga, Itaqui, Paciência, Anil, Cachorros, Tibiri, Jeniparana e Santo Antônio. Com base na distribuição e ocorrência destes sistemas aquíferos, SOUSA (1997) identificou e classificou cinco zonas aquíferas principais. O mesmo autor conclui que, quatro destas zonas são favoráveis à captação de água subterrânea, quais sejam: Zona 1, Zona 2, Zona 3 e Zona 4 (Figura 02). Estas zonas são capazes de produzir vazões que variam de 1 a 100 m<sup>3</sup>/h. No entanto, deve-se atentar para o atendimento de critérios técnicos para garantir a produção de águas subterrâneas sem a interferência da intrusão salina.

A área do CPM está inserida no contexto hidrogeológico da bacia do Itaqui e Bacanga. A bacia do Bacanga engloba grande parte da zona 1, que apresenta aquíferos confinados a semi-confinados profundos com água doce até a profundidade de 150 m abaixo do nível do mar. Subordinadamente, ocorre a zona 5, representada por aquíferos em ambientes de mangue, e a zona 3, representada por aquíferos livres com baixa potencialidade hidrogeológica. Enquanto que a bacia do Itaqui encontra-se inserida predominantemente na zona 3, constituída por aquíferos livres e semi-confinados com baixa potencialidade para captação de água subterrânea.

As infiltrações de água nos poços até a profundidade de 50 m correspondem ao aquífero livre, correlacionado aos sedimentos do Terciário-Paleógeno, e as infiltrações de água nos poços abaixo de 80 m de profundidade estão correlacionadas ao aquífero Itapecuru, que por sua vez é o mais explorado dado a sua maior capacidade de produção.

Os aquíferos costeiros, sob condições naturais, descarregam a água doce dos aquíferos no oceano. Entretanto, devido à crescente demanda de água para abastecimento nas regiões costeiras, o fluxo das águas subterrâneas em direção ao mar decresceu ou inverteu-se, fazendo com que a água do mar entre e penetre para o interior, nos aquíferos, ocorrendo o fenômeno denominado “intrusão salina”. Quando isso ocorre, há uma elevação da concentração de sais dissolvidos e a utilização das águas do aquífero fica comprometida. O aquífero contaminado com água costeira que pode levar anos para retornar a sua condição de equilíbrio natural, mesmo com a introdução de água doce para diluir ou “lavar” a água salgada. A importância da proteção dos aquíferos costeiros contra esta ameaça foi um dos motivos que levou a implantação de uma rede de monitoramento que possibilitou as investigações destinadas a evitar ou controlar a intrusão da água do mar.

## **METODOLOGIA DO TRABALHO**

A VALE possui um Programa de Monitoramento Hídrico Quali-Quantitativo para a área do CPM. Tal programa faz parte do sistema de gerenciamento de Recursos hídricos e tem por finalidade o acompanhamento das flutuações sazonais de nível d'água do aquífero local e à

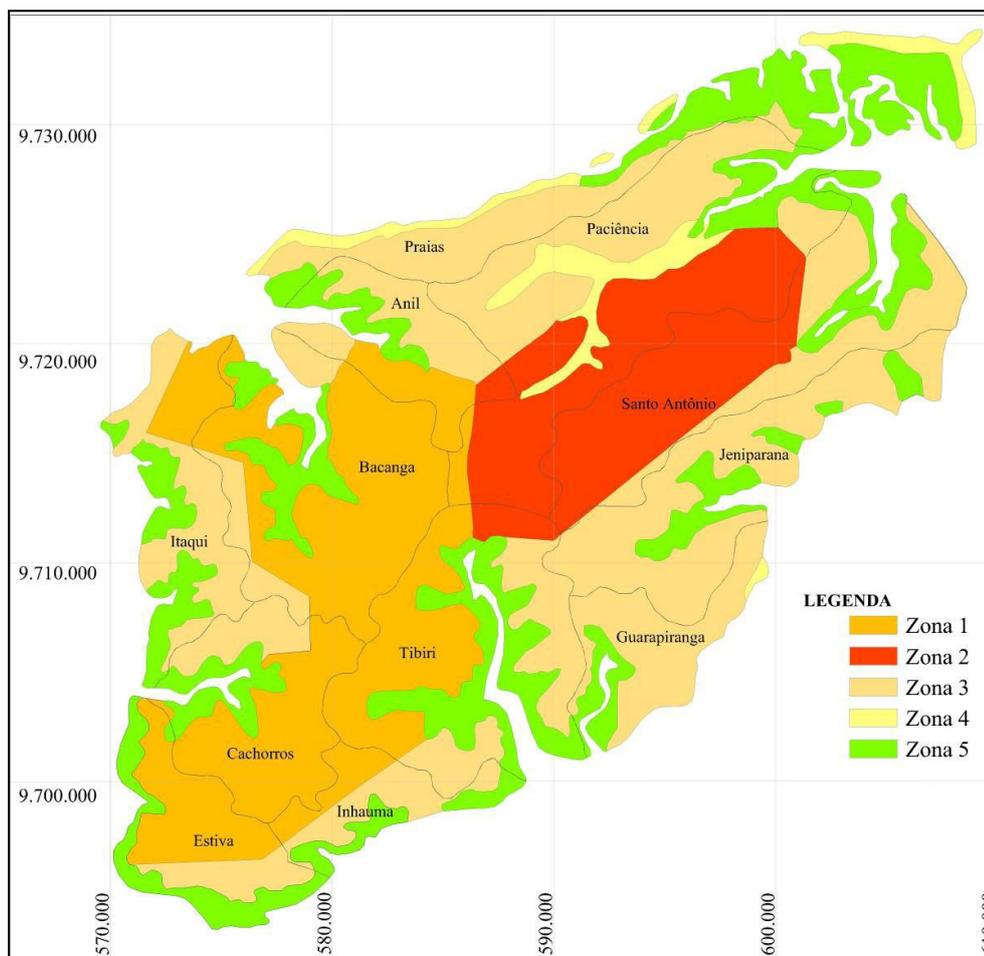


Figura 02 - Zoneamento de Água Subterrânea da Ilha de São Luís (Fonte: Modificado de Sousa, 1997).

caracterização do comportamento da intrusão salina em função da atuação de aspectos naturais (variação sazonal da recarga) e antropogênico (bombeamento de poços tubulares).

