

FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE

SERGIPE - FANESE

**NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO – NPGE CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO “LATO SENSU”
ESPECIALIZAÇÃO EM MBA DE NEGÓCIOS EM PETRÓLEO, GÁS E
BIOCOMBUSTÍVEIS**

LÍVIO AUGUSTO FERREIRA DE MELO

MONITORAMENTO DE PROPRIEDADES DA ÁGUA

PRODUZIDA VIA CONDUTIVIMETRIA

**Aracaju
2009**

LÍVIO AUGUSTO FERREIRA DE MELO

**MONITORAMENTO DE PROPRIEDADES DA ÁGUA
PRODUZIDA VIA CONDUTIVIMETRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Núcleo de Pós-Graduação e Extensão – NPGE, da Faculdade de Administração de Negócios de Sergipe – FANESE, como requisito para a obtenção do título de Especialista em MBA de Negócios de Petróleo, Gás e Biocombustíveis.

Nome completo do Avaliador

Nome completo do Coordenador de Curso

Nome completo do Aluno

Aprovado (a) com média: _____

Aracaju (SE), ____ de _____ de 2009.

RESUMO

O monitoramento da água produzida é um desafio para toda a indústria de petróleo, pois além da necessidade de enquadrar os parâmetros conforme a legislação brasileira, os critérios para reutilização desta água para recuperação secundária de petróleo mostram-se mais rígidos que os exigidos pela RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005. Neste contexto, a demanda por técnicas rápidas e precisas para quantificação das propriedades da água produzida e demais correntes oleosas é crescente, havendo então um grande interesse por esquemas de monitoramento de propriedades de forma contínua e em tempo real para controle dos processos. Uma propriedade de fácil medição e com direta relação com as águas produzidas é a condutividade elétrica. Isto ocorre pois a concentração de sais envolvida nestas águas é geralmente elevada, alcançando valores da ordem de 40.000 a 55.000ppm, permitindo então encontrar uma correlação entre condutividade e salinidade. Neste trabalho, foi realizado um estudo visando utilizar a condutivimetria como técnica de monitoramento da salinidade de águas produzidas, contendo diferentes teores de óleos e graxas (TOG). A partir de testes de laboratório, foram preparadas águas produzidas sintéticas visando simular composições tipicamente encontradas em alguns estágios do processo de tratamento de correntes oleosas da indústria de petróleo. Tais processos são importantes para o enquadramento da água produzida para fins de reuso ou descarte dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Os testes de laboratório permitiram o desenvolvimento de modelos matemáticos capazes de descrever a salinidade como função do sinal de condutividade. Tais modelos obtiveram êxito na avaliação da salinidade, e os desvios observados são considerados aceitáveis diante da falta de instrumentos adequados para fins de monitoramento em linha.

PALAVRAS CHAVE: Água produzida. Monitoramento. Salinidade.

ABSTRACT

The monitoring of the produced water is a challenge for all the oil industry, therefore beyond the necessity to fit the parameters in agreement the Brazilian legislation, the criteria for reuse of this water for secondary recovery of oil reveal more rigid than the demanded ones for RESOLUTION CONAMA 357/2005. In this context, the demand for the fast and necessary for quantification of properties of the produced water and excessively current techniques oily is increasing, having then a great interest for projects of monitoring of properties of continuous form and in real time for control of the processes. A property of easy measurement and with direct relation with produced waters is the electric conductivity. This occurs therefore the concentration of leaves involved in these waters generally is raised, reaching values of the order of 40.000 to 55.000ppm, allowing then to find a correlation between conductivity and salinity. In this work, a study was carried through having aimed at to use the conductivimetric as technique of monitoring of the produced water salinity and contend different texts of oils and greases (TOG). From laboratory tests, produced waters had been prepared synthetic aiming at to typically simulate joined compositions in some periods of training of the process of oily chain treatment of the oil industry. Such processes are important for the framing of the water produced for ends of inside reuse or discarding of the limits established for the legislation. The laboratory tests had allowed the development of mathematical models capable to describe the salinity as function of the conductivity signal. Such models had gotten success in the evaluation of the salinity, and the observed shunting lines are considered acceptable ahead of the lack of instruments adjusted for ends of on-line monitoring.

KEY-WORDS: Produced-water. Monitoring. Salinity.

LISTAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de um condutivímetro convencional.....	13
Figura 2: Exemplo de célula de condutividade em linha.	14
Figura 3 : Condutância em função da fração de volume para emulsões O/W instáveis (sem emulsificantes).....	15
Figura 4: Sistema para calibração do condutivímetro com águas produzidas.....	18

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variação da condutividade da água produzida 1 através da concentração de sal	19
Gráfico 2: Variação da condutividade da água produzida 1 em função do TOG	20
Gráfico 3: Variação da condutividade da água produzida 5 através da concentração de sal	20
Gráfico 4: Variação da condutividade da água produzida 5 em função do TOG	20
Gráfico 5: Variação da condutividade da água produzida 7 através da concentração de sal	21
Gráfico 6: Variação da condutividade da água produzida 7 em função do TOG	21
Gráfico 7: Variação da condutividade da água produzida 11 através da concentração de sal	21
Gráfico 8: Variação da condutividade da água produzida 11 em função do TOG	22
Gráfico 9: Comparação entre as concentrações experimentais e os valores preditos pelo MOD1	23
Gráfico 10: Comparação entre as concentrações experimentais e os valores preditos pelo MOD2.	23
Gráfico 11: Validação do MOD1 entre a concentração experimental pelo MOD1	24
Gráfico 12: Comparação entre a concentração experimental e os valores preditos pelo MOD2.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentrações iniciais das águas produzidas sintéticas	17
Tabela 2: Amplitude da salinidade e do TOG das águas produzidas.....	19
Tabela 3: Descrição dos modelos propostos	22
Tabela 4: Dados experimentais da água produzida 1	27
Tabela 5: Dados experimentais da água produzida 2	27
Tabela 6: Dados experimentais da água produzida 3	27
Tabela 7: Dados experimentais da água produzida 4	28
Tabela 8: Dados experimentais da água produzida 5	28
Tabela 9: Dados experimentais da água produzida 6	28
Tabela 10: Dados experimentais da água produzida 7	29
Tabela 11: Dados experimentais da água produzida 8	29
Tabela 12: Dados experimentais da água produzida 9	29
Tabela 13: Dados experimentais da água produzida 10	30
Tabela 14: Dados experimentais da água produzida 11	30
Tabela 15: Dados experimentais da água produzida 12	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1. Condutivimetria.....	13
2.1.1. Fundamentos.....	13
2.1.2. Principais Aplicações	13
2.1.2.1. Aplicações no Setor Petróleo.....	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
5. CONCLUSÕES.....	25
6. REFERÊNCIAS	26
7. APÊNDICE	27

