

DESEMPENHO DO TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA DE CAMPOS DE PETRÓLEO

Deiseane Silva¹

Carlos Enrique de M. Jerônimo²

RESUMO

As operações de perfuração de poços de petróleo produzem quantidades substanciais de água produzidas, associada ao petróleo. Este artigo visa avaliar o desempenho do sistema de tratamento para eliminação dos poluentes presentes na água produzida num sistema instalado em campos de petróleo do estado do Ceará. O trabalho consistiu na obtenção de dados físico-químicos da qualidade do material de entrada e de saída do sistema de tratamento. O auto monitoramento realizado nos resíduos, efluentes industriais e emissões atmosféricas estão dentro das legislações aplicáveis, não tendo sido observadas anomalias significativas nos meses de janeiro a junho de 2015.

Palavras-chave: Efluentes. Água produzida. Tratamento.

¹Graduada em Gestão Ambiental pelo IFRN – deiseane.silva@hotmail.com

²Orientador. Doutor em Engenharia Química. Professor da Universidade Potiguar – c_enrique@hotmail.com

WATER TREATMENT PERFORMANCE PRODUCED OIL FIELDS

ABSTRACT

The oil well drilling operations produce substantial amounts of produced water associated with oil. This article aims to evaluate the performance of the treatment system for removing pollutants present in water produced a system installed in oil fields in the state of Ceará. The study consisted in obtaining physico-chemical data of the quality of the material inlet and outlet of the treatment system. The self-monitoring carried out in waste, industrial effluents and air emissions are within the applicable legislation, and no significant abnormalities were observed in the months from January to June 2015.

Keywords: Effluents. Produced water. Treatment.

1 INTRODUÇÃO

Proveniente de fonte natural, o petróleo para ser explorado requer investimentos financeiros e estudos complexos. Os hidrocarbonetos representam a principal fonte de energia na atualidade, sendo utilizado como matéria prima para a confecção de diversos produtos, como diesel, gasolina, polímeros plásticos, entre outros (RIBEIRO NETO, 2007).

Segundo Paulino (2007) a produção de petróleo suficiente para atender a demanda interna de um país em desenvolvimento é importante, pois evita a necessidade de importação, que em geral impõe alto custo, garantindo a soberania do país e uma interdependência quanto a outros pólos produtores. Desse modo é importante levar em consideração não somente explorar e encontrar mais reservatórios de petróleo, mas é também necessário explorar os poços descobertos anteriormente, porém que não foram desenvolvidos pelo fato de não haver tecnologia para torná-los viáveis economicamente.

Alguma atividade de exploração no Brasil tem ocasionado descobertas de elevados volumes de óleo pesado, com alta viscosidade e densidade, essas descobertas não podem ser consideradas reservas pelo elevado custo e pela complexidade de técnicas para extrair esse óleo. Os produtos provenientes do óleo pesado são de baixo valor agregado, por esse motivo muitas vezes a reserva não é considerada comercialmente viável fazendo-se necessários investimentos cada vez mais elevados em novas tecnologias para a evolução da produção desse tipo de reservatório (QUEIROZ, 2006).

Os reservatórios de petróleo após a exaustão de sua energia natural, ou seja, energia natural do reservatório necessária para que o petróleo chegue à superfície, e cujos mecanismos de extração utilizados tornam-se ineficientes e que por esses motivos retêm grandes volumes de hidrocarbonetos, são fortes candidatos à aplicação de processos com o intuito de obter uma recuperação adicional. Esses processos denominados de Métodos de Recuperação atuam tentando agir nas características do reservatório que provocam a retenção do petróleo (THOMAS et al, 2001).

Os métodos de recuperação propõem a injeção de fluidos com o objetivo de deslocar o petróleo para fora dos interstícios da rocha. Desse modo o fluido injetado no reservatório deve mover (empurrando) o óleo para fora da rocha e o fluido que foi injetado deve ocupar o espaço deixado pelo óleo (ALBUQUERQUE, 2007).

Quando um fluido é injetado no reservatório com apenas o intuito de deslocar o óleo, ou seja, através de um comportamento puramente mecânico, sem interação de natureza química ou termodinâmica entre o fluido injetado e o óleo, ou até mesmo entre o fluido e a rocha. Este comportamento é o que se espera obter ao se injetar água ou mesmo a injeção de gás através de um processo não miscível (DE SOUSA, 2002).

Reservatórios de petróleo e gás possuem água de formação, ou seja, uma quantidade de água natural do reservatório. Para auxiliar na recuperação máxima de óleo, volumes adicionais de água são injetados como fluido deslocante. Durante a produção de petróleo chega à superfície volume de óleo e também volumes de água, esta água produzida deve ser tratada para remoção do óleo para descarte no mar ou utilizada como fluido de injeção voltando para o poço (MELO et al, 0000). O tratamento a água produzida para injeção é necessário porque a água tem as suas características alteradas ao chegar à superfície (BADER, 2007).

De acordo com Preda et al (2008), reinjetar água de produção tornou-se um método satisfatório para o efeito de gerenciamento de água pelas empresas de petróleo. Através desse processo essas companhias apresentaram ganhos ambientais significativos, acarretando consequências positivas na imagem das empresas diante da sociedade.

Para o caso de reservatórios com óleo de alta viscosidade existe uma maior dificuldade do seu deslocamento no meio poroso (rocha reservatório), enquanto que os fluidos injetados, água ou gás, por serem menos viscosos se deslocam com mais facilidade acarretando em uma baixa recuperação. Partindo desse ponto de vista pode-se pensar em aquecer o óleo dentro do

reservatório com o intuito de diminuir sua viscosidade, ou seja, utilizando métodos térmicos de recuperação avançada (THOMAS et al, 2001).