Quando da implantação e execução deste sistema de gerenciamento acima descrito, foram instalados 12 poços de monitoramento estrategicamente alocados, nos quais estão sendo determinados mensalmente a profundidade do nível estático (NE). Existem também no CPM 14 poços de bombeamento, dos quais 11 estão em funcionamento. Estes poços também são mensalmente monitorados em relação aos parâmetros de níveis estáticos (NE) e níveis dinâmicos (ND), vazões de água e tempo de bombeamento. Todos os dados quantitativos obtidos do monitoramento são anotados e armazenados em planilhas eletrônicas, sendo que as fichas de campo são arquivadas para eventuais conferências. A VALE é responsável por consistir os dados e apresentá-los, posteriormente, na forma de gráficos para que possam ser verificados quaisquer tipos de anomalias de leitura, ou mesmo dados que estejam em desacordo com os limites estabelecidos pelo órgão e leis ambientais.

O diagnóstico qualitativo iniciou em 2009 e consiste na determinação analítica dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, periodicamente, com o objetivo de avaliar a qualidade natural dos mananciais hídricos no domínio do empreendimento e, dentre os objetivos, também visa monitorar o avanço da intrusão salina VALE 2009. Para a coleta e análise das amostras das águas subterrâneas nos poços de bombeamento indicados acima, definiu-se uma periodicidade mensal durante o período seco, entre os meses de julho e novembro, e uma periodicidade bimestral durante o período úmido, entre os meses de dezembro e junho, com o objetivo de assegurar uma boa representatividade dos dados e de acompanhar possíveis oscilações de qualidade das águas subterrâneas.

Para a elaboração deste artigo, foram necessários:

- ✓ Pesquisas bibliográficas referentes à geologia e hidrogeologia do Maranhão;
- ✓ Dados do monitoramento quantitativo dos 11 poços de bombeamento, referente ao período de 2008 a 2010 - consistidos pela VALE, cedidos pela SEMA-MA
- ✓ Os dados coletados do monitoramento qualitativo referente ao período de 2009 e 2010 - obtidos pela VALE e coletados conforme o estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas "NBR 15847:2010 (Amostragem de Águas Subterrâneas em Poços de Monitoramento: Métodos de Purga", 21/Junho/2010). Os dados foram cedidos para a elaboração deste documento, entretanto, devido à numerosa quantidade de dados, neste artigo serão analisados os seguintes parâmetros: pH, Cor, Turbidez, Cloreto total, Sólidos Dissolvidos Totais, Sódio, Potássio, Cálcio e Ferro Total.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Monitoramento Quantitativo**

As medidas mensais dos níveis estáticos dos poços permitem acompanhar a variação do lençol freático, com isso é possível obter informações como a taxa e direção do movimento das águas subterrâneas; estado ou mudanças no armazenamento das águas subterrâneas; mudanças no nível devido à extração da água, quantidade, fonte, área de recarga.

Alguns poços da área do empreendimento encontram-se tamponados devido a problemas construtivos, P-01, P-05, P-08 e P-10 A; e a série de dados dos 12 poços de monitoramento é curta. Como critério, esses dados foram descartados desta análise, optando-se por analisar somente os dados dos 11 poços tubulares que estão atualmente em produção. São eles: P-02, P-03, P-04, P-06, P-07, P-10B, P-10E, P-11, P12, P-Tupy e P- Estação de Passageiros.

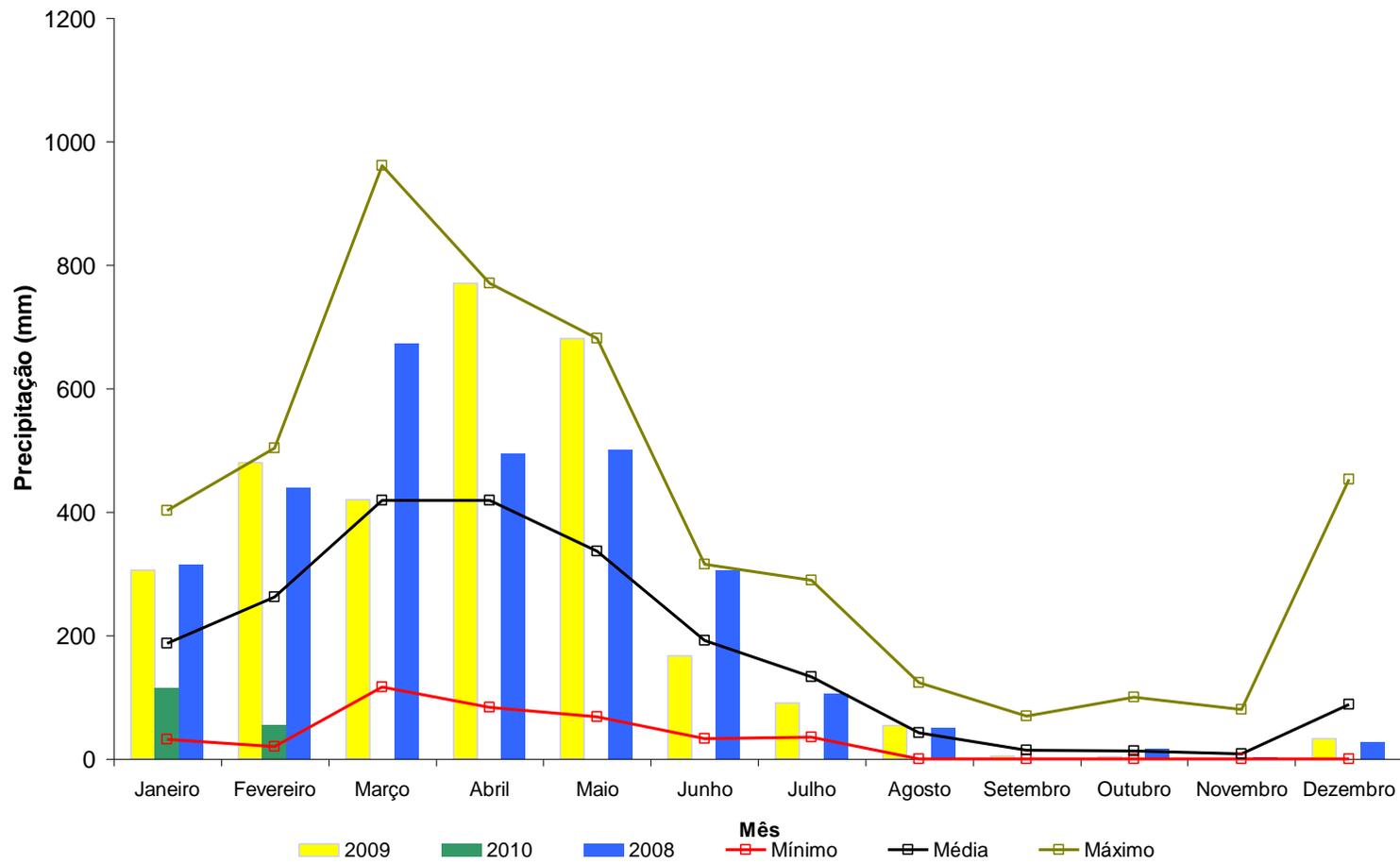
Dessa forma, procurou-se também, associar a variação nos Níveis Estáticos, as médias dos índices pluviométricos ocorridos no período monitorado. Nas Tabelas 01 e 02 e na Figura 03 estão apresentados os dados obtidos no período em estudos.