1. INTRODUÇÃO

Durante todo o processamento da indústria de petróleo ocorre a geração de água produzida, principalmente durante o processamento primário, onde representa o maior volume a ser descartado. As águas produzidas possuem inicialmente características provenientes de sua formação, como compostos inorgânicos, metais, radionuclídeos e, ao adentrar no processo industrial recebem produtos químicos (aditivos) para promover a separação das fases.

Existem diversos equipamentos para realizar a separação das fases, como os separadores gravitacionais, flotores, hidrociclones etc, tais equipamentos possuem diferentes condições de operação e podem utilizar um ou mais princípios para favorecer a separação das fases, tais como separação inercial, ação da gravidade e diferença de densidade, aglutinação de partículas, força centrífuga etc.

O monitoramento da qualidade da água produzida na saída dos separadores é de extrema importância devido às restrições ambientais e processuais, este monitoramento é realizado principalmente em laboratório e, em alguns casos, em linha. Em particular, a indústria de petróleo vem recorrendo ao uso de monitores de TOG em linha visando propiciar um melhor controle operacional do processo em tempo real, reduzindo custos associados a análises laboratoriais e geração de um banco de dados como subsídio para melhoria do processo.

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é desenvolver uma estratégia de monitoramento em tempo real da concentração de sais em salmouras, baseado na técnica de condutivimetria e estudar a viabilidade da sua aplicação em correntes contendo água produzida pela indústria de petróleo. A meta fundamental é avaliar a eficiência de esquemas de monitoramento em linhas de escoamento industriais reais, de forma a determinar rapidamente o teor de cloretos nos dutos de produção e descarte, melhorando a qualidade da água produzida para fins de reuso. São então realizados testes experimentais para a análise da sensibilidade do sensor de condutivimetria a diferentes teores de sal e teor de óleos e graxas (TOG). Os sistemas foram caracterizados em relação à concentração de sal existente. Foram desenvolvidos modelos semi-empíricos que permitem descrever os sinais de condutivimetria obtidos como função das concentrações de cloretos e TOG de águas produzidas sintetizadas em laboratório, simulando condições próximas às encontradas em campos produtores.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Condutivimetria

2.1.1. Fundamentos

A condutivimetria é a ciência que quantifica a capacidade que um sistema possui em transportar cargas elétricas ou conduzir corrente elétrica. Tal capacidade é conhecida como condutância e corresponde ao inverso da resistência elétrica, constituindo uma propriedade característica do material e importante na classificação dos materiais em bons ou maus condutores de eletricidade. Quando a condutância de um sistema é avaliada em uma seção reta uniforme e de distância definida, tem-se então uma medida de condutividade (SANTOS, 2003).

2.1.2. Principais Aplicações

O equipamento que mede condutividade é denominado condutímetro e em geral possui um sensor de temperatura, uma célula que consiste em dois eletrodos (placas) mais a parte lógica. A parte lógica é um dispositivo eletrônico responsável pela determinação de temperatura, concentração de sais e condutância elétrica da amostra. A Figura 8 ilustra um condutímetro tipicamente utilizado em laboratório.

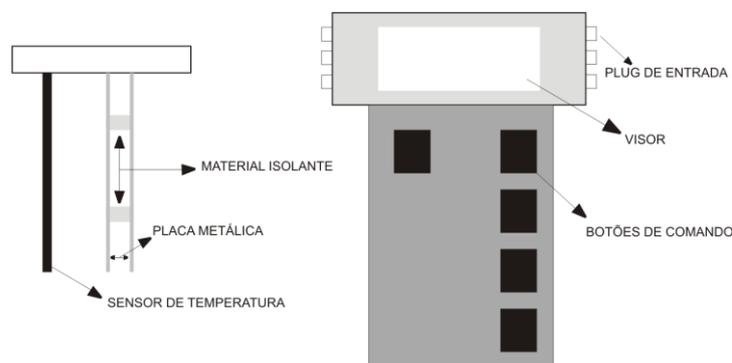


Figura 1: Esquema de um condutímetro convencional

De acordo com Cardozo Filho (2007), o condutivímetro é muito aplicado para medir a condutividade de soluções aquosas, seja em laboratório ou em atividades de campo. É muito utilizado para determinar a concentração de substâncias iônicas, bastando para isso uma curva de calibração que associe a condutividade de soluções conhecidas com a concentração das mesmas. O método de condutivimetria é bastante utilizado nas indústrias de petróleo, alimentos, farmacêutica e de polímeros. Ademais, encontra bastante utilidade em pesquisas médicas, na agricultura e piscicultura, possibilitando a verificação da capacidade que um determinado sistema possui em transportar cargas elétricas e/ou conduzir corrente elétrica.

2.1.2.1. Aplicações no Setor Petróleo

Segundo Pal (1994), utilizam-se medidas de condutividade para monitorar a composição de emulsões óleo/água escoando através de um duto. O autor apresenta um sensor como o ilustrado na figura 9 aplicado ao estudo de emulsões instáveis (sem adição de emulsificante). Um dos resultados obtidos que ilustra a aplicação da técnica de condutivimetria é apresentado na figura 10, onde se verifica que medidas de condutividade elétrica podem ser usadas também para prever o ponto de inversão da emulsão (CARDOZO FILHO, 2007).

