

DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA SALOBRA OU DE REUSO POR OSMOSE REVERSA COM ÊNFASE NO ESTUDO DE MEMBRANAS ATRAVÉS DO SOFTWARE WAVE

Ingrid Ferreira Tamasco ¹
Stefany Gracy Barros da Silva¹
Tainá Rafaela da Silva¹
Raphael Ribeiro Cruz Santos²
Universidade São Francisco
Ingrid_tamasco@outlook.com

¹Aluna do Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Bragança

²Professor Orientador, Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Bragança.

RESUMO. Um dos principais problemas mundiais é a escassez da água potável, e pronta para consumo, devido a baixa quantidade de água doce disponível. E a utilização da mesma de forma irracional. Diferente da água doce a água salobra tem uma maior distribuição podendo, assim, ser dessalinizada, e obter a partir desta técnica uma água com grau de pureza exigida e necessária. Para isso, existem tratamentos térmicos ou por membrana, sendo o tratamento abordado na pesquisa; a dessalinização por osmose reversa com estudo da eficiência da membrana BW30- 4040 no meio filtrante. O presente trabalho tem como objetivo mostrar a aplicação do software gratuito “*Water Application Value Engine*” (WAVE) para projetos e plantas de dessalinização, com referência no projeto baseado na literatura, a qual utilizou o software ROSA, simulou com a membrana Vontron -LP-21 4040. Após estudo de membranas semelhantes, onde, à simulação da etapa de filtração por osmose reversa foi realizada, apresentando a praticidade do uso do software, desde sua manipulação, utilização de banco de dados, informações de águas e membranas, e a geração de relatório final de resultados. Em seguida, os resultados simulados foram comparados com dados obtidos na literatura, apresentando resultados satisfatórios, concluindo que a membrana utilizada BW30- 4040 apresenta resultados equivalentes se comparada à membrana Vontron -LP-21 4040 utilizada no estudo de caso da literatura .

PALAVRAS-CHAVES: dessalinização, osmose reversa; simulação WAVE.

ABSTRACT. One of the main problems in the world is the scarcity of drinking water, ready for consumption, due to the low amount of freshwater available. And the use of it irrationally. Unlike fresh water, brackish water has a greater distribution and can, therefore, be desalinated, and from this technique to obtain water with the required and necessary degree of purity. For this, there are thermal or membrane treatments, the treatment being addressed in the research; desalination by reverse osmosis with study of the efficiency of the BW30-4040 membrane in the filter medium. The present work aims to show the application of the free software "Water Application Value Engine" (WAVE) for desalination projects and plants, with reference to the project which used the ROSA software, simulated with the Vontron membrane - LP-21 4040. After studying similar membranes, where the simulation of the reverse osmosis filtration step was performed, presenting the practicality of using the software, from its manipulation, use of a database, information on water and membranes, and the generation of the final results report. Then, the simulated results were compared with data obtained in the literature,

showing satisfactory results, concluding that the membrane used BW30-4040 presents equivalent results compared to the Vontron -LP-21 4040 membrane used in the case study in the literature.

KEY WORDS: Reverse osmosis; Membranes; WAVE.

INTRODUÇÃO

A dessalinização para obtenção de água potável é um método utilizado em regiões com recursos hídricos limitados, garantindo o fornecimento e abastecimento de água reutilizável de boa qualidade. Esse método transforma a água salgada ou salobra em água potável, removendo os sais minerais dissolvidos.

A água é um dos recursos mais abundantes do planeta terra, contudo, cerca de 97% (a maior parte disponível) é água salgada, outros 3% correspondem a quantidade de água doce da terra, onde encontram-se distribuídos nos pólos (na forma de gelo), águas subterrâneas, rios e lagos. Quanto ao total dessa água doce, cerca de 70% estão congelados em geleiras, outros 30% estão em águas subterrâneas profundas de difícil acesso e apenas 0,25% se encontram em rios e lagos. Com a escassez de água potável no mundo, surge a necessidade de pesquisar e desenvolver tecnologias para a obtenção de água potável, o processo de dessalinização de água salobra e salina é uma delas. A dessalinização é definida como um processo físico-químico onde ocorre a separação em grande parte dos sais minerais dissolvidos na água salobra contendo 95 a 98% dos sais minerais presentes, reduzindo o teor de sais e tornando-a potável, pronta para consumo (PENA, 2021).