O tipo e processo a ser adotado para o tratamento da água produzida depende dos compostos que se deseja remover. Os compostos a serem removidos, por sua vez dependem do destino final a ser adotado para a água produzida tratada que, conforme citado anteriormente, pode ser descarte, injeção ou reúso. Outros processos usados são hidrociclones (SAIDI et al., 2012), coalescedores de leite (SOKOLOVIC; SEVIC, 2009) e separadores gravitacionais (STEWART & ARNOLD, 2011). Entretanto, esses processos apresentam desvantagens, como o elevado tempo e residência requerido, a utilização de produtos químicos especiais e caros, a geração de resíduos sólidos e baixas eficiências, principalmente no caso de gotas com diâmetros na faixa de micrômetros ou submicrômetros (HONG; FANE; BURFORD, 2002, 2003). O problema se agrava ainda mais quando estão presentes agentes tensoativos, muito comum em emulsões óleo/água da água produzida. Esses compostos fixam-se às superfícies das gotículas de óleo, aumentando as forças de repulsão entre elas (HONG, FANE; BURFORD, 2003). O quadro 1 apresenta os principais processos de tratamento de água produzida, para remoção de óleo, com algumas características comparativas entre eles.

Quadro 1 - Comparação entre processos de tratamento da água produzida para remoção de óleo.

	Membranas	Hidrociclones	Flotadores	Coalescedores de leite	Separadores gravitacionais convencionais	Separadores gravitacionais de placas
<i>Princípio operacional</i>	Filtração	Separação gravitacional aprimorada	Flotação à gás natural	Coalescência + separação gravitacional	Separação gravitacional	Coalescência + separação gravitacional
<i>Capacidade de remoção, em diâmetro de gota (µm)</i>	1	10 a 30	10 a 20	10 a 15	100 a 150	30 a 50
<i>Requerimento de área superficial</i>	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Elevado	Elevado
<i>Requerimento por produtos químicos</i>	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
<i>Aplicação em instalações e tratamento da AP</i>	Onshore e offshore	Offshore	Onshore e offshore	Onshore e offshore	Onshore	Onshore
<i>Principais</i>	Fouling e	Bloqueio da	Pouco	Bloqueio dos	Tamanho e	Tamanho e peso

<i>desvantagens</i>	necessidade por limpeza química	porta de rejeito por areia ou incrustação e erosão por areia	efeito em gotas entre 2 e 5 µm; uso de químicos e geração de lodo	poros e necessidade por retrolavagem	peso muito elevados; baixa eficiência para diâmetro de gotas menores	elevados
---------------------	---------------------------------	--	---	--------------------------------------	--	----------

Fonte: modificado de Stewart e Arnold (2011).

Neste trabalho foi realizada uma avaliação do desempenho do tratamento da água produzida de um campo de petróleo do estado do Ceará aonde os processos utilizados foram separadores gravitacionais e flotadores a ar.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para fins de monitoramento, foram coletadas amostras diárias e semanais de água produzida no sistema de tratamento de um campo de Petróleo no estado do Ceará, monitorando parâmetros como pH, sólidos sedimentáveis, DQO, Temperatura e teor de óleos e graxas dos efluentes, conforme CONAMA 357/2011. Adicionalmente, os parâmetros da resolução CONAMA 430/2011 foram analisados em uma coleta mensal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O tratamento de água produzida da concessão ocorre na Estação de Tratamento de Água Produzida (ETAP), que é composta por um sistema de separação gravitacional e um flotador com ar dissolvido.

Na ETAP o processo se inicia com a chegada do fluxo de água oleosa, que é encaminhado para um tanque pulmão a fim de estabilizar o fluxo de efluente. Logo após, o mesmo segue para o separador água-óleo (SAO), onde é promovida uma separação primária por decantação, baseada na diferença de densidade entre os fluidos.

Do SAO, parte da água é para o sistema de injeção de água (SIA) dos Campos. A outra parcela de água é enviada ao flotador e filtros de areia.

O flotador opera segundo o princípio de flotação natural, nele é

adicionado hidróxido de sódio, para remoção de parte da dureza do fluido por precipitação, a qual é facilmente removida após passar por um conjunto de filtros (de areia e cartucho). Por fim, a água que sai dos filtros é bombeada para a ETA, para a continuidade do tratamento.

Na ETA, a água é submetida a um processo de tratamento para remoção da dureza residual, a fim de especificá-la para alimentação dos geradores de vapor do campo.

As tabelas a seguir apresentam as principais características dos equipamentos que compõem o Sistema de Tratamento de Água Oleosa da concessão, descrito acima.

Estação de Tratamento de Água Produzida

Equipamento	Quantidade	Capacidade
SAO	01	14.500 m³/dia
Filtros de areia	03	2.400 m³/dia
Filtros cartucho	02	2.400 m³/dia

Estação de Tratamento de Água

Equipamento	Quantidade	Capacidade
UTA	04	1.600 m³/dia
Bombas da UTA	02	100 m³/dia

Baseado em boletins de análises diárias, semanais e mensais, alguns parâmetros dos Efluentes de entrada e saída dos da Fazenda Belém puderam ser verificados para o primeiro semestre de 2015.

Nas tabelas abaixo contém os resultados dos 36 parâmetros da análise mensal (meses de fevereiro e março de 2015) referente aos efluentes de Entrada e de saída, lado a lado.