**Tabela 01**– Dados de Níveis de Água dos poços do CPM referentes ao ano de 2008 (Fonte: VALE).

	P-02	P-03	P-04	P-06	P-07	P-10B	P-10E	P-11	P-12	P-Tupy	P-Estação de Passageiros
Periodo	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Jan-08	36.2	32.3	19.6	27.1		25.4	27.4	34.5	31.9	43.9	
Feb-08	35.4	31.2	18.7	26.8		24.6	26.1	33.1	30.5	42.6	46.2
Mar-08	33.2	29.6	17.5	25.4	26.6	22.4	24.9	31.9	29.4	40.5	45.0
Apr-08	30.1	26.7	16.2	22.1	24.4	19.4	22.1	29.2	27.8	38.5	44.2
May-08	28.3	23.5	15.9	20.4	22.9	18.7	20.9		25.5	35.9	41.7
Jun-08	25.7	20.1	15.0	18.8	21.7	16.8	19.8		24.3	34.1	40.5
Jul-08	23.5	20.4	16.3	17.8	20.7	15.9	18.8	28.6		33.2	15.9
Aug-08	24.3	21.6	15.8	16.5	21.0	15.0	17.8	29.7	28.3	32.0	15.0
Sep-08	25.3	22.8	17.4	16.9	22.7	16.5	18.5	30.4	31.0	33.5	39.2
Oct-08	26.9	24.1	18.9	18.8	24.5	17.8	20.0	33.7	33.8	34.2	40.9
Nov-08	28.4	27.5	21.5	20.7	25.9	18.9	22.8	34.9	35.4	35.8	41.9
Dec-08	30.0	29.4	23.3	22.1	26.9	19.0	23.7	36.1	36.0	36.2	42.5

**Tabela 02** – Dados de Níveis de água referente ao ano de 2009 do CPM (Fonte: VALE).

	P-02	P-03	P-04	P-06	P-07	P-10B	P-10E	P-11	P-12	P-Tupy	P-Estação. Passageiros
Período/Nível Estático	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Jan-09	35.6	30.5	18.9	27.1	22.8	23.9	26.1	32.8	30.8	41.9	43.9
Feb-09	33.2	28.4	17.5	25.8	21.4	22.1	25.2	31.2	29.1	40.5	42.7
Mar-09	31.9	26.5	16.1	23.8	19.4	21.3	22.9	29.6	27.5	38.7	40.6
Apr-09	29.5	24.8	14.2		18.0	19.0	21.0		25.3	35.5	38.3
May-09	27.3	22.1	12.7	20.3	16.3	17.2	20.1		22.4	33.6	36.4
Jun-09	26.7	21.7	13.2		17.8	16.5	19.6		23.6	32.7	35.0
Jul-09	27.8	20.9	14.3			15.8	20.5	26.4		31.3	34.6
Aug-09	25.8	18.6	12.9			14.7	19.8	24.6	28.6	30.9	33.8
Sep-09	18.4	16.4	10.9	18.7	16.9	11.9		21.8	25.6	27.4	30.1
Oct-09		17.1		19.1	17.5	12.5		22.8	26.8	28.7	31.0
Nov-09		18.1		19.9	18.1	13.6		23.5	27.8	29.5	31.8
Dec-09		19.2		17.3	17.9	12.7		21.6	25.4	28.4	30.6



**Figura 03** – Dados de pluviometria referentes aos anos de 2008 e 2009 da Ilha de São Luis (Fonte: VALE).

De acordo com Sousa 2006, o ciclo anual das chuvas no litoral maranhense segue um padrão unimodal definido por um máximo, oscilando entre 350 e 500 mm, ocorrendo os meses mais chuvosos, entre março e abril, com acentuado declínio nos meses colaterais. A estação chuvosa, que vai de dezembro a julho, precipita mais de 90% do total da chuva anual, sendo que o trimestre mais chuvoso (março-abril-maio) corresponde a 55% desse total. A pluviometria anual, cujos valores médios variam entre 1.400 e 2.200 mm é irregular, podendo apresentar grandes desvios percentuais negativos em relação à média, chegando a valores de até 70%.

Os dados de precipitação pluviométrica mostram que nos anos de 2008 e 2009, estando esses anos entre os mais chuvosos da série histórica, a precipitação acumulada no período de janeiro a abril alcançaram valores próximos à média dos totais anuais dos últimos 26 anos (Figura 3). Ressalta-se ainda que os dados pluviométricos de 2009 foram consideravelmente maiores que os de 2008, e comparando os gráficos de precipitação total anual e variação dos níveis estáticos dos poços do empreendimento, percebe-se que a recarga está diretamente relacionada com a pluviometria. Para os poços monitorados, percebe-se que de modo geral, os poços foram recarregados sem uma expressiva variação no decorrer de cada ano, pois foi verificado que o nível estático comportou-se com pouca variação, ou seja, houve recuperação (Figura 4 e 5).

Os dados mostraram também que provavelmente o controle do bombeamento nos poços possibilitou uma recuperação do NA mesmo no período seco.

