



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

**MARIA KAROLINA BORBA CARDOSO**

**AVALIAÇÃO DO IDS DE ÁGUAS EM SISTEMAS DE PRETRATAMENTO DE  
MEMBRANAS CERÂMICAS PARA OSMOSE INVERSA**

**CAMPINA GRANDE**

**2017**

**MARIA KAROLINA BORBA CARDOSO**

**AVALIAÇÃO DO IDS DE ÁGUAS EM SISTEMAS DE PRETRATAMENTO DE  
MEMBRANAS CERÂMICAS PARA OSMOSE INVERSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de graduação em Químico Industrial.

Orientadora: Prof. Dra. Márcia Izabel Cirne França

**CAMPINA GRANDE**

**2017**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C268a Cardoso, Maria Karolina Borba.  
Avaliação do IDS de águas em sistemas de pré-tratamento de membranas cerâmicas para osmose inversa [manuscrito] : / Maria Karolina Borba Cardoso. - 2017.  
29 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.

"Orientação : Profa. Dra. Márcia Izabel Cime França , Departamento de Química - CCT."

1. Índice de densidade de sedimentos - IDS . 2. Sistema híbrido. 3. Osmose inversa. 4. Membrana cerâmica.

21. ed. CDD 660

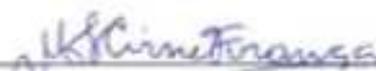
MARIA KAROLINA BORBA CARDOSO

**AVALIACÃO DO IDS DE ÁGUAS EM SISTEMAS DE PRETRATAMENTO DE  
MEMBRANAS CERÂMICAS PARA OSMOSE INVERSA**

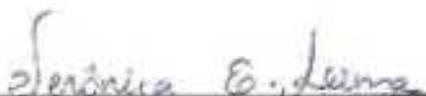
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao departamento de  
Química da Universidade Estadual  
da Paraíba como requisito parcial  
para obtenção do título de graduação  
em Química Industrial.

Aprovada em: 11/12/2017.

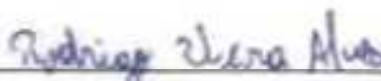
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dra. Márcia Izabel Cime França  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Verônica Evangelista de Lima  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Dr. Rodrigo Vieira Alves

Pesquisador do Laboratório de Referência em Dessalinização (UFCG)

Á Deus, aos meus pais Florisberto Cardoso,  
Janeide Borba e ao meu irmão Matheus  
Cardoso, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por sempre iluminar os meus caminhos, dando sabedoria, paciência e força para percorrê-los.

Aos meus pais, Florisberto Cardoso e Janeide Borba Cardoso, que por meio da simplicidade ensinaram-me a ir atrás dos meus sonhos e me dando forças para enfrentar todos os obstáculos, ao meu irmão Matheus Borba Cardoso. Ao meu namorado Daniel Galdino Cordeiro pelo convívio compartilhado, por entender todas as vezes que fiquei ausente, sempre me apoiando em qualquer escolha.

Aos meus avós, em especial a minha avó Maria Zuleide Borba Taveira, na qual sempre acreditou no meu potencial, aos meus tios, tias, primos, primas. A Ângela Alexandrino Borba Cardoso, Paula Lígia Cardoso Aguiar, Mônica Borba, Monaliza Borba, Werisson Nathan, Carla Arruda e Rodrigo Cardoso por com quem podiam compartilhar os meus sonhos.

À equipe do LABDES pela ajuda, apoio e compreensão durante os experimentos.

Ao EJC, em especial a minha família Filhos do Madeiro pelas palavras de apoio.

Aos amigos do curso que compartilhamos de um mesmo sonho, por passarmos pelas mesmas dificuldades, pelo companheirismo.

Aos meus professores que me passaram conhecimento necessário para ser uma boa Química, em especial a minha orientadora Márcia Cirne, pela oportunidade de ter um projeto de pesquisa e por sua paciência. Ao Professor Kepler Borges Franca por disponibilizar um local de pesquisa para que esse artigo fosse desenvolvido.

Meu agradecimento a todos que ao longo da graduação passaram pela minha vida.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do PSM .....	13
Figura 2 - Tubo (A), Osmose (B) e Osmose Inversa (C) .....	12
Figura 3 - Sistema de pretratamento.....	18
Figura 4 - Sistema Experimental .....	19
Figura 5 - Sistema de Osmose Inversa .....	17
Figura 6 - Sistema de análise do SDI (A) e coleta do volume para os cálculos (B).....	20
Figura 7 - Sistema de Ultrassom.....	21
Figura 8 - Variação da vazão versus tempo para T1 e T2 após a passagem das membranas...22	
Figura 9 - Variação da turbidez versus tempo para T1 e T2, no pretratamento. ....	23
Figura 10 - Variação da turbidez versus tempo para T1 e T2, no sistema de OI. ....	24
Figura 11 - Variação da cor com o tempo. ....	22
Figura 12 - Variação da condutividade e cor versus tempo no pretratamento. ....	25
Figura 13 - Variação da condutividade e cor versus tempo no sistema de OI .....	26
Figura 14 - Membranas do IDS para T1.....	26
Figura 15 Membranas do IDS para T2 .....	24

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Água .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Morfologia das membranas .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Membrana cerâmica.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Osmose inversa .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 Índice de densidade de sedimentos.....</b>	<b>16</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Local do trabalho.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Procedimentos experimentais .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 Análises químicas.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4 Limpeza química (membrana cerâmica) .....</b>	<b>21</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>22</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>28</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>29</b>

# AVALIACÃO DO IDS DE ÁGUAS EM SISTEMAS DE PRETRATAMENTO DE MEMBRANAS CERÂMICAS PARA OSMOSE INVERSA

Maria Karolina Borba Cardoso\*

## RESUMO

Neste trabalho, realizou-se um estudo com um sistema híbrido visando avaliar a remoção de cor, turbidez e avaliar o Índice de densidade de sedimentos considerando membranas cerâmicas como pré-tratamento de um sistema de osmose inversa utilizando água (água do abastecimento Público de Campina Grande e bentonita). As membranas cerâmicas foram fabricadas no Laboratório de Referência em Dessalinização – LABDES da Universidade Federal de Campina Grande a partir de materiais cerâmicos regionais. Foram realizadas análises físico-químicas, determinou-se pH, turbidez, condutividade e cor, e o índice de densidade de sedimentos. Os resultados mostram que o IDS foi de 4,62 para o tratamento 1 (T1) e 4,94 tratamento 2 (T2), no qual encontra-se fora da faixa aceitável, que é de 3 para a água de alimentação e menor que 1 para a água após passar pelo sistema de osmose inversa (AMJAD,1992), estes valores foram justificados por estes experimentos serem realizados com uma bomba procon, por ser feita de grafite, ocorre o atrito da mesma assim liberando e alterando os dados dos índices.

**Palavras-Chave:** IDS, Membrana Cerâmica, Osmose Inversa.

---

\* Aluno de Graduação em Química Industrial na Universidade Estadual da Paraíba – Campus I.  
Email: [mariakarolinac@hotmail.com](mailto:mariakarolinac@hotmail.com)

## 1. INTRODUÇÃO

Os principais motivos no avanço da tecnologia de membranas na separação dos diversos tipos de materiais estão relacionados ao fato de que trabalham sem a adição de agentes químicos, com baixo consumo de energia, facilidade de processamento e arranjos físicos compactos (LENNTECH). As membranas em geral são amplamente empregadas em diferentes processos de separação, tais como, tratamento de rejeitos industriais, processamento de alimentos, dessalinização de águas, processos biomédicos, têxteis e químicos (CHAVES, 2013).