Figura 1 - Tabulação/Ilustração de Dados

ENTRADA				SAÍDA			
	UNIDADE	FEVEREIRO	MARÇO		UNIDADE	FEVEREIRO	MARÇO
Temperatura na coleta	°C	36	39	Temperatura na coleta	°C	45	45
DBO5	mg/L	3,40	16,85	DBO5	mg/L	2,00	17,06
DQO	mg/L	130	100	DQO	mg/L	-	96
Dicloreto (1,1+1,2cis+1,2trans)	mg/L	0,0003	0,0003	Dicloreto (1,1+1,2cis+1,2trans)	mg/L	0,0003	0,0003
Tricloreto	mg/L	0,0003	0,0003	Tricloreto	mg/L	0,0003	0,0003
Benzeno	mg/L	0,0003	0,0003	Benzeno	mg/L	0,0003	0,0003
Tolueno	mg/L	0,0003	0,0003	Tolueno	mg/L	0,0003	0,0003
Etil-benzeno	mg/L	0,0003	0,0003	Etil-benzeno	mg/L	0,0003	0,0003
Clorofórmio	mg/L	0,0003	0,0003	Clorofórmio	mg/L	0,0003	0,0003
Tetracloro de Carbono	mg/L	0,0003	0,0003	Tetracloro de Carbono	mg/L	0,0003	0,0003
Estireno	mg/L	0,0003	0,0003	Estireno	mg/L	0,0003	0,0003
Cromo Hexavante	mg/L	0,0179	0,0179	Cromo Hexavante	mg/L	0,0179	0,0179
Cromo trivalente	mg/L	0,0013	0,0005	Cromo trivalente	mg/L	0,0013	0,0005
Prata	mg/L	0,0016	0,0014	Prata	mg/L	0,0016	0,0014
Estanho	mg/L	0,0046	0,0034	Estanho	mg/L	0,0046	0,0034
Selênio	mg/L	0,0172	0,0087	Selênio	mg/L	0,0172	0,0087
Arsênio	mg/L	0,0101	0,0117	Arsênio	mg/L	0,0101	0,0117
Fluoreto	mg/L	1,156	0,868	Fluoreto	mg/L	1,129	1,037
Bário	mg/L	3,270	0,500	Bário	mg/L	3,440	0,500
Xilenos	mg/L	0,0003	0,0003	Xilenos	mg/L	0,0003	0,0003
Manganés Solúvel	mg/L	0,118	0,106	Manganés Solúvel	mg/L	0,103	0,114
Cianeto Total	mg/L	0,0025	0,0025	Cianeto Total	mg/L	0,0025	0,0025
Cianeto Livre	mg/L	0,0025	0,0025	Cianeto Livre	mg/L	0,0025	0,0025
Ferro Solúvel	mg/L	0,40	0,43	Ferro Solúvel	mg/L	0,42	0,38
Nitrogênio Amonical	mg/L	0,66	0,38	Nitrogênio Amonical	mg/L	0,58	0,34
Fenol	mg/L	0,024	0,017	Fenol	mg/L	0,029	0,021
Boro	mg/L	0,48	0,20	Boro	mg/L	0,00	0,20
Sulfeto	mg/L	0,02500	0,01100	Sulfeto	mg/L	0,02200	0,00700
Zinco Total	mg/L	0,058	0,052	Zinco Total	mg/L	0,002	0,0005
Cobre dissolvido	mg/L	0,0027	0,0013	Cobre dissolvido	mg/L	0,0027	0,0013
Cádmio Total	mg/L	0,0007	0,0001	Cádmio Total	mg/L	0,0007	0,0001
Chumbo Total	mg/L	0,0051	0,0216	Chumbo Total	mg/L	0,0051	0,0216
Mercúrio Total	mg/L	0,0001	0,0002	Mercúrio Total	mg/L	0,0001	0,0002
Níquel Total	mg/L	0,0017	0,0013	Níquel Total	mg/L	0,0017	0,0013
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,02658	0,01170	Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,02339	0,00744
Sólidos Suspensos	mg/L	26,92	31,10	Sólidos Suspensos	mg/L	19,23	26,63

Fonte: AUTOR (2015).

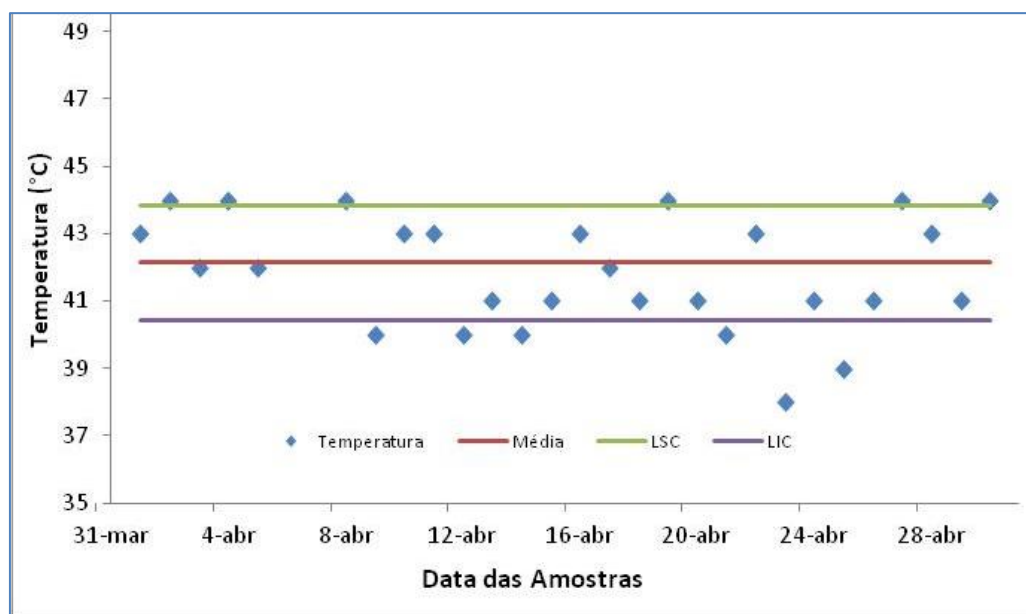
Na Figura abaixo, estão registradas os valores de Temperatura na coleta, DQO e Sólidos Suspensos referentes a uma semana de Março, duas de Abril, cinco de Maio e quatro de Junho para o efluente de entrada e saída da ETAP.

Figura 2 - Tabulação/Ilustração de Dados

		ENTRADA			SAÍDA		
		Temperatura na coleta	DQO	Sólidos Suspensos	Temperatura na coleta	DQO	Sólidos Suspensos
UNIDADE		°C	mg/L	mg/L	°C	mg/L	mg/L
MARÇO	26/mar	38	100,0	22,73	45	88,0	18,42
	15/abr	41	94,0	28,85	42	74,0	18,88
ABRIL	22/abr	39	92,0	17,30	44	68,0	9,63
	03/mai	44	108,0	30,93	46	40,0	14,49
MAIO	06/mai	40	75,0	39,85	49	35,0	18,15
	13/mai	38	92,0	-	41	80,0	-
	20/mai	38	140,0	-	42	136,0	-
	27/mai	41,5	48,0	-	43	68,0	-
	03/jun	42	175,0	17,2	46	120,0	21,92
JUNHO	11/jun	38	72,0	-	40	24,0	-
	16/jun	43	55,0	-	47	75,0	-
	23/jun	38	78,0	-	39	88,0	-

Fonte: AUTOR (2015).