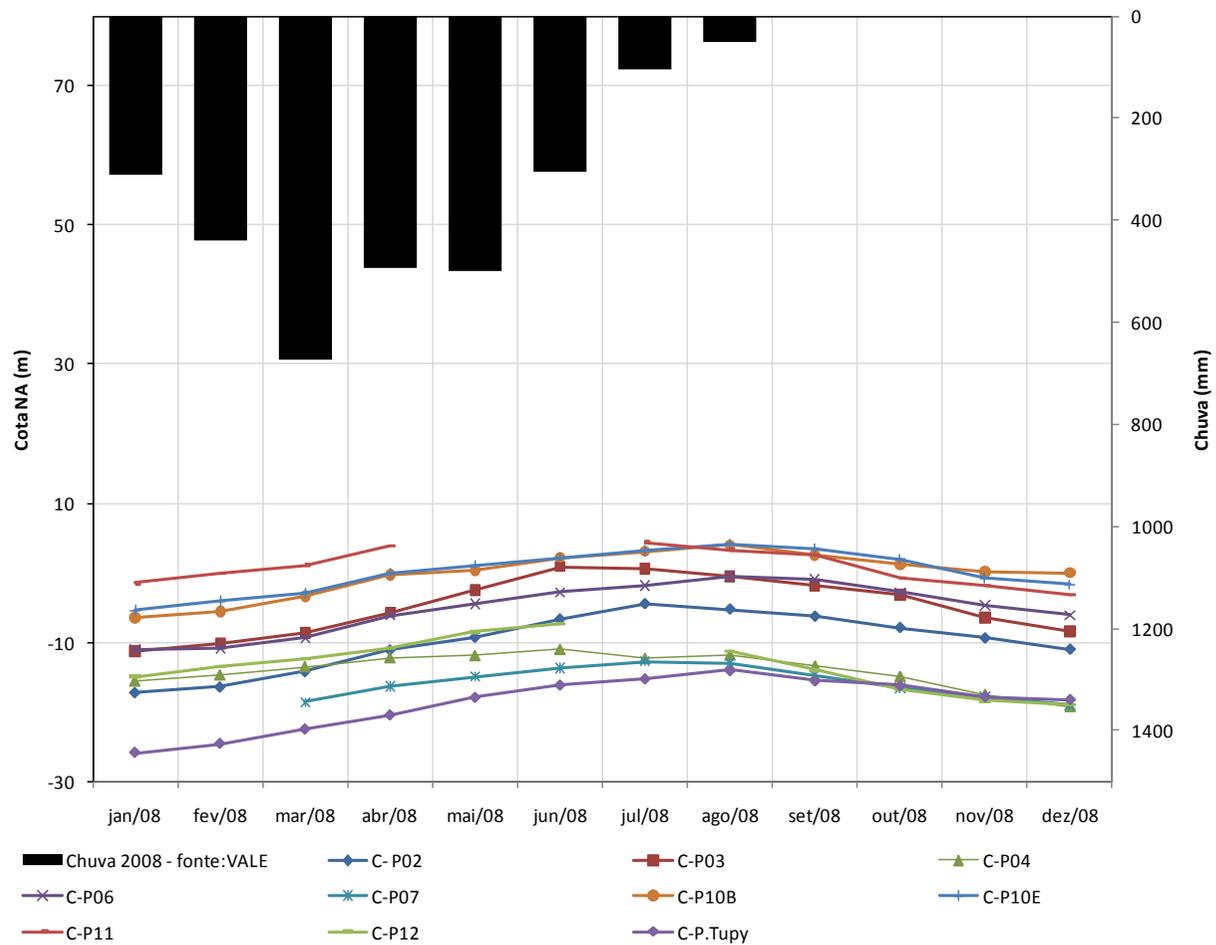
### **Monitoramento Qualitativo**

A qualidade da água é tão importante quanto o aspecto quantitativo e é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar os seus constituintes. Os padrões de qualidade da água permitem classificá-la de acordo com o tipo de uso (consumos humanos, agrícolas, industriais, entre outros). Os processos que influenciam na qualidade da água subterrânea podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero (Teixeira et al. 2004).

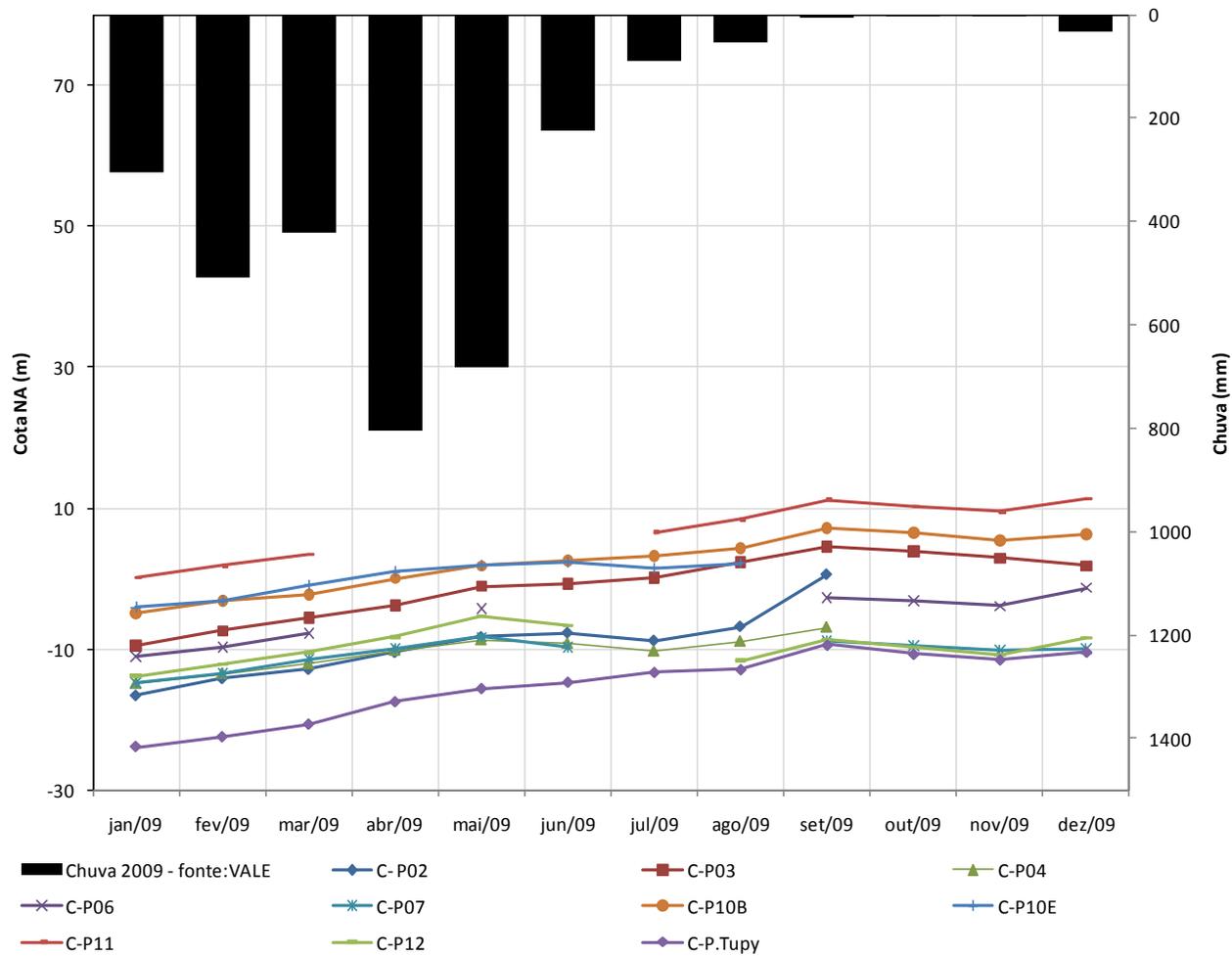
Todos os parâmetros estabelecidos pela Portaria MS N° 2914/11 ou Resolução CONAMA N° 396/2008 para poços tubulares são monitorados pelo com, porém, apenas nove destes parâmetros serão discutidos neste artigo, devido à grande quantidade de dados. Na Tabela 03 estão apresentados os resultados pH, cor aparente, turbidez, cloreto total, ferro total, sódio, potássio e sólidos totais dissolvidos.