Com as necessidades e avanço tecnológico foram desenvolvidos procedimentos para a dessalinização de água. Os principais processos utilizados se classificam como térmicos e por membranas. As principais tecnologias de dessalinização com membranas são: osmose reversa (RO, do inglês *reverse osmosis*) e eletrodialise (ED). A nanofiltração (NF) é um método recente na dessalinização, mesmo que remova o sal da água (apenas para baixa concentração de salinidade) geralmente é usada para reduzir a carga de contaminantes no pré-tratamento. As tecnologias utilizadas no grau de contaminação são a microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF), são técnicas utilizadas em centrais de dessalinização, no entanto nas fases de pré-tratamento como unidades de filtração, como também a opção ao pré-tratamento tradicional. Estas tecnologias não removem o sal das águas, uma vez que, os poros das membranas são maiores do que o diâmetro do sal. (BITTENCOURT, 2014).

A escolha da tecnologia é tomada pela característica da fonte de água, energia demandada, custos, frequência do uso da unidade, volume de água a ser gerado, dentre vários fatores. Deste modo, não existe um processo que seja melhor ou mais eficaz que os demais: cada um apresenta vantagens e desvantagens. Embora o Brasil possua cerca de 12% de água doce do mundo, ela não é igualmente distribuída. Regiões com poucos habitantes mostram maiores quantidades de recursos hídricos. Sendo assim, e por causa dos inúmeros problemas de falta de água na região nordeste do país, é necessário desenvolver um processo para obtenção de água potável para consumo.

Os sistemas de dessalinização instalados no Brasil se encontram na região do semiárido, devido aos grandes períodos de seca associado a maior quantidade de reservatórios subterrâneos de água salobra a qual é imprópria para consumo. O aumento do mercado da dessalinização se deve por vários fatores, o alto custo e a escassez de água, o crescimento da economia e da população em lugares que precisam da dessalinização para obtenção de água, o efeito das mudanças climáticas, no qual a água tem disponibilidade escassa, e a diminuição nos preços da

dessalinização, são os motivos que mais levam o aumento das plantas que operam esse processo. (DIAS, 2021).

Com o avanço tecnológico, a necessidade de sistemas e softwares para auxiliar no desenvolvimento do projeto de um processo de tratamento de água na planta química, foi criado o “*Water Application Value Engine*” (WAVE); esse software foi projetado para unir as três tecnologias de purificação da água, a ultrafiltração (UF), osmose reversa (OR) e a troca iônica. No software consegue-se modelos precisos da qualidade de água e sistemas para tratamento, conseguindo projetar a planta química de uma maneira simplificada reduzindo o tempo de projeto obtendo ótimos sistemas de tratamento. Calculando o volume de saída da quantidade de água tratada, fluxo de balanço de massa o qual reflete na mudança da densidade com influência da temperatura, a composição da água e sua compressão, verificando a melhor membrana a ser utilizada no processo. Permite fazer o dimensionamento de novos sistemas e avaliar os já existentes as adaptando. Introduzindo as informações da água e do sistema, o software faz um relatório detalhado do projeto com o diagrama geral de fluxo do processo. (Manual técnico WAVE).

O presente trabalho tem como objetivo mostrar a aplicação do software gratuito “*Water Application Value Engine*” (WAVE) para projetos e plantas de dessalinização, simulando um estudo de caso experimental obtido na literatura.

REFERENCIAL TEÓRICO

Processos de dessalinização por membrana

Nos processos por membrana, ocorre a separação do sal presente na água em diferentes concentrações de solutos ocorrendo a separação por meio de membranas semipermeáveis, produzindo a água com até 99,5% de pureza (RODRIGUES, 2018). No processo de dessalinização a água, com menor peso molecular passa pela membrana e os outros compostos com maiores pesos moleculares ficam retidos na mesma. Alguns processos utilizados para tais fins como, microfiltração, ultrafiltração, osmose inversa, eletrodialise, nanofiltração e osmose reversa. Para a obtenção de um melhor produto final, são classificados os tratamentos de acordo com tamanho das partículas que irão passar pela membrana.

Para remover sólidos suspensos evitando acúmulo das partículas na membrana, são comumente utilizadas a microfiltração e a ultrafiltração, em plantas químicas de dessalinização da água do mar por osmose reversa, muito utilizadas na etapa de pré tratamento. As membranas de ultrafiltração apresentam melhores resultados na remoção de contaminantes e produção de permeado entre as de microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração, o tamanho é menor que a de microfiltração e maior fluxo que a de nanofiltração. Sendo a principal aplicação da microfiltração no tratamento de efluentes. (GREENLEE et al., 2009).