Os processos de separação por membranas são favorecidos por: a simplicidade de operação, a facilidade de ampliação de escala, a possibilidade de operação em sistema contínuo ou em batelada, o pequeno espaço físico ocupado e a possibilidade de combinação com outros processos clássicos de separação (VARGAS, 2003).

O processo de osmose inversa (OI) é usado para remover da água uma abrangente quantidade de sais, tornando a água de elevada pureza, é um procedimento que precisa de uma pressão mecânica superior a pressão osmótica aplicada sobre a solução mais concentrada. Devido a aplicação da pressão as moléculas de água passam pela membrana semipermeável resultando em duas partes: permeado e rejeito.

No pré-tratamento, há dois parâmetros que devem ser medidos, monitorados ou controlados, porque eles influenciam diretamente o desempenho da OI. Um parâmetro é o potencial de incrustação de cálcio, que envolve cálculos para determinar o grau de saturação do carbonato de cálcio ou o sulfato de cálcio através do Índice de Saturação de Langelier (ISL). O segundo parâmetro é o Índice de Densidade de Sedimentos (IDS), que envolve também, caracterizar o potencial de incrustação da água de alimentação (MINDLER e EPSTEIN, 1986).

A utilização de um sistema de pré-tratamento em um processo de OI tem como objetivo reduzir o potencial de incrustação na água de alimentação, pela remoção de partículas micropoluentes e microrganismos, bem como a prevenção da formação de incrustante inorgânico, melhorando assim a qualidade da água de alimentação para um nível que resultará numa maior segurança de operação para os sistemas de OI (DUDLEY e DARTON, 1997). Os processos utilizando sistema de osmose apresentam fatores limitantes que prejudicam seu desempenho, o principal é o fouling, que basicamente, consiste no acúmulo de contaminantes na superfície ou dentro dos poros da membrana, diminuindo o

fluxo permeado através desta (METCALF & EDDY, 2006). O valor ideal do IDS após passar pelo sistema de osmose inversa deve ser ( $<1$ ).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho consiste em estudar o desempenho de membranas cerâmicas como pré-tratamento de um sistema de osmose inversa em função da avaliação do IDS, visando observar o comportamento do sistema membrana cerâmica/osmose inversa como alternativa para a redução dos parâmetros físico-químicos, tais como, cor, pH, condutividade elétrica e turbidez.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Água**

A água é um recurso natural fundamental à vida, desenvolvimento econômico e ao bem estar social, possuindo uma infinidade de usos, dos mais simples aos mais complexos. Apesar de ser um bem público, vem se tornando pouco a pouco um recurso escasso que precisa ser cuidado com muito discernimento (NETO, 2006). Sabe-se que do volume total da água do planeta, a presença de água salgada, nos oceanos e mares, corresponde a 97,5% e a de água doce, em rios, lagos, geleiras e subsolo, corresponde apenas 2,5%. Desta pequena quantidade de água doce, 68,9% encontra-se em geleiras e coberturas permanentes de neve, 29,9% é relacionado à água doce subterrânea e 0,3% são das águas dos rios e lagos (ALMEIDA,2010).

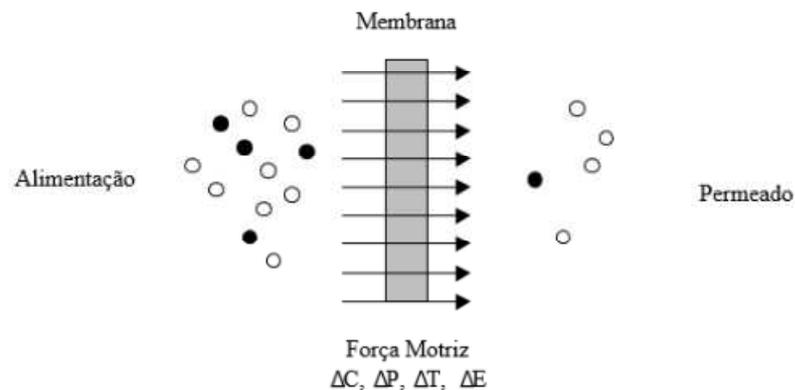
### **2.2 Morfologia das membranas**

Segundo CHERYAN, 1996, a filtração é a separação de dois ou mais componentes de uma corrente fluida, no qual os componentes são partículas sólidas. Os processos por separação de membranas (PSM) ampliam esta definição de filtração convencional para separações onde os solutos estão dissolvidos em corrente líquida e para separação de mistura de gases (VARGAS 2003).

O PSM destaca-se por ser um processo no qual possui baixo consumo energético, de fácil operação, pode ser um sistema contínuo ou em batelada, ocupa pequeno espaço físico, pode ser aplicado como pré-tratamento de outros processos de separação.

O que distingue o processo de separação de membranas de outras técnicas de separação é a utilização de barreira, a membrana. Esta fase, sólida, líquida ou gasosa, introduz uma interface entre o volume das duas fases envolvidas na separação e pode originar vantagens de eficiência e seletividade, na Figura 1 apresenta-se uma representação do PSM.

Figura 1 Representação do PSM



Fonte: MULDER, 1996

A membrana ideal deve apresentar algumas características como resistência à formação de incrustações (fouling) tanto coloidais como de matérias em suspensão, alta rejeição de sais, alta taxa de fluxo de água, baixo custo, mecanicamente resistente, quimicamente estável, resistentes a altas temperaturas, permeabilidade a gases e líquidos, capacidade seletiva. A morfologia da membrana e a natureza do material que a constitui são algumas das características que vão definir o tipo de aplicação e a eficiência na separação (HABERT et. al., 2006).

Os materiais empregados na síntese das membranas são de dois tipos, orgânicos e inorgânicos. As membranas orgânicas (líquidos de substâncias orgânicas ou poliméricas) apresentam como vantagens a facilidade de formação de um filme fino, permitindo a obtenção de altas taxas de permeação e baixo custo comparado às membranas inorgânicas, tendo como limitações uma baixa seletividade, instabilidade e altas temperaturas, dilatação e decomposição em solventes (ANADÃO, 2010).

As membranas inorgânicas (metais e materiais cerâmicos) possuem uma vida útil maior por causa da sua elevada resistência química e térmica, e toleram regimes agressivos de limpeza. Suas limitações são alto custo por causa da sua produção, pouca resistência

mecânica, caracterizada pela fragilidade do material e restringe-se a aplicabilidade em larga escala (ANADÃO, 2010).

### 2.3 Membrana cerâmica

A maioria das cerâmicas consiste em compostos que são formados entre elementos metálicos e elementos não-metálicos, para os quais as ligações inter atômicas ou são totalmente iônicas ou predominantes iônicas com alguma natureza covalente. O termo “cerâmica” vem da palavra grega *keramikos*, que significa “matéria-prima queimada”, indicando que as propriedades desejáveis desses materiais são normalmente atingidas através de um processo de tratamento térmico a alta temperatura conhecida por ignição (CALLISTER, 2008). Para produção das membranas cerâmicas foram utilizadas as seguintes matérias-primas: argila ball clay, proveniente de Alhandra, PB, (44%), caulim, proveniente do Junco do Seridó, PB, (21%), e chamote, obtido após calcinação da argila ball clay a 1300 °C, (35%) (SILVA, 2013).