Figura 3 - Tabulação/Ilustração de Dados



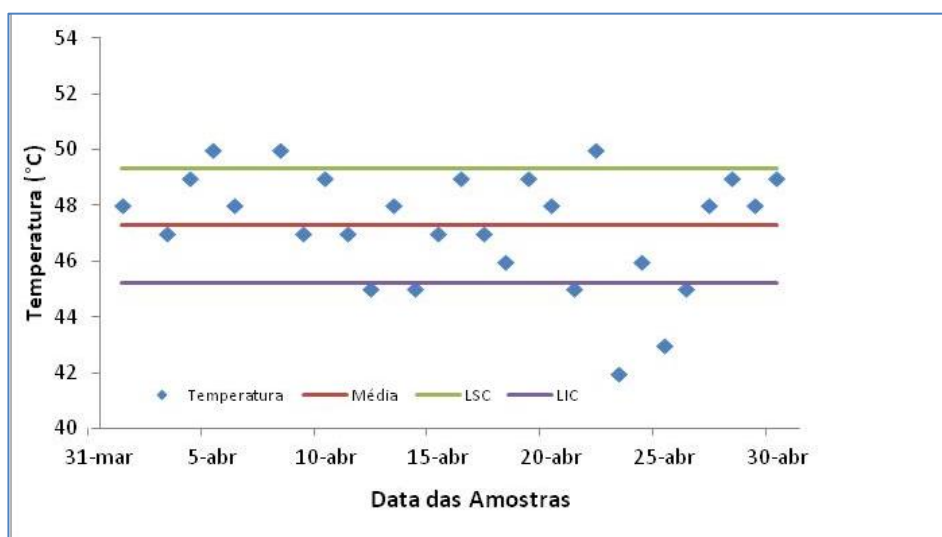
Fonte: AUTOR (2015).

Os boletins de análise diária forneceram os valores de Temperatura, pH e Matéria sedimentável. No gráfico abaixo estão demonstrados os valores da temperatura para a entrada do Efluente para o mês de Abril (01/04 até 30/04), assim como a média, o limite de controle superior e o limite de

controle inferior, sem critério de regulação legal, mas utilizados para avaliar a confiabilidade e estabilidade dos sistemas.

Para o mesmo intervalo, tem-se o seguinte o gráfico com dados equivalentes, mas sendo para o Efluente de saída.

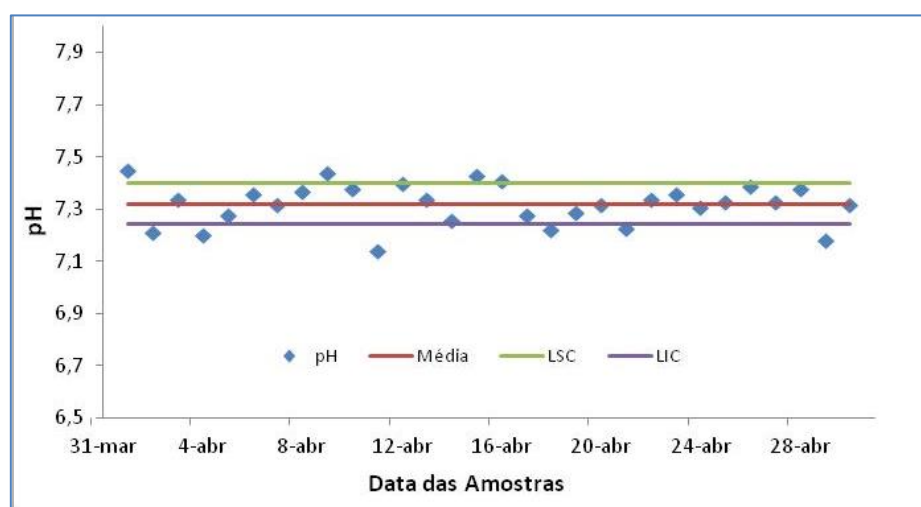
Figura 4 - Tabulação/Ilustração de Dados



Fonte: AUTOR (2015).

Analizando os dados dos boletins diários para o mesmo intervalo de tempo, ainda em Abril, pôde-se construir o gráfico abaixo representando os valores de pH do efluente de entrada.

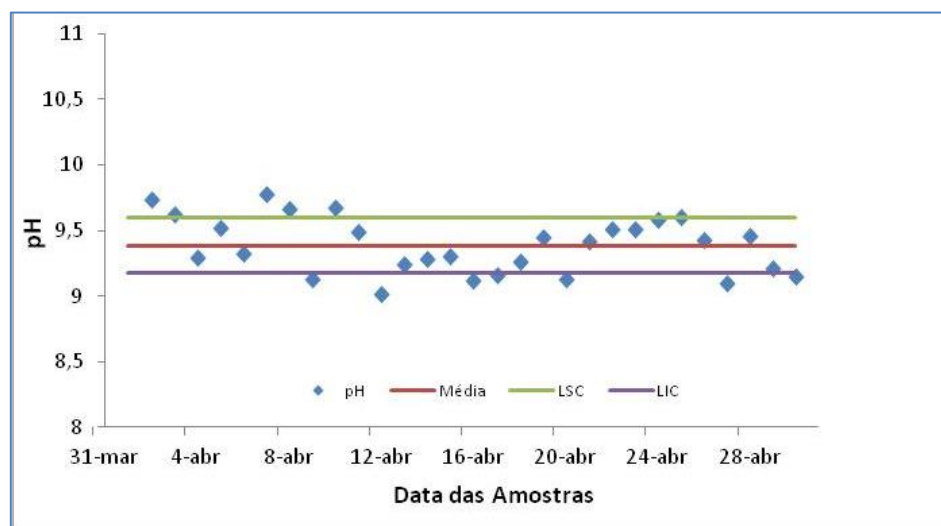
Figura 5 - Tabulação/Ilustração de Dados



Fonte: AUTOR (2015).

Nas mesmas condições, mas referente ao Efluente de saída, os valores de pH estão demonstrados no próximo gráfico.