A etapa do processo de nanofiltração é posicionada entre a ultrafiltração e a OR, removendo materiais orgânicos, compostos iônicos, alguns sais, cálcio e magnésio. A sua utilização em processos de reúso de água, clarificação e abrandamento.

Na Osmose reversa e a eletrodialise removem contaminantes dissolvidos em sal, onde, ocorre pela troca iônica e na Osmose Reversa a difusão de partículas. (RODRIGUES, 2018).

Dessalinização Por Osmose Reversa (OR)

A osmose reversa foi desenvolvida inicialmente com o objetivo de dessalinizar a água, porém, a partir de 1960 começou a ser utilizada em indústrias principalmente as de ramo alimentício. Com o surgimento de novos materiais a criação de meios filtrantes e técnicas cada vez mais vantajosas, o método de separação por osmose reversa por meio de membranas filtrantes permite a remoção de diferentes diâmetros de partículas ou moléculas.

Segundo BITTENCOURT (2014), a osmose reversa tem como princípio o contrário da osmose natural, onde, a água flui do meio mais concentrado para o menos concentrado, através da aplicação de uma pressão superior à pressão osmótica, passando por uma membrana semipermeável como diz na figura 1, retendo o soluto e permitindo a passagem apenas da água já com a remoção de pigmentos, bactérias e metais em até 99%.

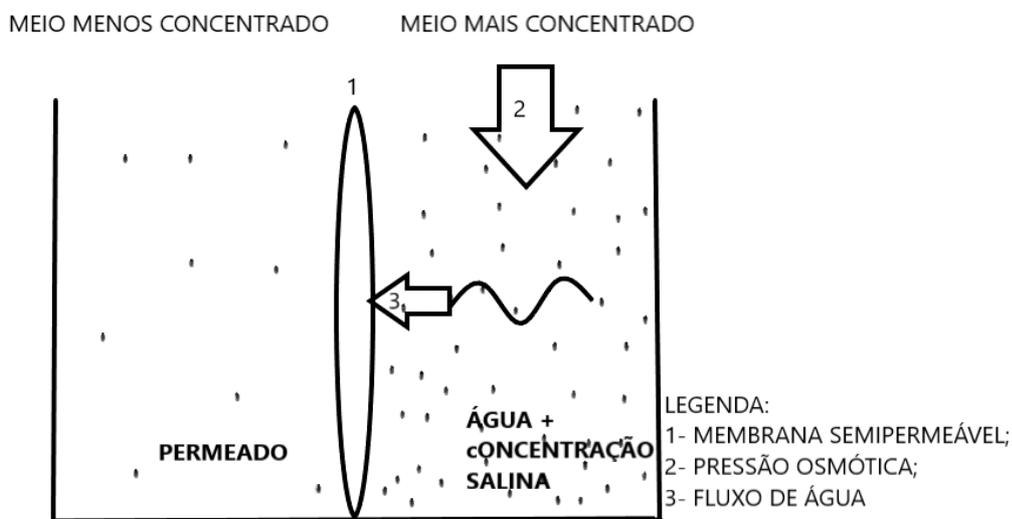
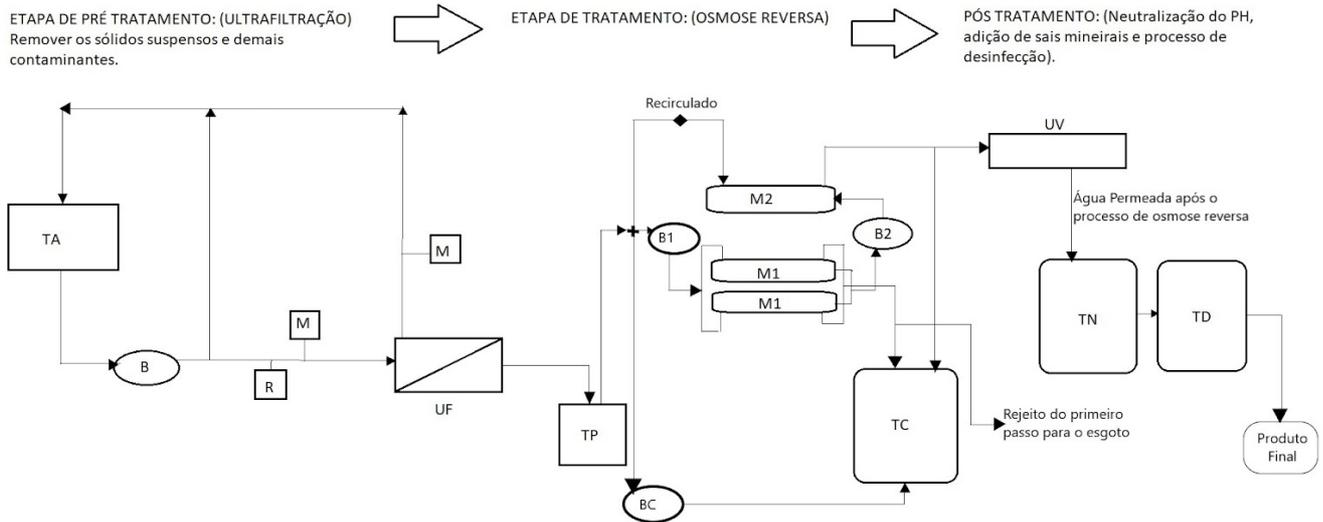