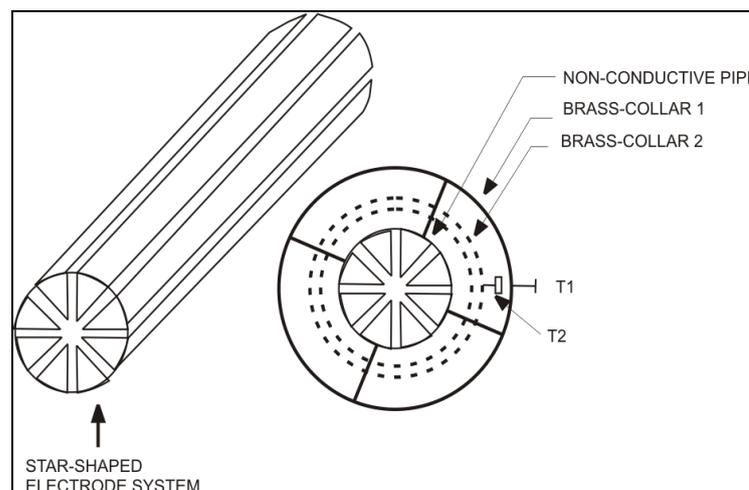


Figura 2: Exemplo de célula de condutividade em linha.
Adaptado: PAL, (1994).

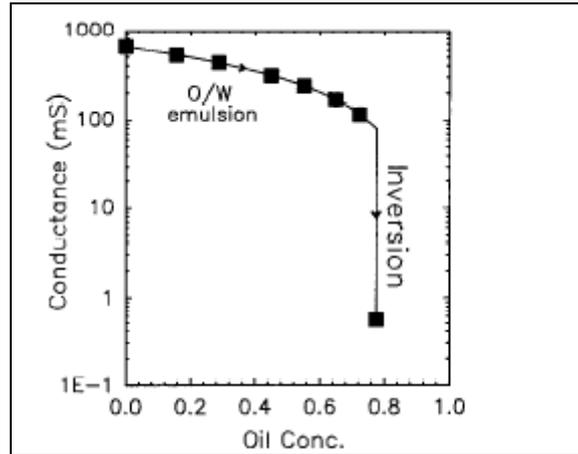


Figura 3 : Condutância em função da fração de volume para emulsões O/W instáveis (sem emulsificantes)
Fonte: PAL (1994).

O método citado anteriormente é usualmente aplicável para emulsões do tipo óleo/água. Observou-se na literatura que o uso da técnica de condutivimetria partindo de uma visão geral de processos industriais é bastante difundido tanto em aplicações de laboratório como em linha. Para o acompanhamento em linha, Pal (1994) apresentou vários casos de aplicação da técnica, incluindo seu uso na determinação do teor de água em emulsões de água em óleo. Porém, na indústria de petróleo, a sua aplicação é comumente encontrada em laboratório para análise da salinidade do óleo cru. Nesta aplicação, torna-se necessário a dispersão destes óleos em misturas especiais de solventes, já que o óleo cru é altamente isolante fornecendo baixíssimas condutividades caso seja utilizado sem diluição, resultando assim em um método não adaptado para medidas em linha. Por outro lado, o uso da técnica para o monitoramento em linha de correntes envolvendo óleo em água pode ser encorajado já que as condutividades envolvidas são detectáveis por instrumentos relativamente simples.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado o estudo experimental simulando um monitoramento da água produzida para descarte.

Para realização do monitoramento foi necessário sintetizar a água produzida no laboratório de forma que sua composição fosse conhecida. Foi preparado um planejamento de experimentos visando fazer uma varredura da condutividade em função da salinidade e do teor de óleo e graxa.

O planejamento experimental foi executado no Laboratório de Engenharia de Petróleo e no Laboratório de Sistemas Coloidais e Dispersões, ambos situados no Instituto de Tecnologia e Pesquisa – ITP, o qual é vinculado à Universidade Tiradentes – UNIT, onde foram necessários diversos equipamentos, vidrarias e reagentes, listadas abaixo:

- Amostra de um petróleo brasileiro;
- Cloreto de sódio 99% - Quimex;
- Surfactante comercial – SLS;
- Solução padrão de calibração do condutivímetro;
- Água destilada;
- Cronômetro;
- Agitador Magnético
- Condutivímetro Mettler Toledo;
- Liquidificador industrial (SKIMSEM);
- Espectrofotômetro Hitachi UV-Visível U-1800;
- Balança analítica SARTORIUS modelo CP224S - 220g ($\pm 0,0001$);
- Becker de 50mL;
- Becker de 1000 mL;
- Erlenmeyer de 2000 mL;
- Pipetas graduadas de 5 mL;
- Pipeta graduada de 10 mL;
- Pipeta de Pasteur;
- Vidro de relógio;
- Espátula;
- Bastão de vidro;
- Proveta de 1000 mL;

- Balão volumétrico de 250 mL;
- Funil;
- 2 cubetas;
- 1 bureta de 50 mL.

Os procedimentos para a síntese da água produzida estão detalhados a seguir:

Para o preparo das águas produzidas foi necessário preparar dois litros de solução salina para cada concentração a ser trabalhada, sendo estas de 10.000ppm, 25.000ppm, 35.000ppm e 55.000ppm, onde foram pesados respectivamente 20, 50, 70 e 110 g de NaCl. Pesou-se 0,625g de SLS para preparar uma solução de SLS comercial a 2,5g/L em 250 mL de água destilada. Foram preparadas também salmouras com maior concentração de sais verificar a influência do teor da salinidade e do TOG em um modelo para estimar a condutividade, sendo as concentrações de 55.000, 65.000 e 70.000ppm de NaCl, sendo preparado dois litros de cada solução. A tabela 1 traz as concentrações iniciais das águas produzidas sintéticas.

Tabela 1: Concentrações iniciais das águas produzidas sintéticas

Salmoura	[Sal] ppm	[TOG] (ppm)
1	10000	100
2	10000	55
3	10000	20
4	25000	100
5	25000	55
6	25000	20
7	35000	100
8	35000	55
9	35000	20
10	55000	100
11	55000	55
12	55000	20

Após a salmoura pronta, colocou-se 500mL no liquidificador industrial, adicionando 20mL de SLS, pois desta forma a concentração de SLS na água produzida ficaria abaixo da concentração micelar crítica (CMC), a qual favorece a formação de gotas de óleo em solução aquosa. O petróleo foi adicionado através de uma pipeta de Pasteur, visto que a massa necessária para preparar as águas produzidas era relativamente baixa. Em seguida agitou-se por dois minutos para promover o cisalhamento e dispersão das gotas de óleo, formando uma água produzida sintética e estável.