As membranas inorgânicas apresentam grande potencial por solucionarem dificuldades de aplicação relacionadas a outros tipos de membrana, como as poliméricas, especialmente devido à integridade estrutural quando submetidas a condições drásticas como temperatura, pressão, natureza ou pH do meio. Entre as vantagens deste tipo de membrana podemos citar alta estabilidade térmica, estabilidade mecânica sob gradientes de pressão, estabilidade química considerável (especialmente em solventes orgânicos), durabilidade e atividade eletroquímica facilmente realizável, ainda com controle adequado da distribuição do tamanho e dimensão de poros (SANTOS, 1999). Estas vantagens podem incentivar a aplicação de separações por membranas e impelir o seu desenvolvimento em processos de purificação e esterilização nas indústrias farmacêutica e alimentícia em geral, tratamento de água para uso industrial ou urbano e tratamento de efluentes industriais ou urbanos (JULBE et al., 2001).

Apesar das qualidades e das diversas aplicações das membranas cerâmicas que já se conhece, as membranas cerâmicas apresentam diversas desvantagens, por exemplo no alto custo de fabricação, devido ao transporte e ao custo das matérias-primas que são importadas e sintéticas do tipo: zircônia, alumina, titânia e sílica (SILVA, 2009).

A região nordeste do Brasil possui grandes reservas de matérias-primas naturais que apresentam composição química adequada à produção de cerâmicas, podendo minimizar os custos de produção de membranas cerâmicas. A utilização dessas matérias-primas naturais e

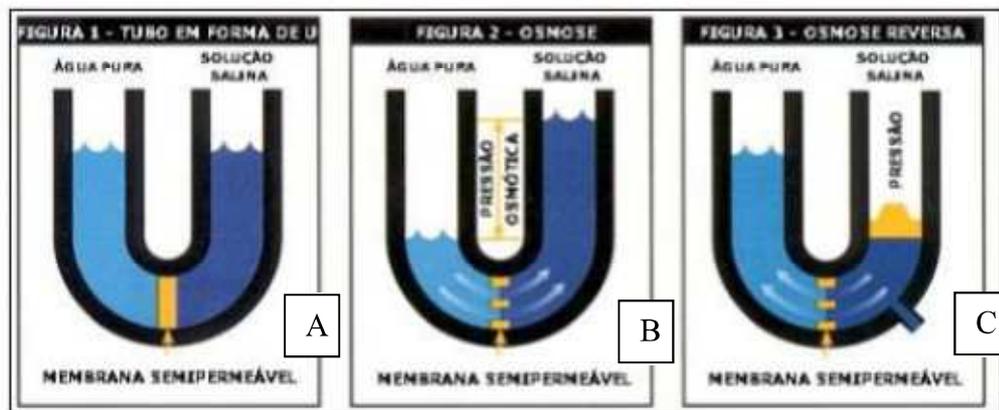
sua transformação em produtos que possam ser comercializados ou que se mostrem economicamente viáveis, se apresentam como uma opção inovadora para as indústrias. Estes minérios possuem potencial de aplicação na obtenção de membranas cerâmicas, podendo ser submetidos ou não a um beneficiamento visando alterar suas características físicas. A utilização de membranas cerâmicas tem aumentado nas últimas décadas e vem se transformado numa importante técnica de separação (SILVA 2009).

Segundo SILVA, 2011 a agregação do LABCEM com o do Laboratório de Referência em Dessalinização ambos da UFCG buscam contribuir na área de concentração fazendo uso as membranas cerâmicas, utilizando matérias-primas regionais, sendo sintetizadas em diferentes temperaturas com a finalidade de observar suas aplicabilidades em microfiltração, usando minerais de baixo custo, assim diminuindo o custo de produção.

## 2.4 Osmose inversa

Osmose inversa é o processo de separação da água dos sais minerais. Esta se constitui de duas soluções, uma com concentração maior de sais em relação à outra concentração, diferentemente da osmose natural, a solução mais concentrada tende a ir para solução menos concentrada. Isso acontece devido a uma pressão mecânica superior a pressão osmótica aplicada sobre a solução mais concentrada. Devido a pressão aplicada, as moléculas de água passam pela membrana semipermeável separando a solução em duas partes distintas: permeado e rejeito, este último percorre a membrana sem atravessá-la para formar o que deve ser desprezado, já o permeado é a parte da solução que atravessa a membrana contendo alto grau de pureza. O processo de tratamento remove grande parte dos componentes orgânicos e até 99% dos sais dissolvidos. O diagrama esquemático do processo de Osmose inversa é mostrado na Figura 2 (DUARTE et al., 2012):

Figura 2 Tubo (A), Osmose (B) e Osmose Inversa (C)



Fonte: DUARTE et al., 2012.

## 2.5 Índice de densidade de sedimentos

A tendência da água de alimentação de boquear membranas é um dos parâmetros de projeto mais importantes em sistemas de membrana. Essa tendência pode ser avaliada em testes específicos de determinação de índices de incrustação. Os índices mais utilizados são o Índice de Densidade de Sedimentos (IDS) ou Índice de Fouling na Membrana (IFM). Os dois são medidos com o mesmo tipo de equipamento, variando apenas a coleta de dados e a sua interpretação (TAYLOR & JACOBS, 1996).

A determinação do IDS é essencial em todos os projetos de membranas, mas assume importância especial em sistemas de nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI). Águas com índices excessivos de Fouling podem causar o bloqueio irreversível de módulos espirais, e devem ser submetidas a algum tipo de pré-tratamento que produza um efluente com características adequadas, para processamento por membranas (SHNEIDER & TSUTIYA, 2001).

O IDS é calculado a partir de três intervalos de tempo: o primeiro intervalo ( $t_i$ ) é o tempo necessário para a coleta dos primeiros 500 mL de permeado, o segundo intervalo de tempo ( $t_t$ ) varia de 5, 10 ou 15 minutos, o qual é intervalo de tempo entre o término da coleta dos primeiros 500 mL de permeado e o início da coleta dos segundos 500 mL de permeado. O terceiro intervalo ( $t_f$ ) é o tempo necessário para a coleta dos últimos 500 mL de permeado. O tempo padrão para o  $t_t$  é 15 minutos. O IDS é determinado através da Equação (TAYLOR & JACOBS 1996):

$$IDS = \frac{100 \left[ 1 - \left( \frac{t_i}{t_f} \right) \right]}{t_t} \quad (1)$$

Onde:

$t_i$  = tempo do primeiro intervalo (min)

$t_t$  = tempo do segundo intervalo (min)

$t_f$  = tempo do terceiro intervalo (min)

A ASTM (Sociedade Americana de Testes) estabeleceu um protocolo padrão para medir o IDS. Do ponto de vista prático e dos fabricantes de membranas especificações o IDS de fibra fina de alimentação OI de preferência deve ser inferior a 3, pois águas com índices maiores pode levar a danos irreversíveis e após passar pelo sistema de OI deve ser menor que 1 (van der Meer & WESSLING et. al, 2012).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Local do trabalho

No presente trabalho as amostras foram coletadas do abastecimento de Campina Grande, no qual as atividades desenvolvidas ocorreram no Laboratório de Referência de Dessalinização – LABDES, da Unidade Acadêmica de Engenharia Química, localizado na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em parceria com o Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

As membranas cerâmicas utilizadas no decorrer deste trabalho foram produzidas no LABDES compostas por matérias-primas regionais, tais como: argila ball clay, proveniente de Alhandra, PB, (44%), caulim, proveniente do Junco do Seridó, PB, (21%), e chamote, obtido após calcinação da argila ball clay a 1300 °C, (35%), (FRANCA et al).