Figura 1- Princípios da Osmose Reversa. (Fonte: O autor, 2021).

O sistema de dessalinização por osmose reversa (OR), é composto por pré tratamento, onde ocorre a remoção dos sólidos suspensos na água normalmente utilizados a microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF), com bombas de alta pressão, impulsionando o fluido a passar nas membranas semipermeáveis, separando permeado da concentração salina. E por fim, deve passar pela etapa de pós tratamento obtendo como produto final a água pronta para consumo, assim como está esquematizado na figura 2.



LEGENDA:

- | | | |
|------------------------------|----------------------|---|
| TA- Tanque Alimentação | B1- Bomba etapa 1 | TN- Tanque neutralização + adição de minerais |
| B- Bomba | B2- Bomba etapa 2 | TD- Tanque Desinfecção |
| M- Manômetro | M1- Membrana etapa 1 | |
| R- Rotâmetro | M2- Membrana etapa 2 | |
| UF- Módulo de Ultrafiltração | BC- Bomba CIP | |
| TP- Tanque permeado | TC- Tanque CIP | |
| | UV- Ultravioleta | |

Figura 2. Esquemática de planta química por sistema de osmose reversa. (Fonte: O autor, 2021).

O tratamento por osmose reversa pode ser realizado em um ou mais estágios. O sistema de um estágio é abastecido pela água da alimentação e membranas em série o qual produz o permeado e o concentrado salino. No sistema de mais estágios o concentrado salino retorna na membrana produzindo mais permeado, removendo mais contaminantes, tornando a água ultrapura e aumentando a eficiência do sistema como um todo. (WILF, 2004).

Membrana Osmótica e suas propriedades

Existem atualmente diversas membranas osmóticas desenvolvidas, devido ao tratamento e reaproveitamento da água de rejeito industrial, sendo elas o acetato de celulose e poliamidas aromáticas, hidrazinas, de composição avançada e polissulfonas as mais utilizadas. Os materiais de sua composição influenciam sua operação no sistema como um todo. Os módulos com configuração básica dos tipos tubular, placa, enrolado em espiral e o tipo fibra oca. (PAREKH, 1998).

Se define a membrana como a barreira permeável, que restringe a transferência de massa entre duas fases, o desempenho e eficiência são determinados pela seletividade e o fluxo. As membranas podem ser classificadas como biológicas ou sintéticas. Em sua estrutura podem ser simétricas (espessura entre 100 e 200 μm), e assimétricas constituídas com a camada fina (espessura entre 0,1 a 0,5 μm) e uma camada porosa (espessura entre 50 e 150 μm).