A água produzida foi transferida para um Becker de 1 litro, onde se manteve com agitação constante para manter a homogeneização do sistema e evitar a flotação do óleo disperso, o condutivímetro foi imerso na água produzida sintética para mensurar a condutividade três minutos após a adição de um volume de 20mL da solução salina contida na bureta para verificar a influência da salinidade e do TOG na condutividade. Foram escolhidos quatro pontos para verificar o TOG via espectrofotometria de UV-Visível, onde se tomou a medida da água produzida inicial, da final e dois pontos aleatórios intermediários.

Para as salmouras 1, 2 e 3, a concentração da salmoura adicionada para variar da salinidade foi de 65000ppm. Para as salmouras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 a concentração da salmoura adicionada foi de 55000ppm, enquanto que para as salmouras 10, 11 e 12 a salmoura adicionada tinha concentração de 70000ppm. A figura 4 mostra o sistema utilizado.



Figura 4: Sistema para calibração do condutivímetro com águas produzidas.

Observou-se grande formação de espuma na água produzida devido ao SLS adicionado, mas a espuma não influenciou nas medidas de condutividade, pois a célula de condutividade se manteve completamente imersa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados numéricos dos testes de condutivimetria realizados estão dispostos no Apêndice. As características das águas produzidas quanto ao TOG e salinidade foram determinadas respectivamente através das exigências da legislação e quanto as concentrações típicas encontradas em campo, os quais apresentam máximos e mínimos, conforme dispostos na tabela abaixo:

Tabela 2: Amplitude da salinidade e do TOG das águas produzidas

	[Sal] (ppm)	[TOG] (ppm)
Mínimo	10.000	15
Máximo	59.000	136

Os resultados experimentais se comportaram conforme o previsto, ou seja, observou-se o aumento da condutividade com o acréscimo da salinidade na amostra. Isto ocorre pois o aumento da concentração de sais em solução aumenta a mobilidade dos íons em solução, facilitando a condução de corrente. Por outro lado, ocorre a redução da condutividade com o aumento do TOG, já que os hidrocarbonetos são essencialmente isolantes. A evolução da condutividade com as concentrações pode ser verificada nos gráficos abaixo para as águas produzidas 2, 5, 7 e 11.

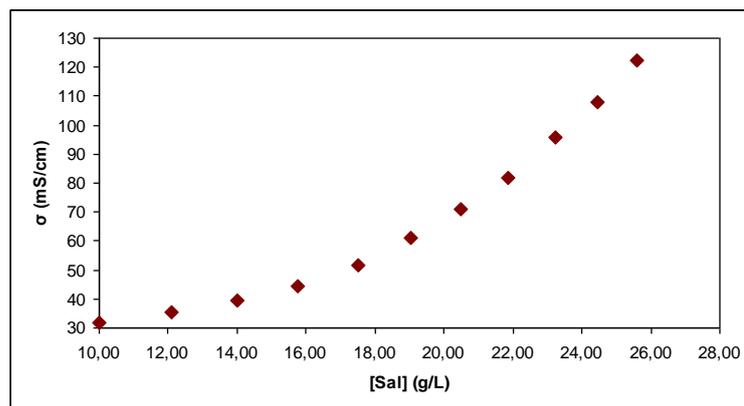


Gráfico 1: Variação da condutividade da água produzida 1 através da concentração de sal

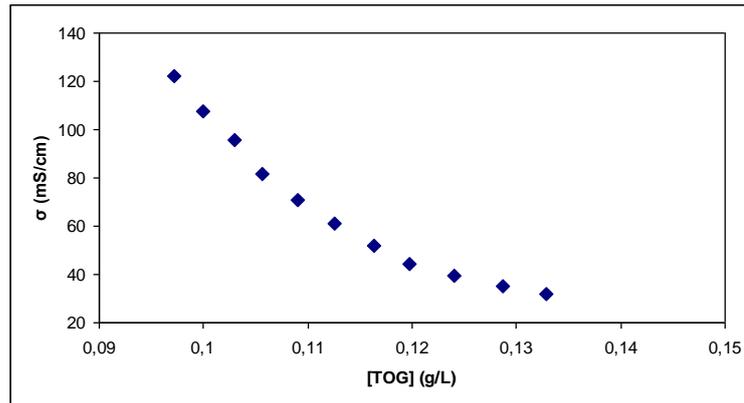


Gráfico 2: Variação da condutividade da água produzida 1 em função do TOG

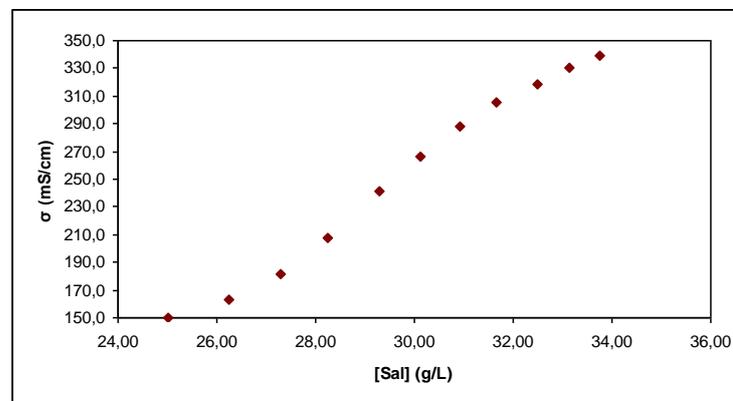


Gráfico 3: Variação da condutividade da água produzida 5 através da concentração de sal