#### 3.2 Procedimentos experimentais

Os experimentos foram realizados em bateladas por circulação contínua, com duração de 50 minutos em temperatura ambiente, com pressão de 1 bar.

O sistema foi manuseado com água do abastecimento de Campina Grande acrescentado com bentonita de 0,05g/L e 0,10g/L para 100L de água, como pode ser visto na Tabela 1, objetivando simular águas com elevadas cores, turbidez, condutividade. Na Figura 3 observa-se o sistema de membrana cerâmica que foi utilizado como pré-tratamento para o sistema de osmose inversa, constituído por uma bobona (capacidade de 240L, no experimento utilizou-se 100L), uma bomba de ½ - HP na qual é encarregado de bombear a água em estudo para duas membranas em paralelo (com diâmetros de 2cm).

Tabela 1 Nomeação dos experimentos

TRATAMENTO	MASSA DE BENTONITA	CONCENTRAÇÃO
T1	5 g	0,05 g/L
T2	10g	0,10 g/L

Figura 3 Sistema de pré-tratamento



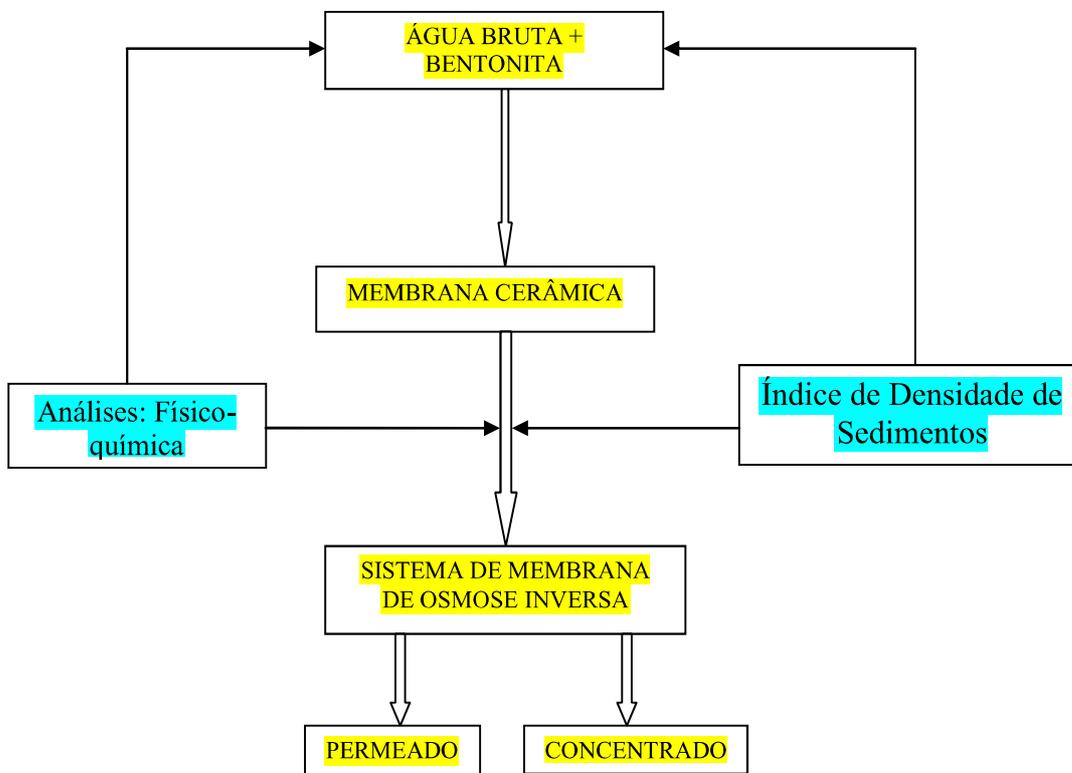
Fonte: Própria, 2017.

Na Figura 4 apresenta-se o fluxograma do processo, com as etapas básicas do tratamento de água utilizando um sistema membrana cerâmica/osmose inversa. Na primeira etapa as análises físico-químicas foram realizadas após o sistema de pré-tratamento, utilizando uma membrana cerâmica ( $<1\mu\text{m}$ ) encapsulada em tudo de PV inicialmente será realizado o tratamento 1 posteriormente o tratamento 2. No qual de cinco em cinco minutos realizou-se

coletas de 500mL para a avaliação dos parâmetros físico-químicas: cor, pH, turbidez e condutividade elétrica e dos parâmetros de medida: vazão, pressão. O IDS foi realizado na água de alimentação e após passagem nas membranas cerâmicas.

Na segunda etapa o sistema de osmose inversa opera com águas do T1 depois do T2, estudando-se os perfis de condutividade elétrica, pH. A Figura 5 apresenta o sistema de Osmose Inversa utilizado, composto por 4 elementos de membranas em série do tipo Filmtec BW30-2540.

Figura 4 – Fluxograma do sistema.



Fonte: Própria, 2017.

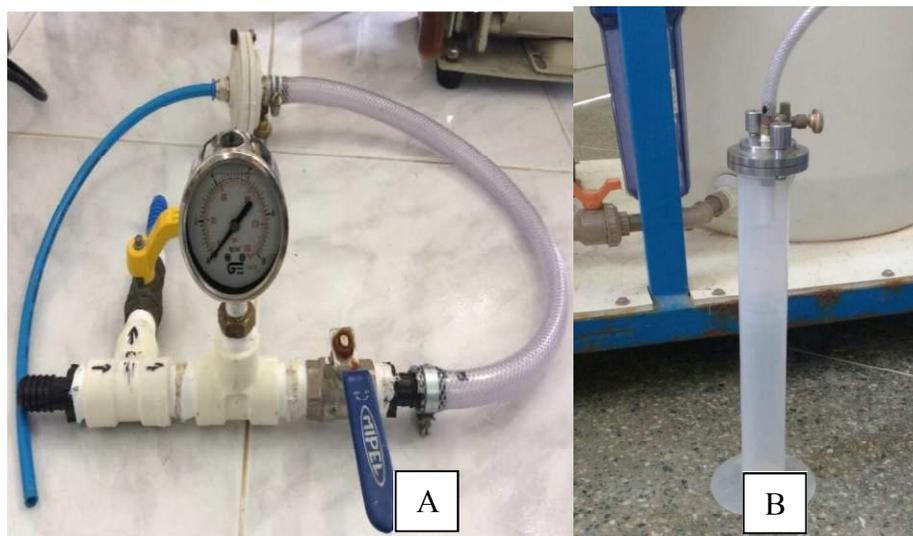
Figura 5 Sistema de Osmose Inversa



Fonte: Própria, 2017.

Iniciando o experimento, a água acondicionada na bombona é inserida no sistema por meio da bomba de pressão, ajusta-se a pressão por meio de uma válvula localizada antes das membranas. As amostras foram coletadas após a passagem pelas membranas de cinco em cinco minutos tanto para realizar as análises físico-química como para realizar a análise de IDS (Índice de Densidade de Sedimentos) com o equipamento observado na Figura 6 (A) e as medições das vazões com proveta de 500mL, Figura 6 (B).

Figura 6 Sistema de análise do SDI (A) e coleta do volume para os cálculos (B).



Fonte: Própria, 2017.

### 3.3 Análises químicas

Os parâmetros físico-químicas analisados foram: cor (mg Pt-Co/L), turbidez (uT), condutividade elétrica (uS/cm), potencial hidrogeniônico (pH) e vazões em todas as amostras coletadas. As análises foram realizadas de acordo com a metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Os resultados obtidos foram avaliados segundo a Portaria n 2914/2011 do Ministério da Saúde.