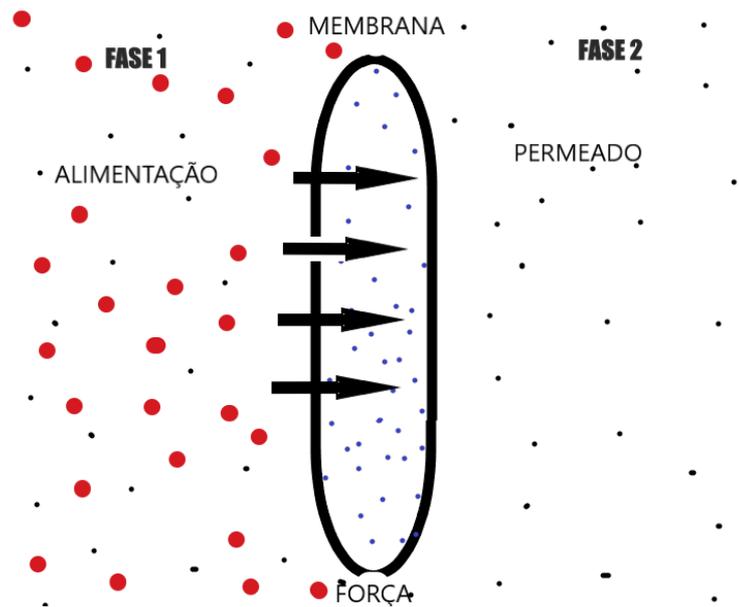


Figura 3. Representação de um esquema de duas fases separadas por membrana. (Fonte: O autor, 2021).

As membranas comumente utilizadas em plantas de dessalinização são o polipropileno, a poliamida e o poliacrilonitrilo, pois, apresentam maior vida útil, operando com intervalos de grande PH e temperatura. Com configurações dos tipos tubulares como na figura 4, a qual é constituída por tubos poliméricos ou cerâmicos com diâmetro maior que 10 mm, dentro de um módulo cilíndrico, Área/Volume baixo (menores que $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$). (BAKER 2004).

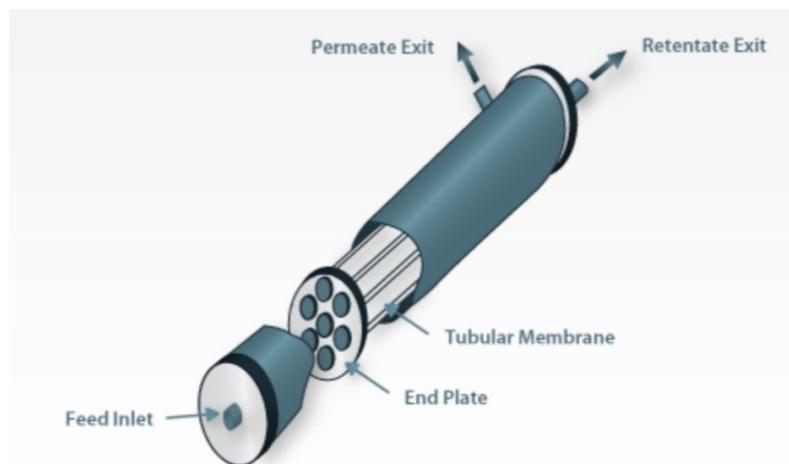


Figura 4. Membrana em módulo tubular. (Fonte: BAKER 2004)

Propriedades relevantes no processo de tratamento de água utilizando membrana

- Pressão e temperatura

A pressão influencia tanto na quantidade quanto na qualidade da água, se a pressão no sistema da alimentação aumenta, o fluxo de água que passa pela membrana também aumenta, resultando numa quantidade maior no rejeito de sais. A temperatura da alimentação do sistema,

ocorre a variação na taxa do permeado e do rejeito. No que resulta a redução da taxa de rejeito piorando assim, a qualidade do permeado.

- Recuperação da água do sistema

No sistema de osmose reversa a recuperação da água do sistema é obtida ao relacionar o fluxo de permeado e o fluxo de alimentação. Para a recuperação da água decai o fluxo do permeado até ser interrompido. Quando a pressão osmótica é maior que a pressão da alimentação é reduzida a taxa de rejeição com a recuperação da água .

- Concentração salina na alimentação

A concentração salina na alimentação, se mantendo constante a pressão, é reduzido o fluxo de permeado e a taxa de rejeito dos sais.

Software WAVE (Water Application Value Engine)

O software gratuito WAVE (*Water Application Value Engine*) permite simular processos de tratamento de água através das operações por ultrafiltração (UF), osmose Reversa (OR) e troca iônica, ou a combinação entre eles. Possibilita especificar a taxa de entrada de água a ser tratada, resultados que podem auxiliar na mudança das propriedades químicas com interferência da temperatura, composição da água e compressibilidade, simulando o tamanho real da membrana com precisão de cálculos, assim, prevendo o desempenho do fluxo principal do projeto da planta de dessalinização, verificando requisitos operacionais e estimando custos operacionais como a taxa do fluxo da alimentação, a composição do produto e etc. (LARUE, 2019).