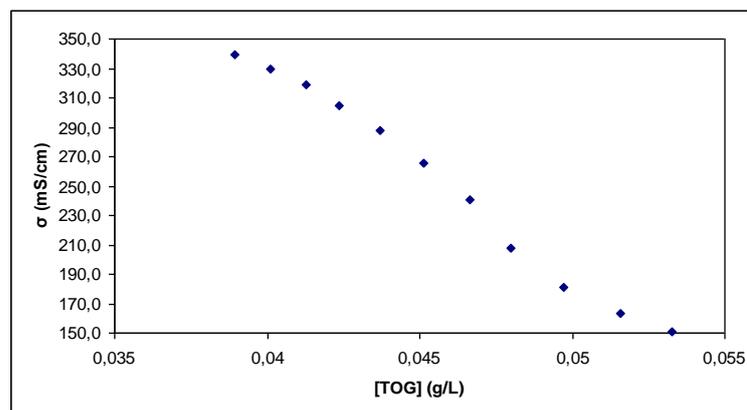


Gráfico 4: Variação da condutividade da água produzida 5 em função do TOG

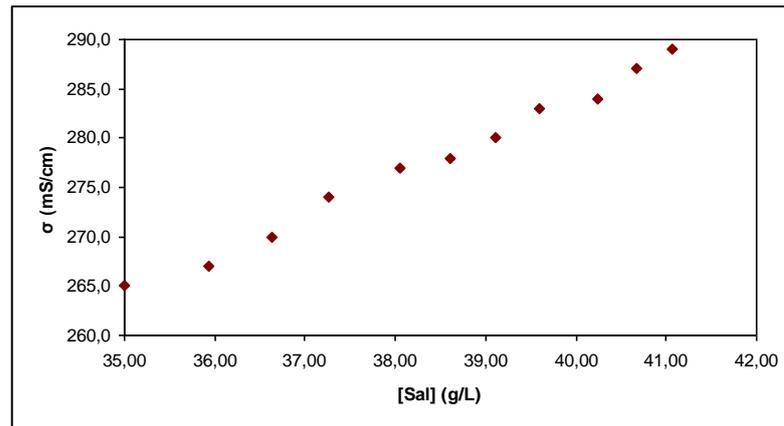


Gráfico 5: Variação da condutividade da água produzida 7 através da concentração de sal

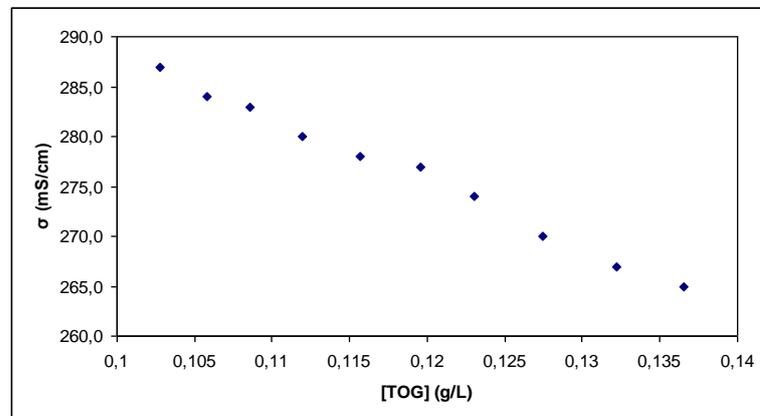


Gráfico 6: Variação da condutividade da água produzida 7 em função do TOG

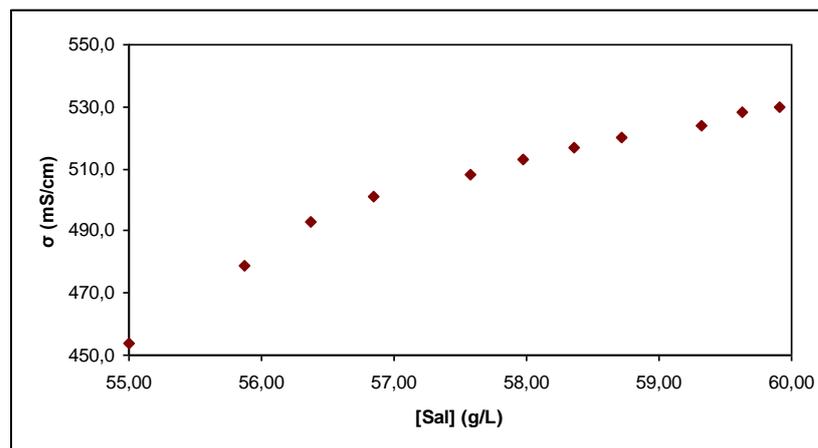


Gráfico 7: Variação da condutividade da água produzida 11 através da concentração de sal

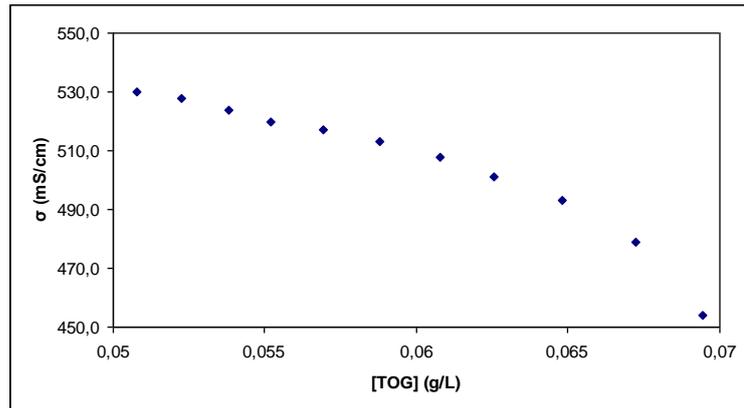


Gráfico 8: Variação da condutividade da água produzida 11 em função do TOG

Para fins de calibração do condutivímetro, foi elaborado um conjunto de dados de calibração, constituído pelos dados experimentais obtidos nos testes com as águas produzidas sintéticas 2, 5, 6, 7, 10, 11 e 12. Através do *software* STATISTICA foram criados dois modelos matemáticos para prever a salinidade das águas produzidas mensuradas experimentalmente. Os modelos foram validados para as demais águas produzidas não utilizadas no conjunto de calibração.

Modelo 1 –MOD1:

$$[Sal] = 9,9676 + 9,4404 \left(\frac{\sigma}{100} \right) \quad (6)$$

Modelo 2 – MOD2:

$$[Sal] = 9,7766 + 8,7896 \left(\frac{\sigma}{100} \right) + 11,1232 \left(\frac{\sigma}{100 * TOG} \right) \quad (7)$$

Os coeficientes dos modelos 1 e 2 apresentaram desvios padrão relativamente baixos, como pode ser observado nas tabela 3.