### 3.4 Limpeza química (membrana cerâmica)

A limpeza das membranas cerâmicas foi realizada deixando-as mergulhadas a solução de ácido clorídrico pH 3 no ultrassom por meia hora, em uma segunda etapa as membranas foram novamente colocadas no ultrassom por quinze minutos mergulhadas em água deionizada. Na qual a mesma foi submetida á uma corrente de ar comprimido com a finalidade de desobstruir os poros da membrana em função da diminuição dos fluxos de água permeada (MARQUES et al, 2016). A Figura 6 ilustra o sistema de ultrassom.

Figura 7 Sistema de Ultrassom



Fonte: Própria, 2017.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizou-se experimentos com a solução de água tratada acrescida de bentonita com pressão de alimentação de 1bar. As soluções foram preparadas usando uma massa de bentonita de 5g e 10g para 100L de água do abastecimento público de Campina Grande. No decorrer da batelada foram realizadas coletas de cinco em cinco minutos após a passagem das membranas cerâmicas e do sistema de osmose inversa para realizar análises físico-químicas e do IDS. As análises físico-químicos da água de alimentação para os experimentos T1 e T2 apresentam-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos da água de alimentação.

<b>Experimento</b>	<b>COR (uH)</b>	<b>TURBIDEZ (uT)</b>	<b>K(<math>\mu</math>s/cm)</b>	<b>pH</b>
T1	7	8,55	842,5	7,92
T2	15	16,7	760,0	7,77

As figuras 8 e 9 apresentam a variação da vazão volumétrica em função dos tempos coletadas após a passagem das duas membranas cerâmicas em série e do sistema de osmose inversa, respectivamente.

Figura 8 Variação da vazão versus tempo para T1 e T2 após a passagem das membranas.

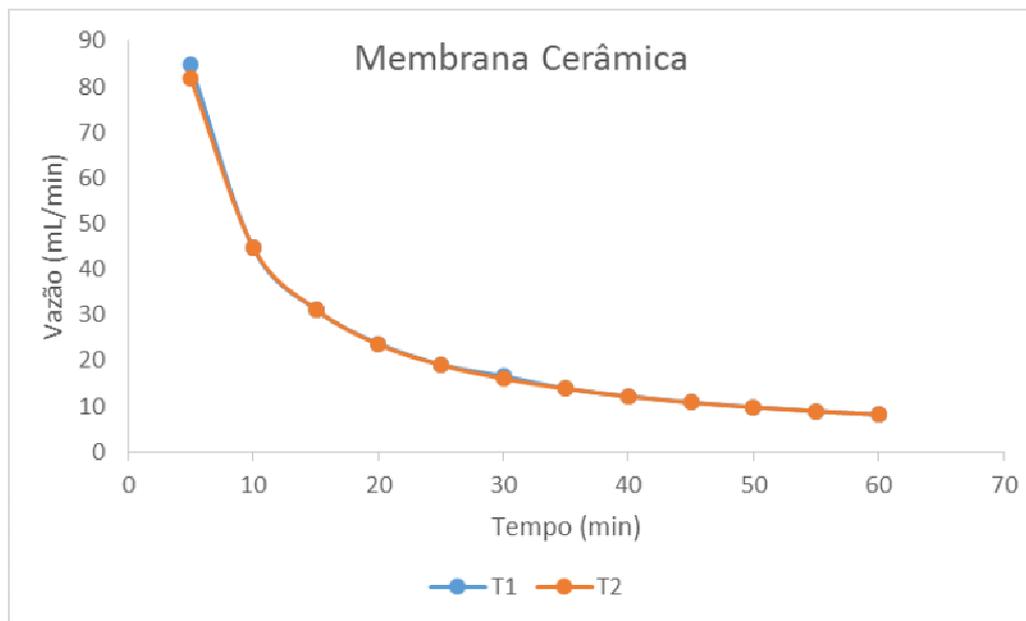
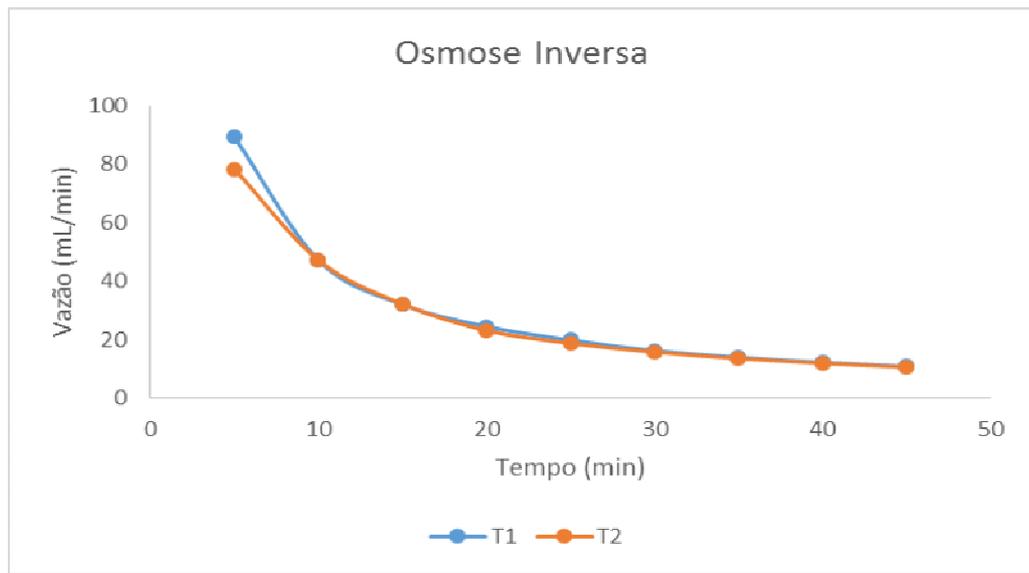


Figura 9 Variação da vazão versus tempo para T1 e T2 após a passagem do sistema de OI.



Nos primeiros quinze minutos observou-se que a vazão reduziu 50%, tanto para o sistema de pré-tratamento como para o sistema de osmose reversa. Como as impurezas ficam retidas no interior das membranas, ocorrem os entupimentos das mesmas fazendo com que a vazão diminua com o tempo, é um fator importante, no qual deve-se sempre realizar limpezas químicas das membranas. Na Figura 8 comparando os experimentos T1 e T2 observou semelhança entre as vazões, já na Figura 9 nos primeiros dez minutos ocorreu uma diferença na vazão, dada por no experimento T2 a água encontra-se com uma maior massa de bentonita, assim diminuindo a vazão calculada.

As figuras 10 e 11 apresentam a variação da turbidez com o tempo, coletadas após as duas membranas cerâmicas em paralelo e o sistema de osmose inversa.

Na Figura 10 observa-se uma diminuição da turbidez ao longo do tempo, para os dois tratamentos. Em função do tamanho de poros das membranas cerâmicas, que se encontra na faixa de microfiltração, percebeu-se que houve retenção de partículas pela membrana favorecendo na diminuição da turbidez.

Um outro ponto importante é que o sistema atua com reciclo, assim cada vez que a água passa pelo sistema e retorna à alimentação, deixa-a mais diluída, assim não teremos uma água com parâmetros físico-químicos constantes.

Figura 10 - Variação da turbidez versus tempo para T1 e T2, após o pretratamento.