O WAVE pode gerar além da otimização da planta de dessalinização, um relatório no final do processo com todos os dados, o qual segundo LARUE (2019), indica a melhor tecnologia e em que ordem serão utilizadas. O tratamento é dividido em etapas de pré tratamento, polimento com membranas de ultrafiltração e de osmose reversa.

Antes da simulação de osmose reversa, se considera algumas etapas relacionadas ao arranjo de membranas no sistema como:

- Elemento do módulo no sistema de ultrafiltração;
- Vaso de pressão para um ou mais elementos em série;
- Arranjos de pressão e volume independentes, com equipamentos de acompanhamentos (bombas, tanques e entre outros);
- O sistema de passes, melhorando a qualidade da água permeada, onde, o primeiro sistema se torna a alimentação do segundo sistema e assim continuamente.
- No sistema de múltiplos estágios dentro do arranjo de pressão e volume, o fluido retido do primeiro estágio se torna alimentação no segundo estágio, utilizado para purificar a água concentrada e obter a recuperação da mesma.

O "*Water Application Value Engine*" (WAVE) produzido pela Dupont (parte da Corporação Dow) é um software gratuito que permite a simulação de um projeto para os processos de tratamento de água usando três tipos de operações que são: ultrafiltração (UF), osmose Reversa (RO) e troca iônica (IX). O software substituiu os programas anteriores que Rosa (osmose reversa)

e o CADIX (para processos de troca iônica), fazendo com que as três operações se integrem em um único aplicativo.

O WAVE tem a capacidade de combinar (em qualquer ordem) os processos de UF, RO e IX, especificação de taxas de alimentação de entrada ou taxas de fluxo de produto líquido, é capaz de prever com precisão o desempenho de projetos com alta complexibilidade, possui habilidades preventivas sobre a química da água e equilíbrios de espécies variáveis. Possui padrões recomendados pelo fabricante para agilizar na criação do projeto, no caso de ausência de informações é possível introduzir e substituir os parâmetros para um melhor desempenho nos cálculos. O software Wave incorpora modelos teóricos como por exemplo a Lei de Darcy. Com o resultado podemos prever o comportamento dos sistemas e as suas variedades (LARUE, 2019).

A Figura 5 apresenta a interface gráfica do software quando é inicializado. Para executar uma simulação no programa existem quatro seções principais de recursos: 1. A barra de menu na parte superior da tela, na qual podemos ajustar uma variedade de configurações simulação; 2. Guias de configurações do projeto, se encontram na barra de menu, essas guias permitem que o usuário ajuste as configurações do projeto atual e visualizar os resultados das simulações; 3. O fluxograma do projeto aparece quando a guia Home é selecionada. Diferentes de outros programas de simulação, a exibição do fluxograma é feita por blocos com o nome da tecnologia e ordem escolhidas pelo usuário; 4. A seleção de uma determinada tecnologia é feita utilizando o menu à direita da área de exibição e podem ser adicionadas ao projeto principal, reordenadas ou excluídas.

São sete tecnologias agrupadas disponíveis: Pré tratamento: ultrafiltração (UF) e troca iônica para amolecimento/ desalqualização (IXS/D); Desmineralização em massa: osmose reversa (RO), osmose reversa para pequenos sistemas comerciais (ROSC), e troca iônica para desmineralização (IXD); Polimento: Leito misto de troca iônica (IXMB) e polimento condensado por troca iônica (IXCP) (LaRue, 2019).