A interpretação dos dados, das amostras coletadas dos 11 poços na área do *site*, correspondente a janeiro de 2009 e novembro de 2010, resultaram nas seguintes considerações:

As águas apresentaram pH médio de 7,4, máximo de 8,5 e mínimo de 5,8. Dessa forma,



**Figura 04** – Variação da cota dos níveis estáticos nos poços do CPM durante o ano de 2008 comparando com os valores pluviométricos do mesmo período (Fonte dos dados: VALE).



**Figura 05** – Variação das cotas dos níveis estáticos nos poços do CPM durante o ano de 2009 comparando com o monitoramento da pluviometria durante o mesmo período (Fonte dos dados: VALE).

conclui-se que as águas dos poços do CPM possuem em geral tendência de água com características neutras com pH variando entorno de 7,0.

Os valores de cor variaram entre 0 e 55 uH, com média de 8 uH. Em relação ao parâmetro físico-químico cor, 18 % das amostras apresentaram média superior a 15 uH, Valor Máximo Permitido-VMP de acordo com a Portaria MS N° 2914/2011.

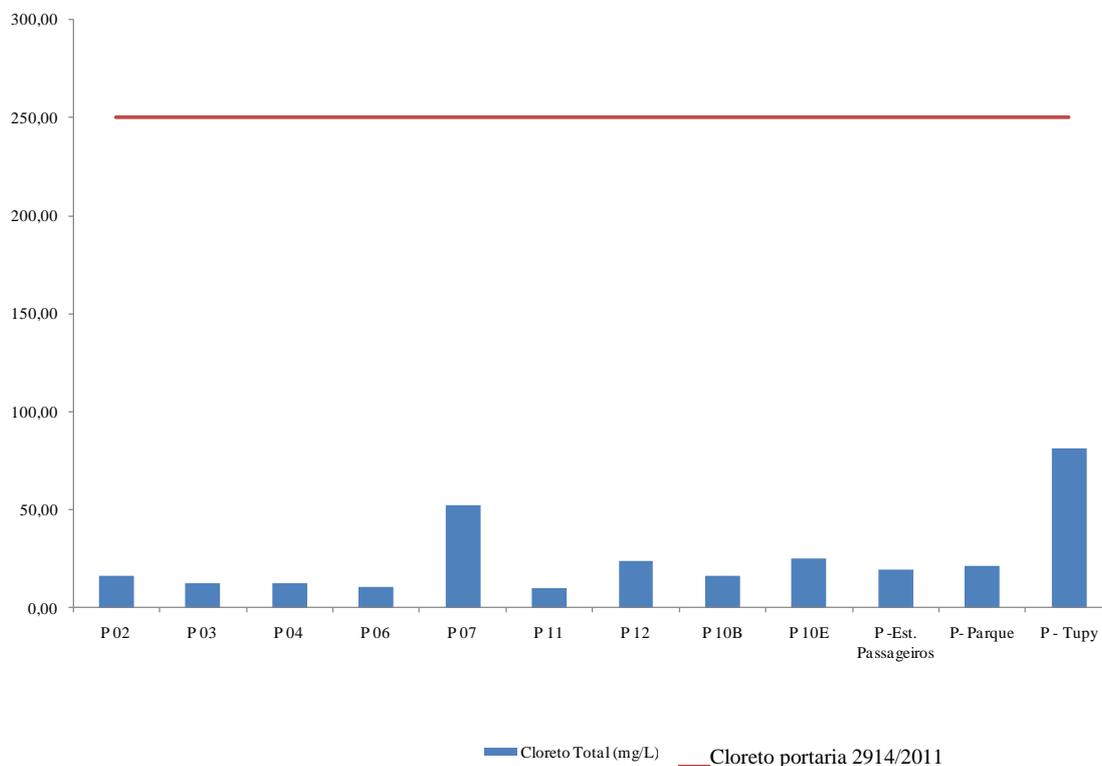
A turbidez da água nas amostras coletadas dos poços variou de 0 e 74 uT (P -11), com média de 6 uT. Do total de poços estudados, 54% apresentaram médias variando entre 0 e 5 uT, 27% com médias variando entre 5 e 10 uT e apenas 18% com superiores a 10 uT.

O cloreto, por sua vez, apresentou valor médio de 27,8 mg.L, máximo de 176 mg.L (P-Tupy) e mínimo de 5,0 mg.L (P-12) como poder ser observado na Figura 06. Pelos dados do monitoramento, observa-se que todos os poços tubulares do CPM apresentaram concentrações de cloreto dentro do limite máximo recomendado pela Resolução CONAMA N° 396/2008. As maiores incidências dos percentis elevados de cloreto em poços tubulares, em regiões costeiras, podem sugerir uma tendência a salinização do aquífero em decorrência da intrusão de águas salgadas, especialmente em período de estiagem (Nobre & Nobre, 2000), porém os dados indicam que não há variações bruscas nos itens analisados na área do CPM e o avanço da intrusão salina encontra-se estabilizado.

As Resoluções CONAMA N° 357/2005 e a N° 430/2011 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Essas legislações estabelecem três categorias para águas de acordo com o nível de salinidade, quais sejam doces, águas salobras e águas salinas. As águas doces são aquelas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰ (STD ≤ 500 mg.L); as águas salobras são aquelas com salinidade variando entre 0,5‰ e 30‰ (500 mg.L < STD ≤ 30.000 mg.L); e, as águas salinas são aquelas com salinidade igual ou superior a 30‰ (STD ≥ 30.000 mg.L).