Figura 6 - Tabulação/Ilustração de Dados



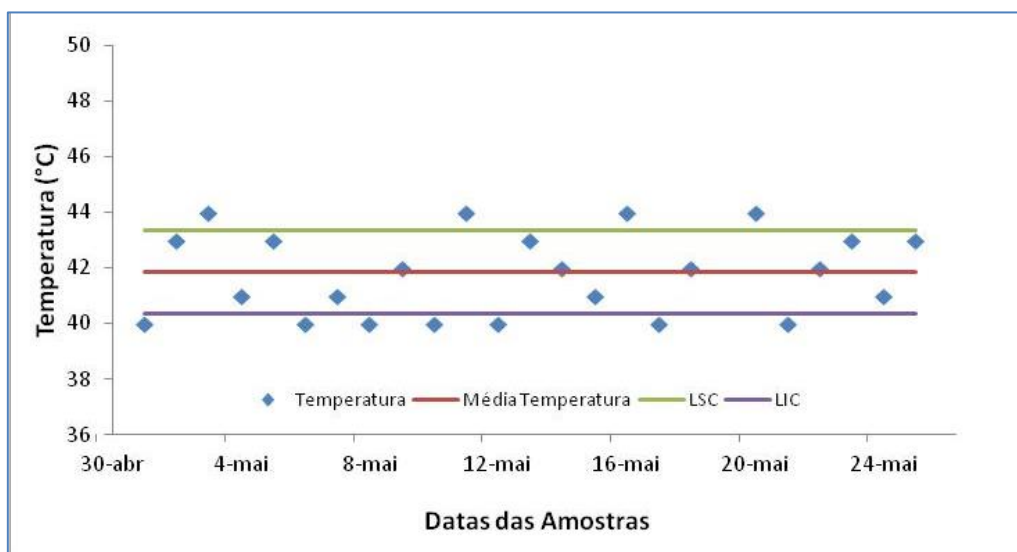
Fonte: AUTOR (2015).

Por fim, uma análise dos dados em relação à Matéria sedimentável mostrou que para o efluente de entrada, todas as amostras apresentaram um valor constante de 0,1 mg/L. Já as análises diárias no efluente de saída apresentaram, também, um mesmo número para todos os dias, no entanto, de valor 0,0 mg/L.

De forma análoga, boletins diários para o mês de Maio também foram produzidos. Com isso, foi possível construir gráficos referentes aos mesmos parâmetros, que são: Temperatura, pH e Matéria sedimentável. As datas são referentes ao intervalo de 01/05 a 26/05.

Dessa forma, os valores de temperatura e a sua respectiva média, limite de controle superior e o limite de controle inferior, em relação ao mês de Maio, para a entrada da ETAP, estão exibidos no próximo gráfico.

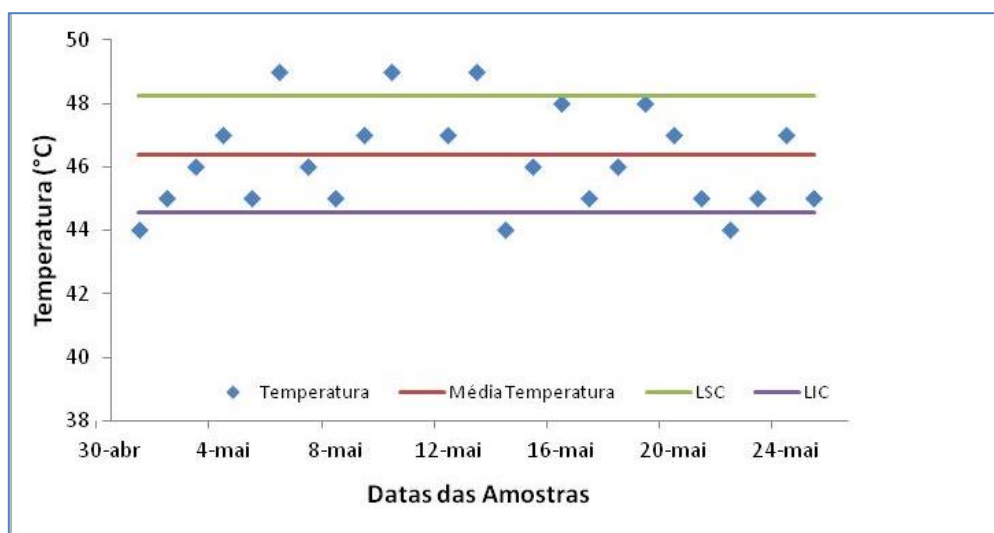
Figura 7 - Tabulação/Ilustração de Dados



Fonte: AUTOR (2015).

Da mesma forma que para o mês de Abril, as temperaturas do Efluente de saída também analisadas e estão à disposição, com sua média e limites de controle, abaixo.

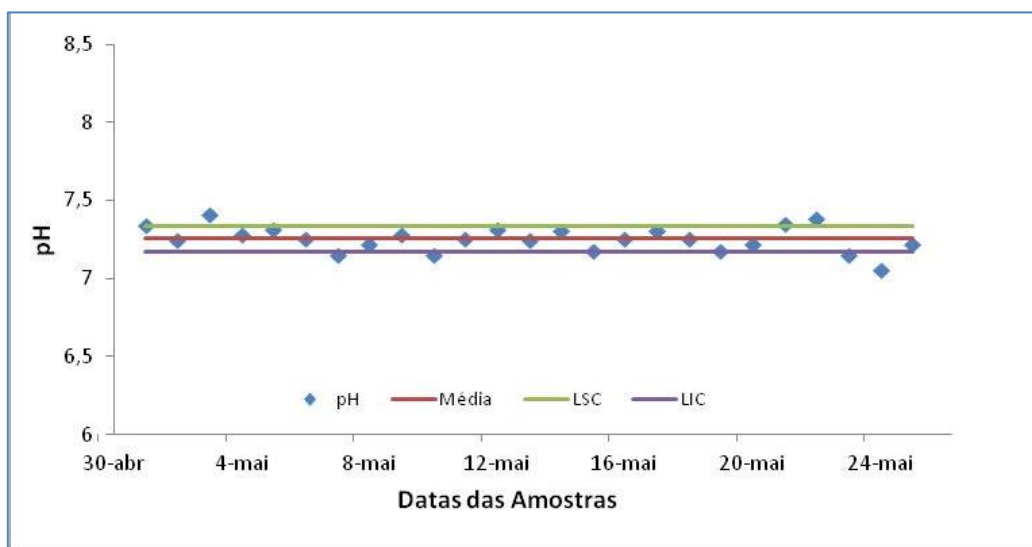
Figura 8 - Tabulação/Ilustração de Dados



Fonte: AUTOR (2015).