Tabela 3: Descrição dos modelos propostos

Modelo	R ²	Coefficiente	Estimativa	Desvio Padrão
MOD1	0,98303	a0	9,9676	0,75
		a1	9,4404	0,20
MOD2	0,98756	a0	9,7766	0,65
		a1	8,7896	0,22
		a2	11,1232	2,15

Os gráficos 9 e 10 apresentam uma comparação entre os valores experimentais que foram utilizados para desenvolvimento dos modelos e os preditos pelos modelos MOD1 e MOD2 respectivamente, onde se observa que os modelos descrevem os valores experimentais, enquanto que o MOD1 não considera a influência do TOG.

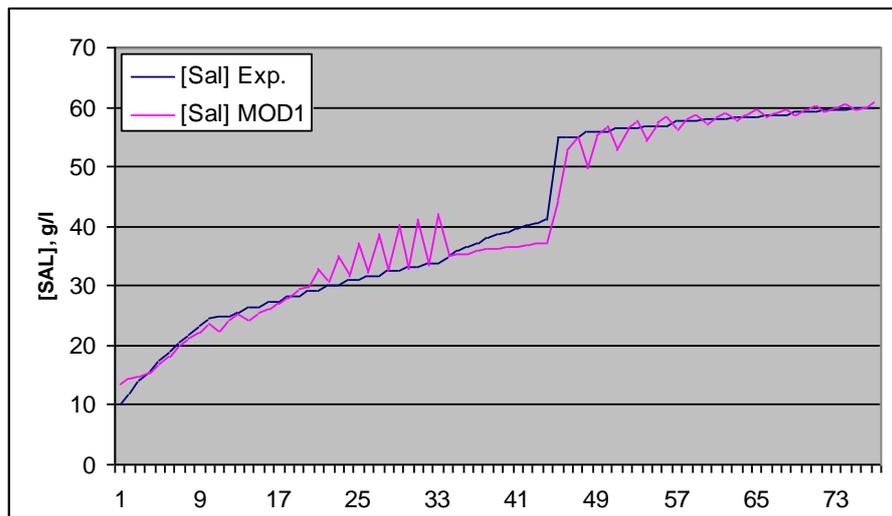


Gráfico 9: Comparação entre as concentrações experimentais e os valores preditos pelo MOD1

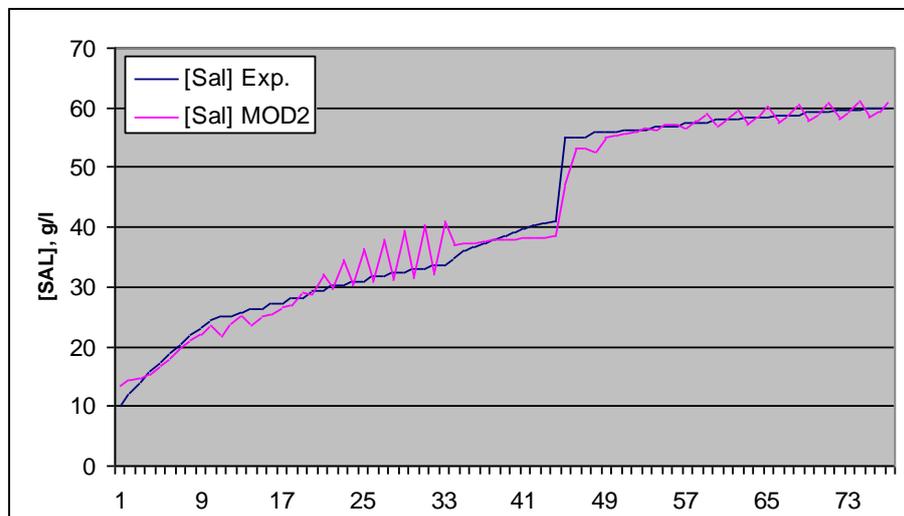


Gráfico 10: Comparação entre as concentrações experimentais e os valores preditos pelo MOD2.

Utilizou-se então as águas produzidas 1, 3, 4, 8 e 9 para efetiva validação dos modelos MOD1 e MOD2. Nos gráficos 11 e 12 estão dispostos as concentrações experimentais de sal e os valores preditos pelo MOD1 e MOD2 respectivamente, onde se verifica que para baixas concentrações de sais há uma oscilação dos valores preditos. Entretanto, para concentrações típicas encontradas na da indústria de petróleo o modelo é estável, onde a salinidade predita é

maior que a real. Tal situação é boa para o meio ambiente e para a indústria, pois ao verificar que os valores do monitoramento se encontram no limiar do exigido pela legislação, realiza-se a intervenção para o controle do processo.