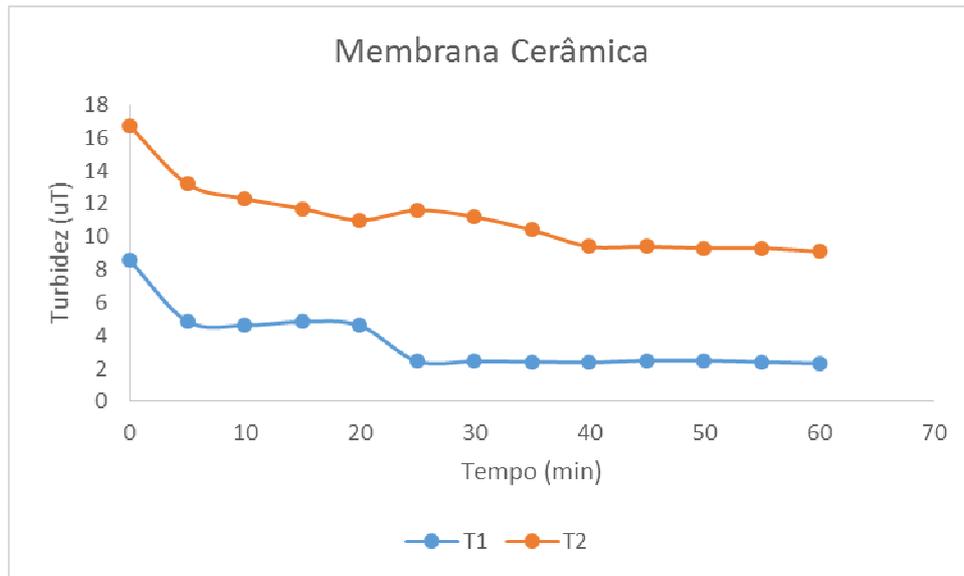
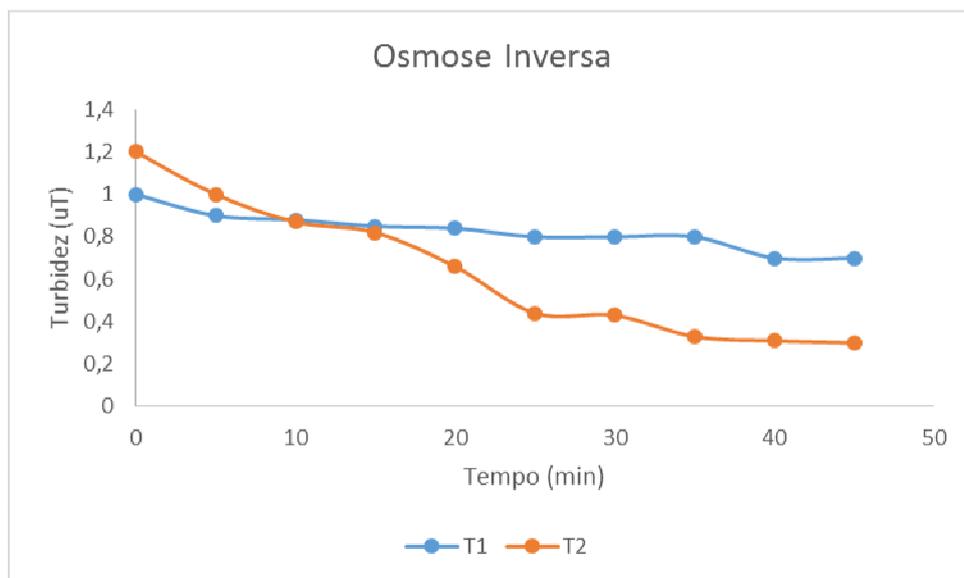


Figura 9 - Variação da turbidez versus tempo para T1 e T2, após o sistema de OI.

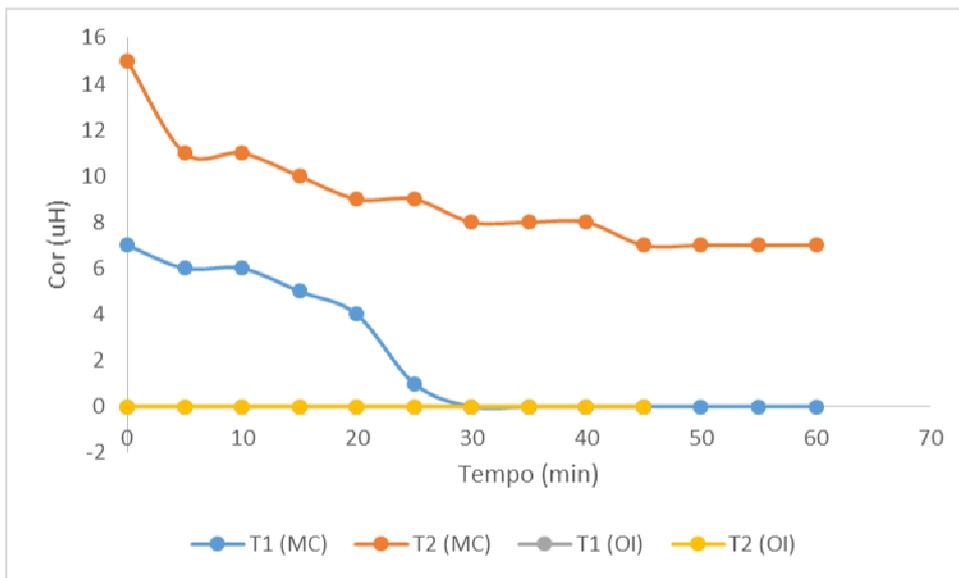


Para o T1 na Figura 10 o valor de turbidez é abaixo do permissível pela Portaria do Ministério da Saúde que é de 5 NTU, evidenciando a eficiência do pré-tratamento, a partir dos trinta minutos a turbidez mostra-se constante, ocorre uma remoção de 50,10% após os trinta minutos de batelada, assim a água não chegará ao sistema de osmose inversa com uma cor e turbidez elevada evitando maiores entupimentos.

Houve uma maior remoção da turbidez no tratamento 1 do que no tratamento 2, evidenciando o que a Portaria 2914/2011 relata, que para águas que sofrem um tratamento completo deve-se ser menor que 1 NTU, comprovando a eficiência do sistema de OI.

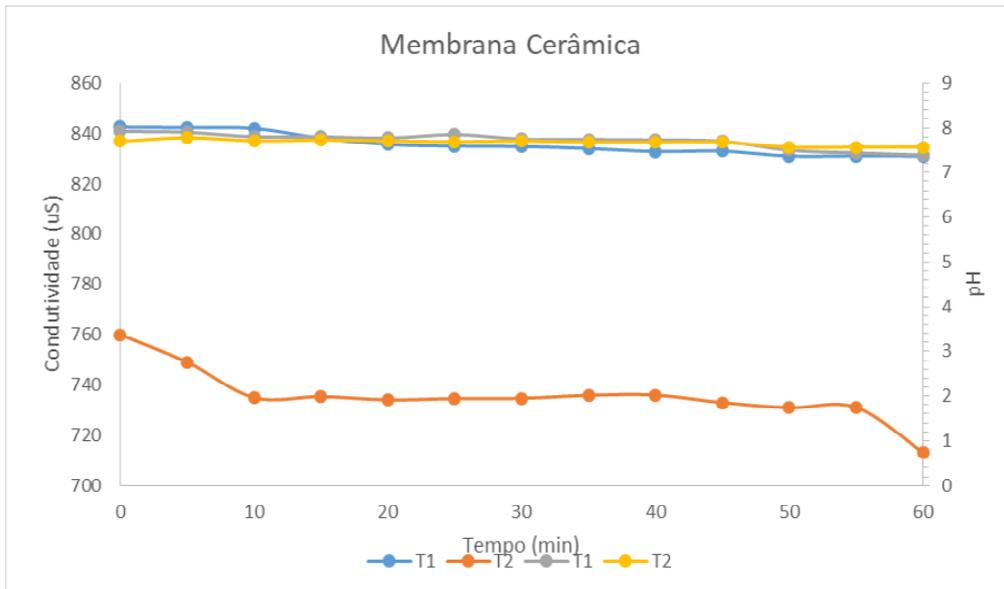
Na Figura 12 tem-se a variação da cor com o tempo, percebe-se que no T1 (MC) após trinta minutos removeu 100% mostrando a eficiência do pré-tratamento. Para T2 (MC) por ser uma água de elevada massa de bentonita, apenas removeu 36,37% da cor. Para a saída do sistema de OI a cor permaneceu constante, para os dois tratamentos e foi removida totalmente.