Os valores de pH do efluente de Entrada da ETAP são mostrados, juntamente com sua média e limites, no gráfico abaixo.

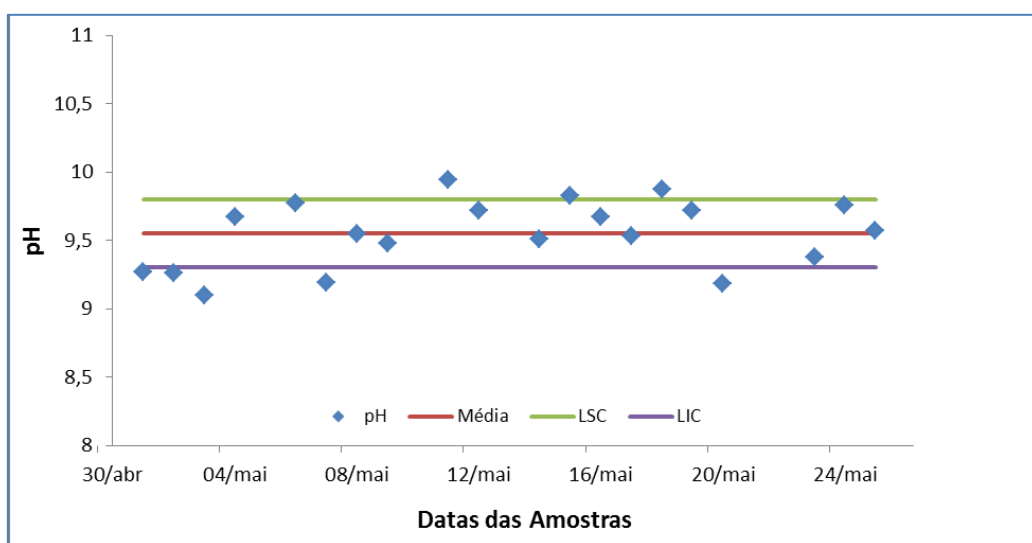
Figura 9 - Tabulação/Ilustração de Dados



Fonte: AUTOR (2015).

Um gráfico análogo, com informações correspondentes, referente a Saída da ETAP, pode ser observado a seguir.

Figura 10 - Tabulação/Ilustração de Dados



Fonte: AUTOR (2015).

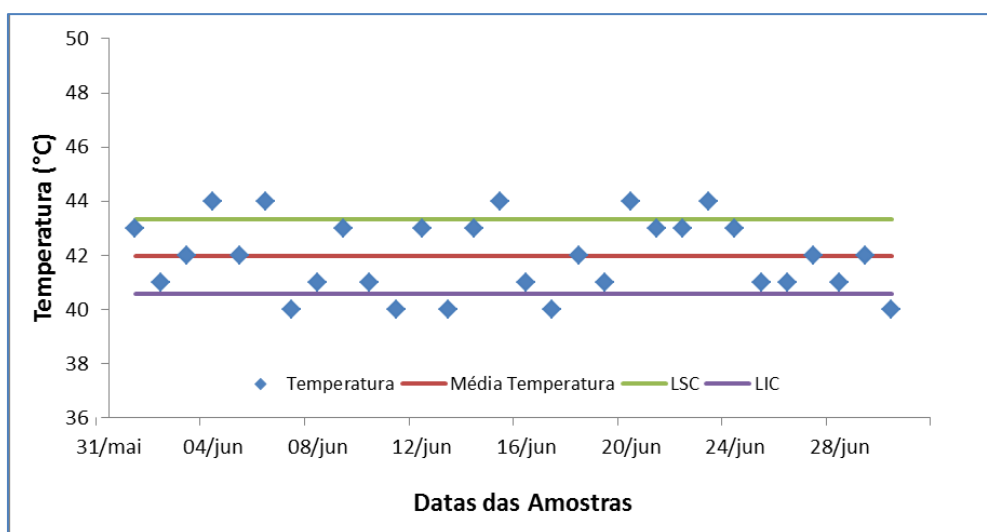
Ao analisar os valores de Matéria sedimentável no mês de Maio, percebeu-se que os valores são exatamente iguais aos do mês de Abril, ou seja, 0,1 mg/L no efluente de entrada e 0,0 mg/L para o efluente de saída, para todas as datas de coleta (de 01/05 até 25/05).

Para o mês de Junho, análises diárias também foram executadas. Com isso, foi possível construir gráficos referentes aos mesmos parâmetros, que

são: Temperatura, pH e Matéria sedimentável. As datas são referentes ao intervalo de 01/06 a 30/06.

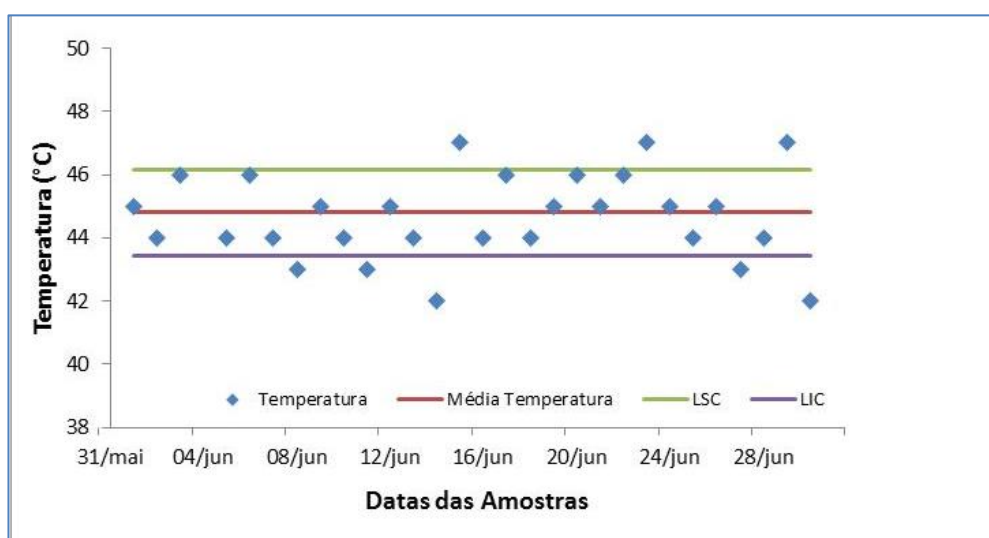
Dessa forma, os valores de temperatura e a sua respectiva média, limite de controle superior e o limite de controle inferior, em relação ao mês de Junho, para a entrada e saída da ETAP, estão exibidos nos próximos gráficos.