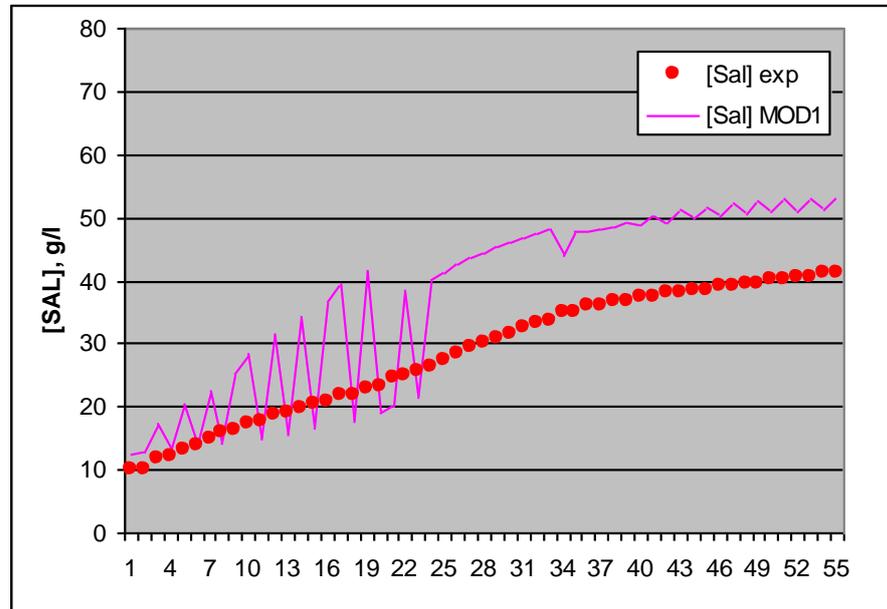


Gráfico 11: Validação do MOD1 entre a concentração experimental pelo MOD1

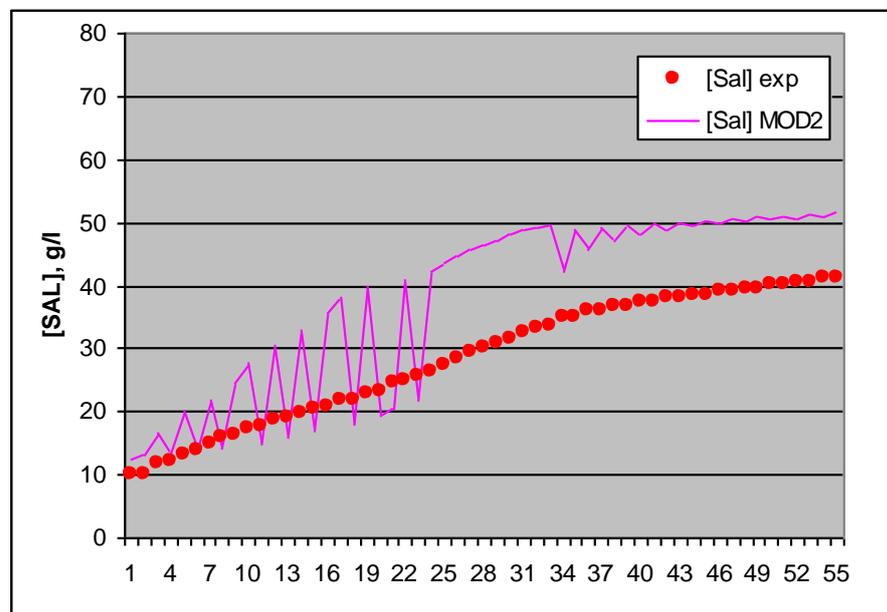


Gráfico 12: Comparação entre a concentração experimental e os valores preditos pelo MOD2.

5. CONCLUSÕES

A demanda por técnicas rápidas e precisas para quantificação das propriedades da água produzida e demais correntes oleosas é crescente, havendo então um grande interesse por esquemas de monitoramento de propriedades de forma contínua e em tempo real para controle dos processos.

Nesta monografia foi estudada uma estratégia de monitoramento em tempo real da concentração de sais em salmouras baseado na técnica de condutivimetria, verificando o potencial de aplicação desta na indústria de petróleo.

Para avaliação da técnica utilizou-se um esquema de medição da condutividade de salmouras com diferentes concentrações de sal e TOG. Foram desenvolvidos dois modelos semi-empíricos, os quais foram validados com dados experimentais de salmouras com composições distintas. A partir dos dois modelos, foi possível efetuar a predição adequada da salinidade de águas produzidas contendo diferentes valores de TOG, confirmando a aplicabilidade da técnica. Além disso, estas predições podem ser obtidas de modo rápido, permitindo o uso da técnica em tempo real para o monitoramento de correntes de água produzida com TOG na faixa de 15 a 140 ppm.

É importante destacar que os processos de tratamento e geração de água produzida na indústria de petróleo ocorrem de forma contínua. Nestes processos, é necessário providenciar rapidamente a destinação do efluente produzido após os sistemas de tratamento. Assim, o uso da técnica de monitoramento estudada nesta monografia poderá auxiliar o operador na tomada de decisão, pois se a água possuir salinidade superior a da formação ela deve ser descartada, porém, esta necessita estar enquadrada na legislação.

6. REFERÊNCIAS

_____ Resolução CONAMA n° 357, de 17 de marco. **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 providencias.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em 12 de abril de 2008.

CARDOZO FILHO, AGNALDO. **Avaliação de propriedades de correntes oleosas na indústria de petróleo via condutivimetria.** Dissertação de Mestrado. Aracaju: Universidade Tiradentes, 2007.

PAL, R.. **Techniques for Measuring the Composition (oil and water content) of Emulsions - a State of the Art Review.** Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, vol. 84(2), p.141-193, 1994.

SANTOS, A.F. **Acompanhamento em Tempo Real de Propriedades de Sistemas de Polimerização.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. RJ, 2003.

VOGEL, ARTHUR ISRAEL. **Química analítica qualitativa.** 5^a ed. São Paulo: Mestre Jou, 1981.

APÊNDICE DADOS EXPERIMENTAIS

Tabela 4: Dados experimentais da água produzida 1

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	31,70	26,1	10,00	0,1329	0,395
3	35,20	26,1	12,10	0,1287	-
6	39,40	26,2	14,00	0,1241	-
9	44,30	26,1	15,77	0,1198	0,353
12	51,80	25,9	17,51	0,1163	-
15	61,20	25,8	19,06	0,1125	-
18	70,80	25,8	20,50	0,1090	-
21	81,70	25,7	21,87	0,1057	0,312
24	95,80	25,6	23,25	0,1030	-
27	107,80	25,6	24,46	0,1000	-
30	122,30	25,5	25,60	0,0972	0,281

Tabela 5: Dados experimentais da água produzida 2

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	38,40	27,0	10,00	0,0883	0,290
3	46,90	26,9	12,10	0,0855	-
6	48,90	26,8	14,00	0,0824	-
9	58,50	26,6	15,77	0,0795	0,270
12	72,30	26,5	17,51	0,0773	-
15	87,20	26,4	19,06	0,0748	-
18	104,40	26,3	20,50	0,0724	-
21	119,80	26,2	21,87	0,0702	0,233
24	128,30	26,1	23,25	0,0684	-
27	145,80	26,0	24,46	0,0664	-
30	161,90	25,9	25,60	0,0646	0,219

Tabela 6: Dados experimentais da água produzida 3

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	28,20	26,0	10,00	0,0273	0,086
3	76,30	25,4	11,73	0,0264	-
6	112,10	25,4	13,29	0,0255	-
9	133,10	25,5	14,73	0,0246	0,075
12	163,90	25,5	16,16	0,0239	-
15	196,40	25,5	17,43	0,0231	-
18	228,00	25,4	18,61	0,0224	-