**Tabela 03** – Parâmetros físicos químicos e químicos dos poços tubulares da área do CPM. (Fonte: VALE).

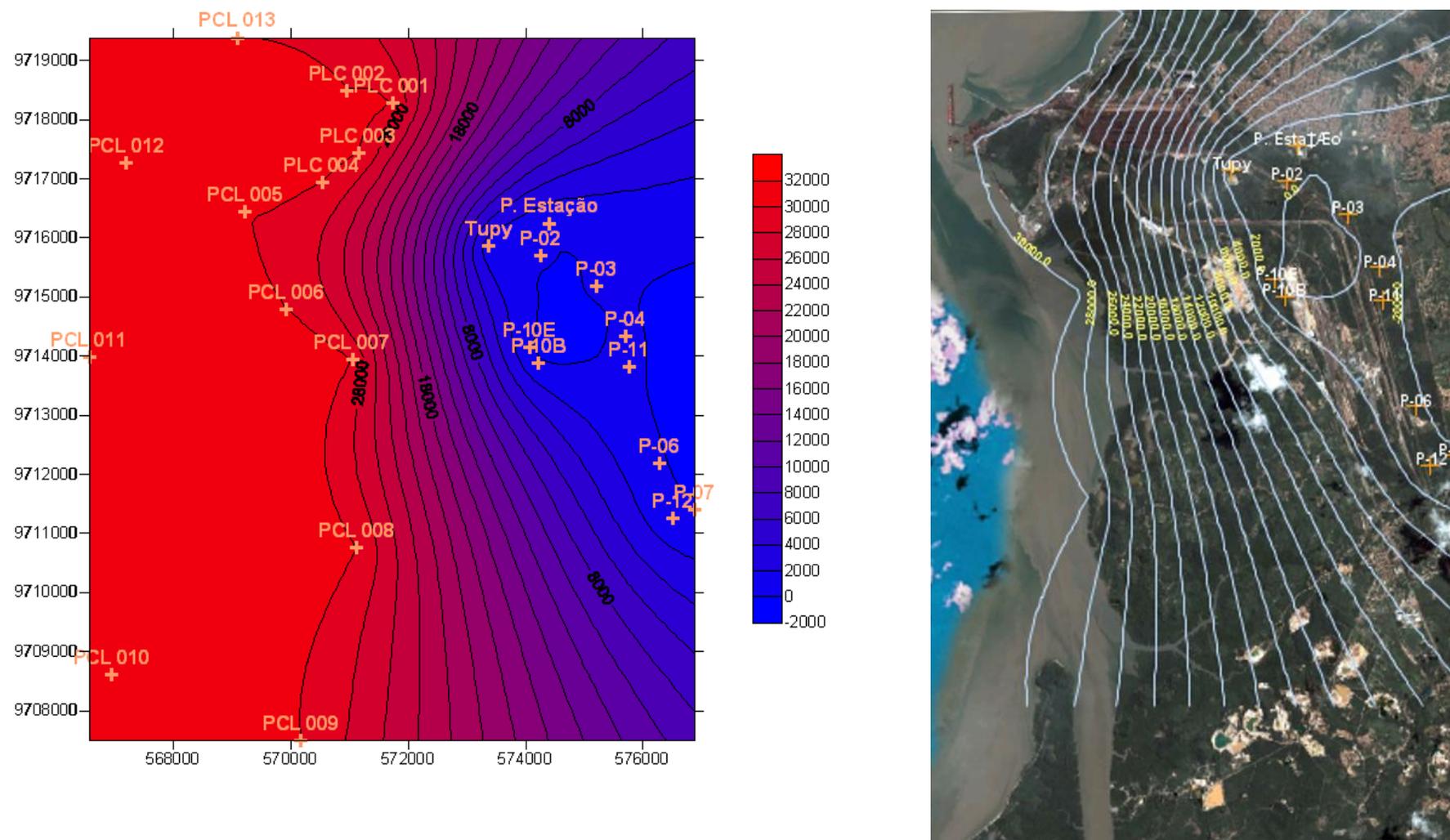
Poços -CPM	Parâmetros	pH	Cor (uH)	Turbidez (uT)	Cloreto Total (mg/L)	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Ferro Total(mg/L)
	Estatísticos									
P 02	Mín	6,5	0	0	5,0	208,0	18,1	6,4	32,0	0,2
	Méd	7,5	3	1	16,4	297,9	34,5	6,9	33,2	0,3
	Máx	8,2	5	2	42,5	460,0	42,9	7,3	35,0	0,6
P 03	Mín	5,8	0	1	5,0	193,0	12,0	5,5	33,0	0,2
	Méd	7,4	4	1	12,4	258,4	27,2	6,1	36,3	0,3
	Máx	8,3	10	1	35,5	303,0	34,1	6,4	41,0	0,3
P 04	Mín	6,3	0	1	5,0	186,0	11,8	6,0	33,0	0,2
	Méd	7,1	6	3	12,4	230,8	19,6	7,0	34,3	0,3
	Máx	7,3	10	7	35,5	268,0	29,8	8,0	35,0	0,6
P 06	Mín	7,1	0	0	5,0	130,0	23,0	4,0	18,0	0,0
	Méd	7,7	5	3	10,5	215,3	46,2	5,5	18,8	0,2
	Máx	8,5	15	11	15,5	268,0	76,1	6,0	20,0	0,6
P 07	Mín	7,8	0	0	47,7	182,0	63,1	7,0	19,0	0,1
	Méd	8,0	3	1	52,2	263,7	74,6	7,8	19,8	0,1
	Máx	8,3	5	1	56,7	313,0	101,0	8,0	20,0	0,1
P 11	Mín	6,8	5	1	5,0	195,0	19,2	6,0	34,0	0,3
	Méd	7,2	22	26	9,8	247,3	25,0	6,0	35,0	5,3
	Máx	7,8	55	74	14,2	316,0	34,2	6,0	36,0	19,8
P 12	Mín	5,8	0	0	5,0	130,0	11,8	4,0	18,0	0,0
	Méd	7,5	8	6	23,8	250,9	41,0	6,5	28,7	0,3
	Máx	8,5	30	29	56,7	460,0	101,0	8,0	41,0	0,6
P 10B	Mín	6,5	0	0	9,9	3,70	6,2	6,0	17,0	0,1
	Méd	7,5	16	7	16,2	158,7	83,9	10,3	27,0	1,2
	Máx	8,2	30	11	34,0	211,0	197,0	15,0	46,0	2,2
P 10E	Mín	6,7	0	0	8,5	3,70	3,6	3,0	8,0	0,0
	Méd	7,6	0	1	25,1	175,0	37,9	3,7	11,7	0,2
	Máx	8,1	0	4	36,9	300,0	69,4	5,0	16,0	0,7
P -Est. Passageiros	Mín	6,3	0	0	12,8	188,0	11,9	2,1	23,3	0,1
	Méd	7,2	4	1	19,2	242,4	17,3	5,1	26,7	0,2
	Máx	8,0	10	4	36,9	299,0	26,2	6,9	29,4	0,3
P- Parque	Mín	7,3	5	8	14,2	382,0				0,8
	Méd	7,4	8	9	21,2	383,5				0,9
	Máx	7,4	10	10	32,6	385,0				1,1
P - Tupy	Mín	7,0	0	0	5,0	357,0	9,5	4,0	18,0	0,0
	Méd	7,5	2	1	81,5	473,7	13,9	7,0	40,0	0,1
	Máx	8,2	5	1	176,0	642,0	16,4	11,0	53,0	0,2



**Figura 06** – Concentração média de cloreto em amostras de águas de poços tubulares localizados na área do Complexo Ponta da Madeira, monitorados trimestralmente.