Figura 11 - Tabulação/Ilustração de Dados



Fonte: AUTOR (2015).

Figura 12 - Tabulação/Ilustração de Dados

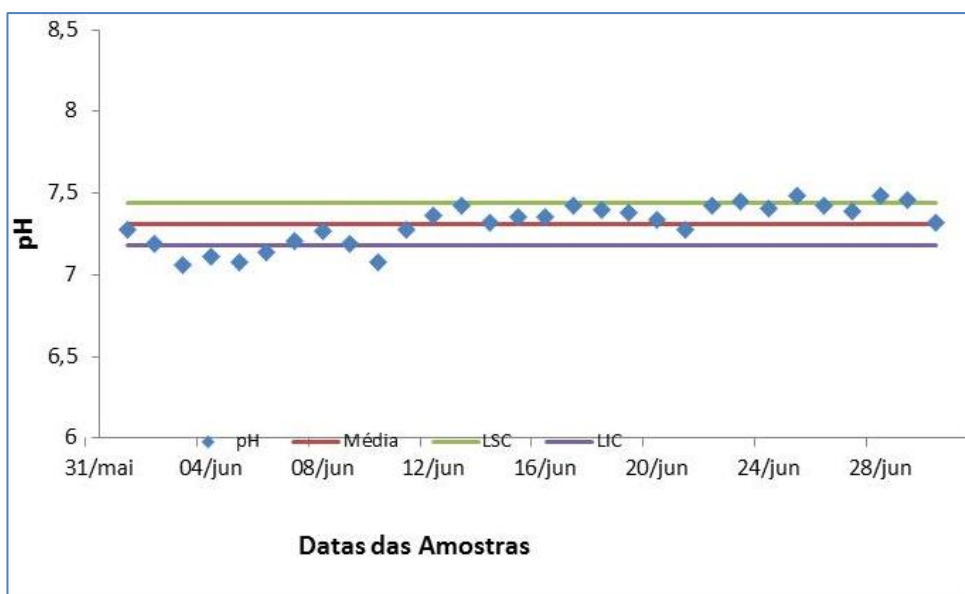


Fonte: AUTOR (2015).

Os valores de pH do efluente de Entrada da ETAP são mostrados,

juntamente com sua média e limites, no gráfico abaixo.

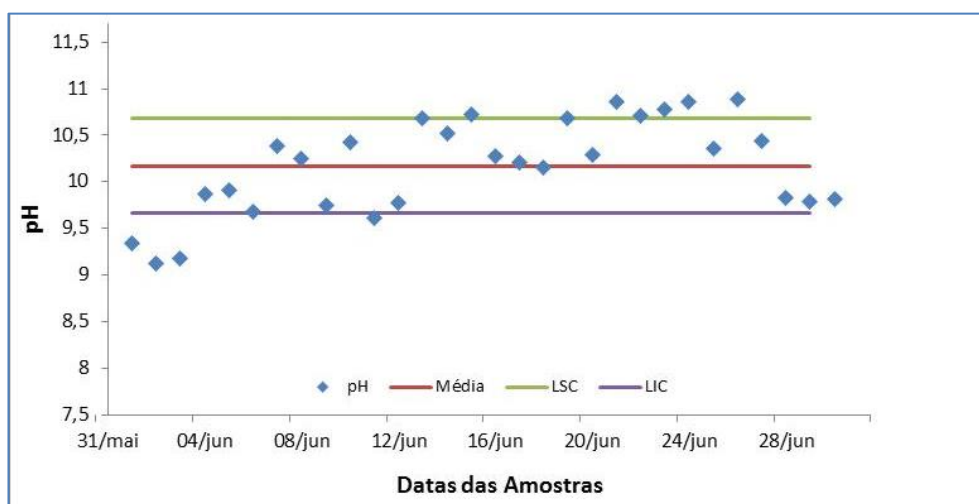
Figura 13 - Tabulação/Ilustração de Dados



Fonte: AUTOR (2015).

Abaixo, portanto, pode-se observar o mesmo gráfico para Saída da ETAP.

Figura 14 - Tabulação/Ilustração de Dados



Fonte: AUTOR (2015).

Ao analisar os valores de Matéria sedimentável no mês de Junho, os mesmos valores puderam ser percebidos, ou seja, 0,1 mg/L de Matéria sedimentável no efluente de entrada e 0,0 mg/L para o efluente de saída, para todas as datas de coleta de tal mês (de 01/06 até 30/06).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que o automonitoramento realizado nos efluentes industriais estão dentro das legislações aplicáveis, não tendo sido observadas anomalias significativas nos meses de janeiro a junho de 2015, conferindo boa eficiência ao sistema de tratamento utilizado.

REFERÊNCIAS

ABU-ZREIG M, RUDRA RP, DICKINSON WT, EVANS LJ. Effect of surfactants on sorption of atrazine by soil. **J Contam Hydrol** 1999;36:249–63.

AL-SUWAIDI, Abdullah et al. Comprehensive Solutions to Drilling Waste Management. In: **Abu Dhabi International Conference and Exhibition**. Society of Petroleum Engineers, 2004.

ASTM. **D 2161**: Standard Practice for Conversion of Kinematic Viscosity to Saybolt Universal Viscosity or to Saybolt Furol Viscosity. Washington, Dc: American National Standard, 1966.