Figura 10 Variação da cor com o tempo.



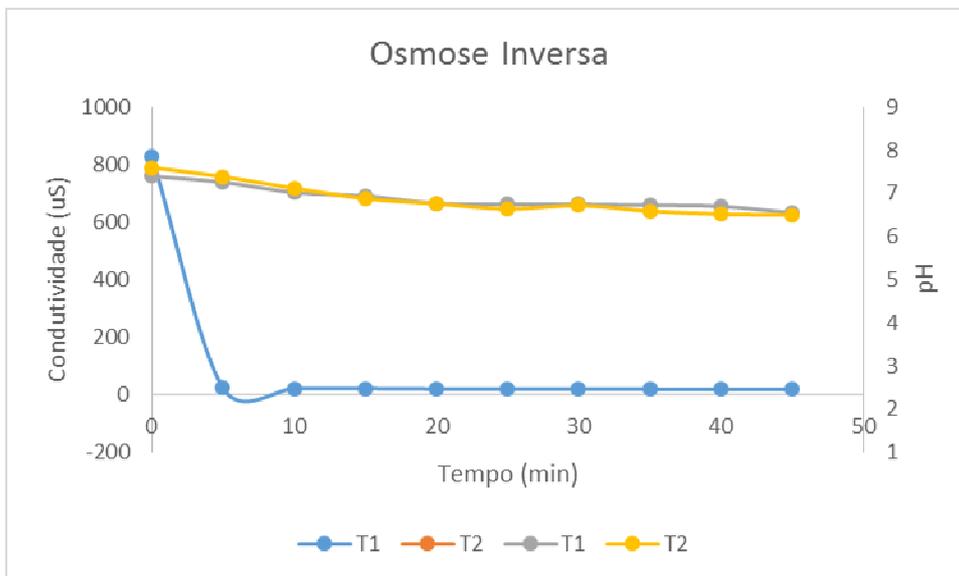
A variação da condutividade e pH versus tempo para o pré-tratamento é apresentado na Figura 13, pode-se observar que ocorreu uma pequena variação do pH e condutividade, ou seja, como a porosidade das membranas são 0,80 á 0,90  $\mu\text{m}$  a mesma encontra-se na faixa de microfiltração, deste modo possibilitando a passagem dos íons e conseqüentemente mantem-se a condutividade elétrica do meio praticamente sem variações significativas.

Figura 113 - Variação da condutividade e pH versus tempo após o pretratamento.



NA Figura 14 apresenta-se a variação de condutividade e cor após o sistema de osmose inversa. Nos primeiros cinco minutos ocorreu uma grande remoção de sais, comprovando a eficiência do sistema de OI, com a diminuição da condutividade ocorre uma redução do pH comprovando a retirada dos íons.

Figura 124 - Variação da condutividade e cor versus tempo no sistema de OI



Para analisar o Índice de Densidade de Sedimentos foram realizados três pontos de coletas: na água de alimentação, após passar pelas duas membranas cerâmicas em série e após

passar pelo sistema de OI. As membranas usadas para o cálculo do IDS são compostas de nitrocelulose e possuem 0,45nm de porosidade. Para T1 os respectivos índices são de 5,82; 5,72 e 4,62, já para T2 tem-se, 6,02; 5,94 e 4,94, se encontrando fora da faixa de valores aceitáveis descrita pela literatura que é de 3,0 a 5,0 (AMJAD, 1992).

Observa-se diferentes colorações nas membranas nas Figuras 15 e 16, na direita tem-se a membrana não utilizada, na segunda foi realizado o experimento com água de alimentação, na terceira após passar pelas duas membranas cerâmicas e a quarta após o sistema de OI.

Figura 15 - Membranas do IDS para T1

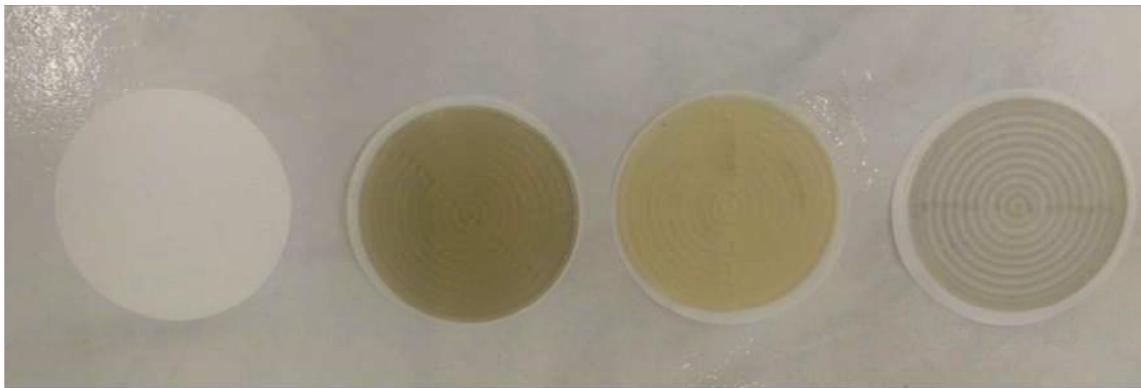
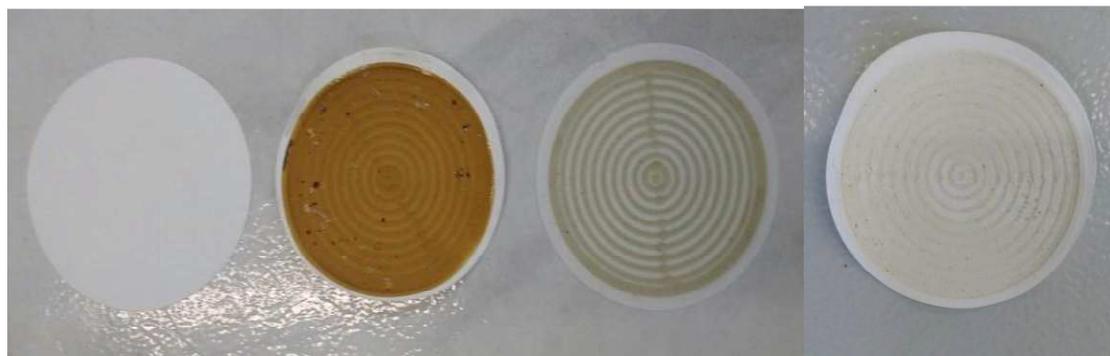


Figura 136 - Membranas do IDS para T2



O índice de densidade de sedimento é importante pelo fato de indicar se a água utilizada precisa de um pré-tratamento. Ao observar os dados abordados acima, conclui-se que a água precisava de um pré-tratamento, mas não era esperado, que mesmo com um pré-tratamento e após a passagem pelo sistema de osmose inversa, o IDS que deveria ser abaixo de um, resulta-se em valores tão altos como os encontrados.