A portaria 2914/2011, que determina os padrões de portabilidade da água destinada ao consumo humano, estabelece um valor máximo de 1000mg.L de sólidos totais dissolvidos nas águas doces. Por isso, conforme a referida norma, as águas com concentração de STD inferior a 1000mg.L podem ser consumidas com restrições. De acordo com, Freeze & Cherry (1979) admitem que as águas com teores de STD entre 1000 e 2000 mg.L só podem ser consumidas com algumas restrições, caso não passarem por tratamento prévio.

De acordo com as premissas acima descritas e com a análise dos dados obtidos, observou-se que os valores de sólidos totais dissolvidos das águas variaram para o período analisado, variaram entre 3,7 mg.L a 642 mg.L, com média de 266,1 mg.L, classificando estas águas como doce, considerando-se a variação na qualidade físico-química. As concentrações deste elemento pode ser monitorado através de um mapa de iso-concentrações como poder ser observado na Figura 07, em que foram demarcados



**Figura 07** - Concentração média de sólidos dissolvidos totais em amostras de água de poços tubulares localizados no Complexo Ponta da Madeira

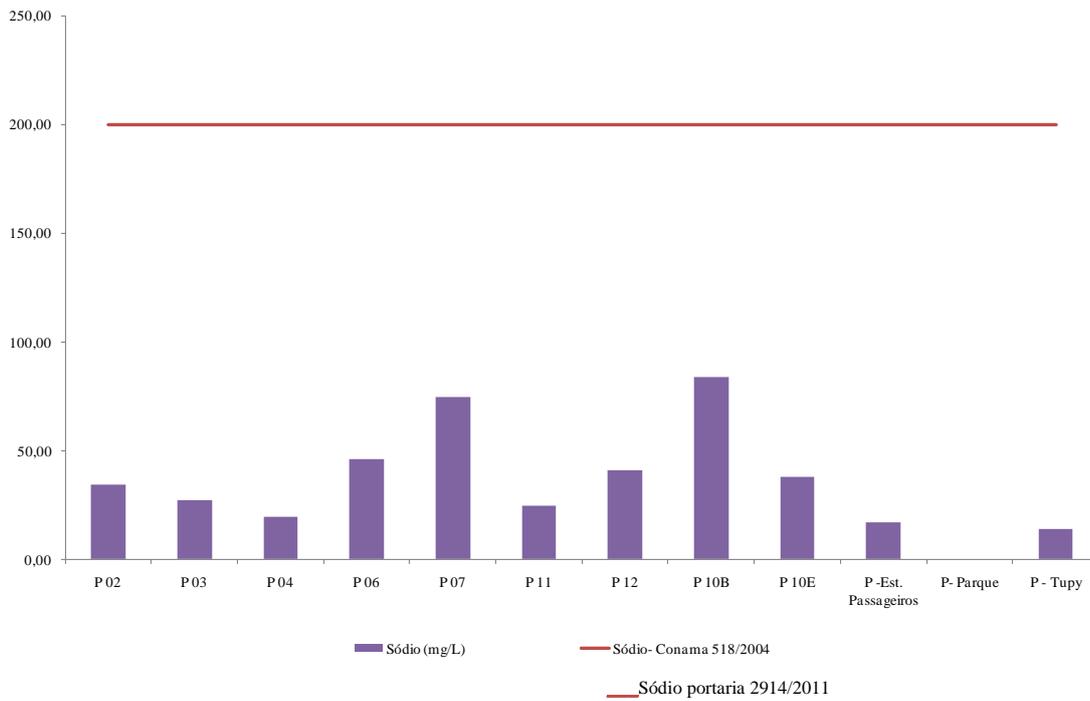
pontos localizados na linha de costa com nomenclatura iniciando com a sigla PCL e PLC juntamente com os poços do CPM, com base neste mapa observou-se que as concentrações dos poços quase sempre acima de 100 mg.L indicando uma tendência a salinização gradual e natural do sistema aquífero local em função da circulação lenta das águas subterrâneas, conforme informações do sistema de gerenciamento.

Com relação ao sódio a concentração nas águas variou de 3,6 a 197 mg.L, com valor médio de 40,6 mg.L (Tabela 03, Figura 08). No Brasil, o CONAMA 2914/11/2004 estabelece o máximo de 200 mg.L sendo que o diagrama e os dados apresentados indicam que as amostras dos poços tubulares estão dentro do padrão de potabilidade previsto pela portaria. É importante o monitoramento do sódio em aquíferos costeiros, pois este tem a possibilidade de apresentar maior concentração deste elemento devido à facilidade da entrada e saída de aerotransportados ou da cunha salina, devido à proximidade do mar (Marques et al., 2010).

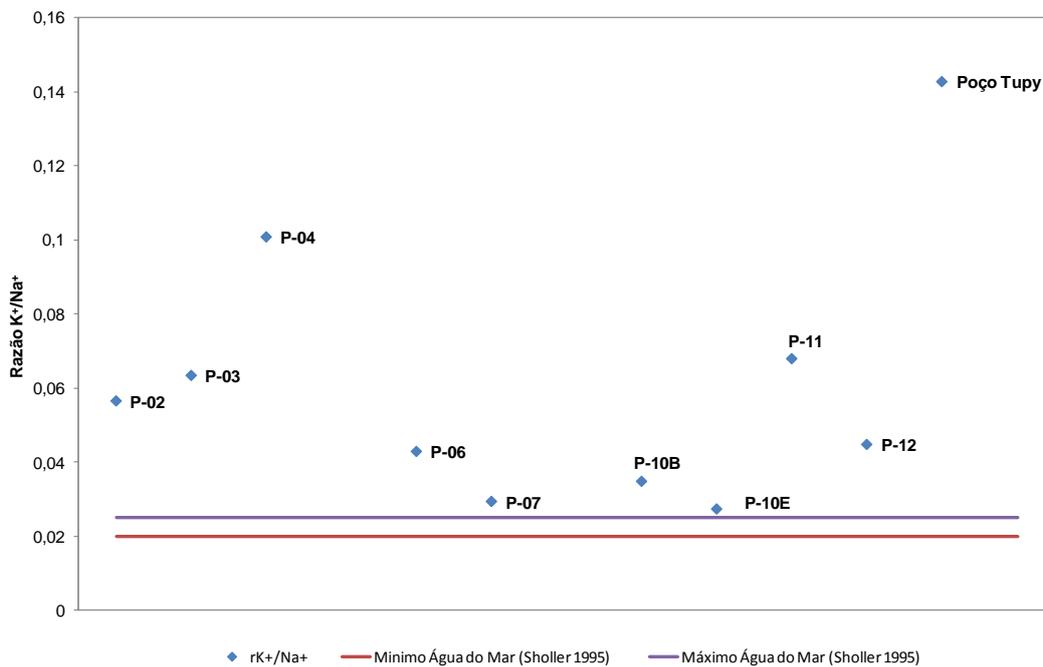
Para o parâmetro potássio, os valores foram: máximo de 15 mg.L, mínimo de 2,1 mg.L e média de 6,5 mg.L. As razões iônicas  $rCl/rHCO^{3-}$ ,  $rSO^{4-}/rCl^{-}$ ,  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  e  $rK^{+}/rNa^{+}$  podem indicar a relação entre águas doces e salgadas. De acordo com Shoeller (1995), nas águas doces a razão potássio e sódio podem variar entre 0,001 e 1, sendo mais freqüente entre 0,004 e 0,3. Já para água do mar esta razão fica no intervalo entre 0,02 e 0,025. No geral, esta razão tende a diminuir conforme aumenta a salinidade. Devida à fixação preferencial do  $K^{+}$  no terreno, esta razão será tanto menor quanto mais concentrada em sais for à água. Os dados de monitoramento mostraram que até julho de 2010 nos 11 poços aqui analisados, essa razão variou entre 0,027(P-10E) e 0,14 (P-Tupy) (Figura 9), por este indicativo, apesar do poço P-10E apresentar valores mais próximos do intervalo de água salgada estipulados por Sholler 1995, considera-se que os valores da razão  $rK^{+}/rNa^{+}$  está dentro do esperado para águas doces.