21	256,00	25,3	19,72	0,0217	0,065
24	285,00	25,2	20,86	0,0212	-
27	313,00	25,1	21,85	0,0205	-
30	333,00	25,0	22,78	0,0200	0,059

Tabela 7: Dados experimentais da água produzida 4

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	303,00	26,6	25,00	0,1340	0,418
3	319,00	26,2	26,26	0,1298	-
6	332,00	26,0	27,29	0,1251	-
9	344,00	26,8	28,25	0,1208	0,368
12	356,00	26,6	29,29	0,1173	-
15	365,00	25,5	30,13	0,1135	-
18	374,00	25,4	30,91	0,1099	-
21	383,00	25,3	31,65	0,1066	0,184
24	391,00	25,2	32,49	0,1039	-
27	398,00	25,1	33,14	0,1009	-
30	403,00	25,0	33,76	0,0980	0,087

Tabela 8: Dados experimentais da água produzida 5

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	150,50	26,6	25,00	0,0533	0,157
3	163,20	26,4	26,26	0,0516	
6	181,20	26,1	27,29	0,0497	
9	208,00	25,9	28,25	0,0480	0,144
12	241,00	25,7	29,29	0,0466	
15	266,00	25,5	30,13	0,0451	
18	288,00	25,4	30,91	0,0437	
21	305,00	25,3	31,65	0,0424	0,129
24	319,00	25,2	32,49	0,0413	
27	330,00	25,1	33,14	0,0401	
30	339,00	25,0	33,76	0,0390	0,112

Tabela 9: Dados experimentais da água produzida 6

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	130,60	25,6	25,00	0,0235	0,034
3	150,60	25,3	26,26	0,0227	-
6	171,44	25,1	27,29	0,0219	-
9	191,00	25,0	28,25	0,0211	0,031
12	211,00	25,0	29,29	0,0205	-
15	220,00	24,9	30,13	0,0199	-
18	228,00	24,9	30,91	0,0192	-

21	236,00	24,9	31,65	0,0187	0,031
24	238,00	24,9	32,49	0,0182	-
27	243,00	24,9	33,14	0,0177	-
30	248,00	24,9	33,76	0,0172	0,027

Tabela 10: Dados experimentais da água produzida 7

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	265,0	28,0	35,00	0,1365	0,255
3	267,0	27,7	35,94	0,1322	-
6	270,0	27,6	36,62	0,1275	-
9	274,0	27,5	37,26	0,1231	0,213
12	277,0	27,2	38,05	0,1195	-
15	278,0	27,2	38,60	0,1156	-
18	280,0	27,1	39,12	0,1120	-
21	283,0	26,9	39,60	0,1086	0,174
24	284,0	26,9	40,24	0,1058	-
27	287,0	26,8	40,67	0,1027	-
30	289,0	26,7	41,07	0,0999	0,159

Tabela 11: Dados experimentais da água produzida 8

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	401	27,4	35,00	0,0888	0,155
3	403	27,2	35,94	0,0860	-
6	409	27,0	36,62	0,0829	-
9	413	26,8	37,26	0,0801	0,157
12	417	26,7	38,05	0,0778	-
15	421	26,6	38,60	0,0752	-
18	425	26,6	39,12	0,0729	-
21	429	26,5	39,60	0,0706	0,154
24	432	26,4	40,24	0,0689	-
27	435	26,3	40,67	0,0669	-
30	438	26,2	41,07	0,0650	0,129

Tabela 12: Dados experimentais da água produzida 9

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	359,0	26,3	35,00	0,0206	0,04
3	400,0	26	35,94	0,0199	-
6	416,0	25,8	36,62	0,0192	-
9	427,0	25,6	37,26	0,0185	0,037
12	436,0	25,5	38,05	0,0180	-
15	441,0	25,4	38,60	0,0174	-
18	447,0	25,4	39,12	0,0169	-

21	451,0	25,4	39,60	0,0164	0,033
24	455,0	25,3	40,24	0,0159	-
27	457,0	25,3	40,67	0,0155	-
30	461,0	25,3	41,07	0,0150	0,029

Tabela 13: Dados experimentais da água produzida 10

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	365,0	28,2	55,00	0,1263	0,0146
3	422,0	27,9	55,87	0,1223	-
6	455,0	27,7	56,37	0,1180	-
9	471,0	27,5	56,85	0,1139	0,142
12	490,0	27,3	57,58	0,1106	-
15	499,0	27,2	57,98	0,1070	-
18	506,0	27,1	58,36	0,1036	-
21	511,0	27,1	58,72	0,1005	0,099
24	516,0	27,0	59,31	0,0979	-
27	51,0	26,9	59,62	0,0951	-
30	524,0	26,8	59,92	0,0924	0,074

Tabela 11: Dados experimentais da água produzida 11

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	454,0	28,8	55,00	0,0694	0,098
3	479,0	28,5	55,87	0,0672	-
6	493,0	28,3	56,37	0,0648	-
9	501,0	28,1	56,85	0,0626	0,082
12	508,0	27,9	57,58	0,0608	-
15	513,0	27,7	57,98	0,0588	-
18	517,0	27,6	58,36	0,0569	-
21	520,0	27,5	58,72	0,0552	0,072
24	524,0	27,4	59,31	0,0538	-
27	528,0	27,3	59,62	0,0522	-
30	530,0	27,2	59,92	0,0508	0,062

Tabela 12: Dados experimentais da água produzida 12

t (min)	σ (mS/cm)	T (°C)	[Sal] g/L	[TOG (g/L)	ABS %
0	476	28,8	55,00	0,0294	0,027
3	496	28,4	55,87	0,0285	-
6	507	28,1	56,37	0,0275	-
9	512	28,0	56,85	0,0265	0,037
12	516	27,8	57,58	0,0258	-
15	520	27,7	57,98	0,0249	-
18	524	27,6	58,36	0,0241	-

21	526	27,4	58,72	0,0234	0,031
24	532	27,3	59,31	0,0228	-
27	535	27,2	59,62	0,0221	-
30	538	27,1	59,92	0,0215	0,027