Porém, analisando-se detalhadamente o sistema usado para medição do IDS, observou-se que o mesmo opera com uma bomba procon, e esta estava liberando uma certa

quantidade de grafite para o meio aquoso, alterando, assim, o resultado do IDS. Entretanto, mesmo com esta bomba, ocorreu uma redução do IDS, comprovando a eficiência do sistema.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Verificou-se que as membranas cerâmicas apresentou grande importância para fins de pré-tratamento da água, demonstrando a eficiência do sistema em remoção de cor e turbidez, para os experimentos com 0,5g/L e 0,10g/L de bentonita, T1 e T2.

O sistema de osmose inversa mostrou-se eficaz na remoção da condutividade elétrica e consequentemente na diminuição do pH. Mas ao avaliar o IDS ocorreu apenas uma pequena redução comprovando um bom desempenho do sistema, levando em consideração a bomba procon liberou grafite e deixando os valores dos IDS ainda altos, levando a possibilidade de fazer experimentos com outros tipos de bombas, assim avaliando o desempenho do projeto.

## EVALUATION OF WATER IDS IN CERAMIC MEMBRANE PRETRATING SYSTEMS FOR REVERSE OSMOSIS

### **ABSTRACT**

In this work, a study was carried out with a hybrid system to evaluate the color removal, turbidity and to evaluate the sediment density index considering ceramic membranes as pre-treatment of a reverse osmosis system using water (water from the public supply of Campina Grande and bentonite). The ceramic membranes were manufactured in the Laboratory of Reference in Desalination - LABDES of the Federal University of Campina Grande from regional ceramic materials. Physical-chemical analyzes were performed, pH, turbidity, conductivity and color were determined, and the sediment density index. The results show that the SDI was 4.62 for treatment 1 (T1) and 4.94 treatment 2 (T2), in which it is outside the acceptable range, which is 3 for feed water and less than 1 for water after passing through the reverse osmosis system (AMJAD, 1992), these values were justified by these experiments being carried out with a procon pump, because it is made of graphite, the friction of the same occurs, thus liberating and changing the index data .

**Keywords:** SDI. Ceramic Membrane. Reverse osmosis.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. **Geografia Global 2**. São Paulo: Escala educacional, 1ª ed. 2010.
- ALPHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Associations, Water Pollution Control Federation. Washington, D. C. 20th edition, 1998.
- ANADÃO, P. **Ciência e Tecnologia de Membranas**. São Paulo: Artliber Editora. 2010.
- AMJAD, Z., **Reverse Osmosis – Membrane Technology, Water Chemistry, and Industrial Applications**. Ed. Van Nostrand Reinhold, 1992.
- BRASIL. **Portaria n 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano.
- CALLISTER JR, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 7ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2008.
- CHERYAN, M. Ultrafiltration handbook. Technomic Publishing Inc., p. 1-2, 1996
- DUARTE, J.A; SANTOS. E. S; SILVA D. A. C. **Utilização de osmose reversa para tratamento de águas**. 2012.
- DUDLEY, L. Y. and DARTON, E.G., **Pretreatment procedures to control biogrowth and scale formation in membrane systems**. Desalination, vol. 110, pp. 11-20, 1997.
- EBRAHIM, S., BOU-HAMED, S., ABDEL-JAWAD, M. and BURNEY, N., **Microfiltration system as a pretreatment for RO units technical and economic assessment**. Desalination, vol. 109, pp.165-175, 1997.
- HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NÓBREGA, R. **Processos de separação com membranas. Escola Piloto em Engenharia Química**. COPPE/UFRJ – Programa de Engenharia Química, 2006.
- JULBE, A.; FARRUSSENG, D.; GUIZARD, C. **Porous ceramic membranes for catalytic reactors – overview and new ideas**. Journal of Membrane Science, v. 181, p. 3-20, 2001.

Lenntech, “Water treatment and air purification”, disponível em , acesso em 12/12/2017.

MARSH, N., HOWARD, J., FINLAYSON, F. and RYBAR, S., **SWRO-the largest plant in British waters**. Desalination, vol.125, pp.25-36, 1999.

MARQUES. F. A. R; ALVES. R. V; FRANCA. K. B. **Uso de membrana cerâmica para remoção de cor, turbidez e indicação de microrganismo em águas subterrâneas**. ENGEVISTA. Disponível em: < <http://www.uff.br/engevista/seer/> >. Acesso: 01 de dezembro de 2017.

METCALF & EDDY. **Water Reuse: issues, technologies, and applications**. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

MINDLER, A. B. and EPSTEIN, A. C., **Measurements and control in reverse osmosis desalinations**. Desalination, vol.59, pp. 343-379, 1986.

MULDER, M. **Basic Principle of Membrane Technology**. Kluwer Academic Publishers Group, 1996.

MUELLER, J.; YANVEY, C.; DAVIS, R. H.; **Crossflow microfiltration of oily water**. Journal of Membrane Science, nº129, p. 221-235, USA, 1997.

NETO, V. P. **Avaliação da qualidade da água de represas destinadas ao abastecimento do rebanho na Embrapa pecuária sudeste**. 2006. 40p. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Centro de recursos hídricos e ecologia aplicada, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.

**Osmose Inversa: o que você talvez gostaria de saber**. Disponível em:<revistadasguas.pgr.mpf.gov.br>.Acesso em Out de 2017.

PALACIO, L., BOUZERDI, Y., OUAMMOU, M., et al., **“Ceramic membranes from Moroccan natural clay and phosphate for industrial water treatment”**. Desalination, v. 245, n. 1–3, pp. 501-507, Set. 2009.

SANTOS, L. R. B. dos. **Membranas para ultrafiltração a base de dióxido de estanho preparadas pelo processo sol-gel**. 1999. 217 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 1999.

SCHNEIDER, E. L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado**. 2008. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química/ Desenvolvimento de Processos) – Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2009.

SHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso**. São Paulo: ABES, 1 ed, 2001.

SILVA, W.R; SILVA, M. R; PIRES, T. B. **O uso sustentável e a qualidade da água na produção animal**. 2014.

SILVA, F. A. **Desenvolvimento de membranas cerâmicas tubulares a partir de matérias-primas regionais para processos de microfiltração**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2009.

SILVA, J. I. S.; MELO, J. B.; FRANCA, K. B. **Obtenção de água para fins de análises através e um sistema composto por membranas eletrodialíticas e resinas trocadoras de íons**. In: 1 Congresso do Brasil, 2010, João Pessoa. Anais do 1 Congresso Químico do Brasil, 2010.

TAYLOR, J. S., JACOBS, E.P., **Reverse osmosis and nanofiltration**. In: Joel Mallevalle et al (eds), Water Treatment Membrane Processes, pp. 9.1-9.70. McGraw Hill, New York, 1996.

Van der MEER, W. G. J and WESSLING, M and SCHIPPERS, J.C; SCHURER. R. and KEMPERMAN, A. J. B. and ALHADIDI, A. **Using SDI, SDI+ and MFI to evaluate fouling in a UF/RO desalination pilot plant**. Desalination, vol. 285, pp. 153-162, 2012.

VARGAS, G. M. R. **Investigação de alguns parâmetros operacionais e de rejuvenescimento na performance do processo de osmose reversa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.