Os teores de cálcio apresentaram valores máximo de 53 mg.L, mínimo de 8 e médio de 28,4 mg.L, esses valores são considerados normais para águas subterrâneas.

Pelo resultado do monitoramento para o parâmetro de ferro total, cerca de 81 % apresentaram média inferior ou igual a 0,3 mg.L, VMP portaria 2914/2011. Alguns poços (P 11, P10B e P-Parque) analisados neste artigo apresentaram concentração de ferro quase sempre acima de 0,3 mg.L, acredita-se que isto se deve, predominantemente, ao contexto geológico local, cuja literatura narra a presença de rochas com altos teores de ferro na forma de hidróxidos minerais (VALE 2009). No entanto, não se pode descartar o fato de que na área ocorre constantemente o transporte de minério de ferro, portanto, este seria um fator subordinado para explicar os elevados teores de ferro das águas subterrâneas.



**Figura 08** – Concentração média de sódio em amostras de águas de poços tubulares localizados no Complexo Ponta da Madeira.



**Figura 09** – Diagrama mostrando as médias das razões  $K^+/Na^+$  dos poços do CPM para o período de 2009 a 2010.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados do monitoramento quantitativo dos poços de bombeamento nos anos de 2008 a 2009 sugerem que, de um modo geral, a variação dos níveis estáticos está diretamente relacionado à precipitação. Porém, é necessária a continuação deste monitoramento para que possa diagnosticar com mais exatidão, se as variações na superfície freática dos aquíferos podem ser decorrentes de causa natural (relação carga-descarga) ou artificial (exploração).

Os resultados físico-químicos legitimam o CONAMA 2914/2011 que recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

De acordo com os dados mostrados pelo monitoramento qualitativo, os poços P-07 e P-Tupy apresentam os maiores valores de cloreto total, o mapa de iso-concentração de STD confirma tal proposição apenas o P-Tupy e para os P-10B e P-10E, mostrando que estes estão mais próximos da região de água salgada. Estes mesmos poços, juntamente com o P-7 apresentam valores moderados a altos de sódio quando comparados com o conjunto analisado. O diagrama  $K^+/Na^+$  as amostras de águas dos 11 poços tubulares do Complexo Ponta da Madeira, estão dentro do intervalo de águas doce, estabelecido por Shoeller (1955), sendo que os poços P-07, P-10B e P-10E, devem ser continuamente monitorados, pois apresentam teores desta razão bem próximos a zona de água salina.

Os resultados obtidos do diagnóstico qualitativo, no intervalo de tempo monitorado, permitem concluir que atualmente os poços do empreendimento apresentam uma água que pode ser adequada ao consumo humano com simples tratamento, e os parâmetros aqui analisados, como cloreto, sólidos dissolvidos totais, sódio e ferro total, estão em acordo com o estipulado pelo CONAMA 2914/2011.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CPRM. (1994). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Luís-Cururupu – folhas SA.23-ZA e SA.23.23-X-C. Estado do Maranhão. Brasília.

SEMA – MA. Dados de monitoramento de recursos hídricos referente ao período de 2008 e 2009.

MARQUES, F.C., CAVALCANTE, P.R.S. & RICARDO, B. (2010). Qualidade das águas subterrâneas da área urbana no município de Santa Helena (MA), Brasil. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços.

NOBRE, M.M.M. e NOBRE, R.C.M., (2000). Uso sustentável de águas subterrâneas na Região Metropolitana de Maceió. In: Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, 1., e Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 11., Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH. CD. ROM.

PORTARIA 2914/11. Padrão de portabilidade da água para consumo humano. Ministério da saúde. Substituir pela Portaria MS N° 2914/11

RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento. Ministérios do Meio Ambiente, Brasília.

RESOLUÇÃO CONAMA N° 396/08. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências

RESOLUÇÃO CONAMA N° 430/11. 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.

SCHÖELLER, H. (1995). Essai sur la qualité chimique de l'eau destinée à l'alimentation de l'homme dans le pays arides. Paris: Terres et Eaux, 24: 4-11.

SIMONETI, M.F. (1999). Projeto de redes para monitoramento da qualidade da água um estudo de caso – Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá. São Paulo. 221p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SOUSA, S. B. (1997). Recursos Hídricos da Ilha do Maranhão. (Dissertação de Mestrado - UFPR).

SOUSA, S. B. (2004) “*Regime hídrico da região dos Lençóis Maranhenses (Maranhão – Brasil)*”. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luís-MA: SRH-MMA.

SOUSA, S. B. (2006) “Regime Hídrico do Litoral Maranhense”. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Gravatá-PE: SRH-MMA,

TEIXEIRA, A.Z; JÚNIOR, Q.N; OLIVEIRA, D.N.G; SUCUPIRA, P.A. P & FILHO, O. L. R. (2004). Monitoramento dos níveis estáticos de poços do perímetro irrigado de morada nova – Ceará, Brasil. In: *XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*.

UNEP/WHO. (1996). Water Quality Monitoring – A practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. Edited by Jamie Bartram and Richard Balance. United Nation Environment Programme and the World Health Organization.

VALE 2009 - Programa de Monitoramento Hídrico Quali-Quantitativo para Acompanhamento do Nível da Água Subterrânea e Verificação da Intrusão Salina no Sistema Aquífero da Área do Complexo Ponta da Madeira, Município de São Luís/MA.