BADER, M.S.H. (2007) Seawater versus produced water in oil-fields water injection operations. *Desalination*, v.208, n. 1-2, p. 150-168

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2011) Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispões sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

BROWNAWELL, B.J., CHEN, H., ZHANG, W., WESTALL, J.C., 1997. Sorption of non-ionic surfactants on sediment materials. *Environ. Sci. Technol.* 31, 1735–1741.

CANO, Manuel L.; DORN, Philip B. Sorption of two model alcohol ethoxylate surfactants to sediments. **Chemosphere**, v. 33, n. 6, p. 981-994, 1996.

CONDE, A. L. Tensoativos e suas aplicações em couros. **Artigo Técnico, Oxiteno**, 2003.

COWELL, Matthew A. et al. Partitioning of ethoxylated nonionic surfactants in water/NAPL systems: effects of surfactant and NAPL properties. **Environmental science & technology**, v. 34, n. 8, p. 1583-1588, 2000.

DE SOUZA, PAULO JUVÊNCIO BERTA; DE LIMA, VALDIR LUIZ. Avaliação das técnicas de disposição de rejeitos da perfuração terrestre de poços de petróleo. 2002.

DI CESARE, David; SMITH, James A. Surfactant effects on desorption rate of nonionic organic compounds from soils to water. In: **Reviews of environmental contamination and toxicology**. Springer New York, 1994. p. 1-29.

DIAS, Gerônimo Joaquim. **Modelagem tridimensional do lançamento de rejeitos das atividades de exploração e produção de petróleo em águas profundas**. 2005. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

EDWARDS, D. A.; LIU, Z.; LUTHY, R. G. Interactions between nonionic surfactant monomers, hydrophobic organic compounds and soil. **Water Science & Technology**, v. 26, n. 1-2, p. 147-158, 1992.

FIORENZA, S., MILLER, C.A., OUBRE, C.L., WARD, C.H., 2000. NAPL Removal, Surfactants, Foams, and Microemulsions. **CRC Press, Boca Raton, FL**, pp. 249–291.

FYTIANOS, K., VOUDRIAS, E., PAPAMICHALI, A., 1998. Behaviour and fate of linear alkylbenzene sulfonate in different soils. **Chemosphere** 36, 2741–2746.

GRIFFIN, William C. Classification of surface-active agents by "HLB". **J Soc Cosmetic Chemists**, v. 1, p. 311-326, 1946.

HONG, A.; FANE, A.G.; BURFORD, R. (2002) The effects of intermittent permeate flow and crossflow on membrane coalescence of oil-in-water emulsions. *Desalination*, v.144, n.1-2, p. 185-191.

HONG, A.; FANE, A.G.; BURFORD, R. (2003) Factors affecting membrane coalescence of stable oil-in-water emulsions. *Journal of Membrane Science*, v.222, p. 19-39.

KILE, Daniel E.; CHIOU, Cary T. Water solubility enhancements of DDT and trichlorobenzene by some surfactants below and above the critical micelle concentration. **Environmental Science & Technology**, v. 23, n. 7, p. 832-838, 1989.

LEE, Jiunn-Fwu et al. Influence of a nonionic surfactant (Triton X-100) on contaminant distribution between water and several soil solids. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 229, n. 2, p. 445-452, 2000.

LITZ, N. et al. The behavior of linear alkylbenzenesulfonate in different soils: a comparison between field and laboratory studies. **Ecotoxicology and Environmental safety**, v. 14, n. 2, p. 103-116, 1987.

OU, Ziqing et al. Adsorption of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) on soils. **Chemosphere**, v. 32, n. 5, p. 827-839, 1996.

PATERSON, Iain F. et al. Examination of the adsorption of ethylene oxide–propylene oxide triblock copolymers to soil. **Journal of contaminant hydrology**, v. 40, n. 1, p. 37-51, 1999.

RISER-ROBERTS, Eve. **Remediation of petroleum contaminated soils: biological, physical, and chemical processes**. CRC press, 1998.

RODRIGUEZ-CRUZ, M. S.; SANCHEZ-MARTIN, M. J.; SANCHEZ-CAMAZANO, M. Enhanced desorption of herbicides sorbed on soils by addition of Triton X-100. **Journal of environmental quality**, v. 33, n. 3, p. 920-929, 2004.

ROSEN, M.J.. **Surfactant and Interfacial Phenomena**. Wiley, New York, pp. 170–202. 1989

ROUSE, Joseph D. et al. Evaluation of ethoxylated alkylsulfate surfactants for use in subsurface remediation. **Water environment research**, v. 68, n. 2, p. 162-168, 1996.

SAIDI, M.; MADDAGHAN, R; FARHANIEH, B.; AFSHIN, H. (2012) Modeling of flow field and separation efficiency of a deoiling hydrocyclone using large eddy simulation. *Internacional Journal of Mineral Processing*, v. 112-113, p.84-93.

SHEN, Yun-Hwei. Sorption of non-ionic surfactants to soil: the role of soil mineral composition. **Chemosphere**, v. 41, n. 5, p. 711-716, 2000.

SOKOLOVI, R.M.S.; SOKOLOVI, S.M.; SEVIC, S. (2009) Oily water treatment usin a new steady-state fiber-bed coalescer. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, n.1, p.410-415.

STEWART, M & ARNOLD, K. (2011) Produced Water Treatment Field Manual. Part 1 – Produced Water Treating Systems, p.1-134.

UMBREIT, Jay N.; STROMINGER, Jack L. Relation of detergent HLB number to solubilization and stabilization of D-alanine carboxypeptidase from *Bacillus subtilis* membranes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 70, n. 10, p. 2997-3001, 1973.

URANO, K.; SAITO, M.; MURATA, C. Adsorption of surfactants on sediments. **Chemosphere**, v. 13, n. 2, p. 293-300, 1984.

WEST, C.C., HARWELL, J.H. Surfactants and subsurface remediation. **Environ. Sci. Technol.** 26, 2324–2330. 1992.

ZHENG, Z., OBBARD, J.P.. Evaluation of an elevated non- ionic surfactant critical micelle concentration in a soil/ aqueous system. **Water Res.** 36, 2667–2672. 2002.