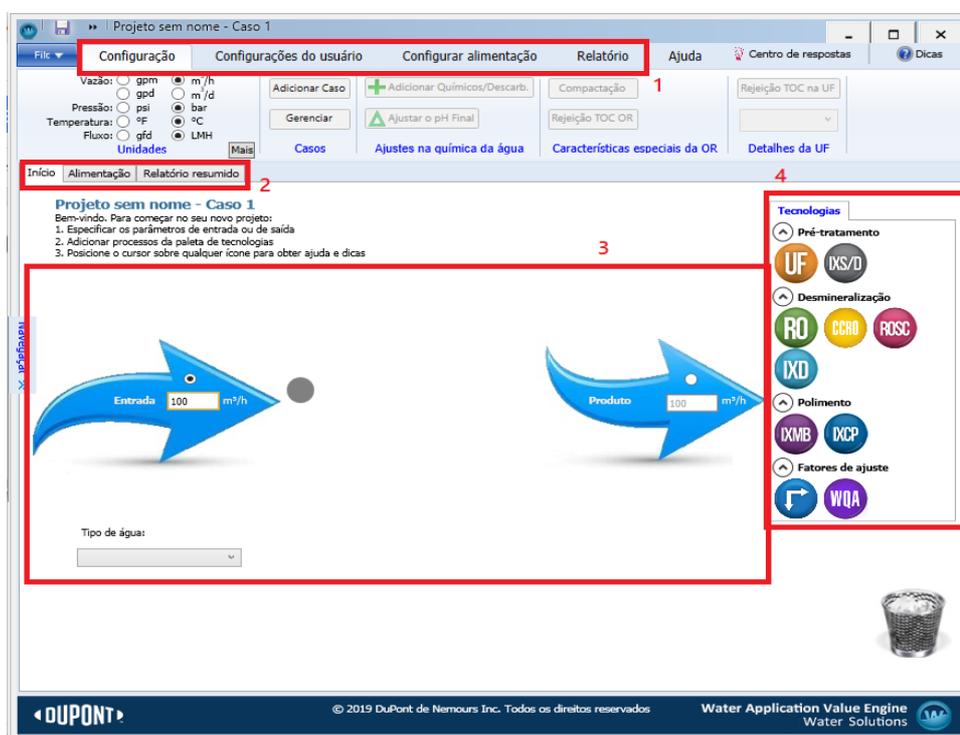


Figura 5. Janela inicial do Wave, onde será mostrada a entrada da quantidade do material e Escolher qual a tecnologia utilizada para o tratamento da água. (Fonte: Simulação feita no programa Wave, adaptada LaRue, 2019).

MATERIAIS E MÉTODOS

Na imagem seguir mostra o esquema dos passos que são utilizados para fazer a simulação no programa Wave.

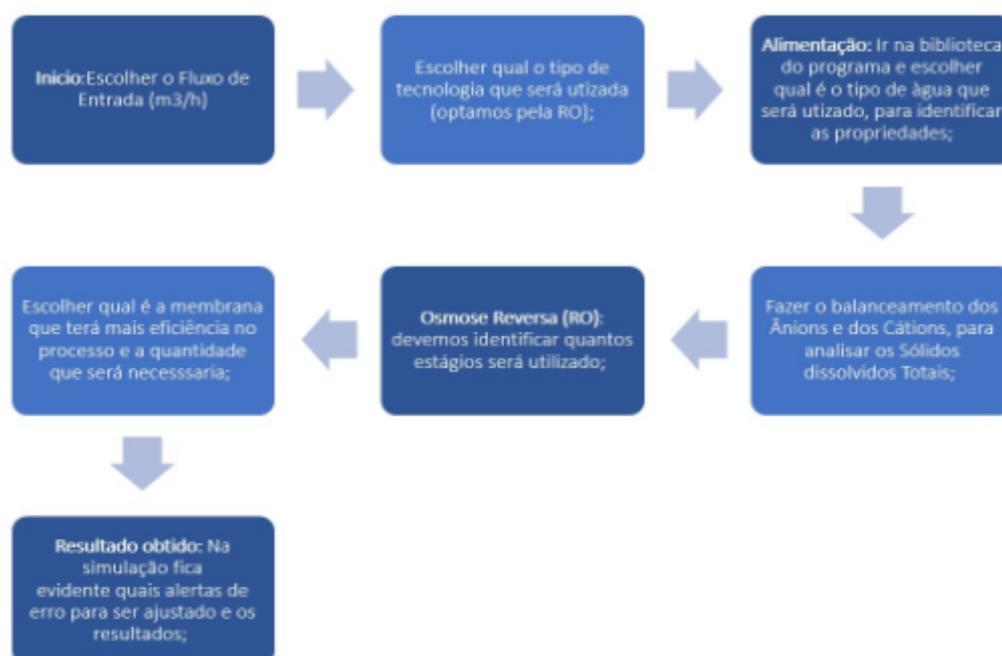


Figura 10. Esquema demonstra quais os passos que escolhemos para execução da simulação no programa Wave, através das abas. (Fonte: Adaptado software Wave).

Com a finalidade de investigar a aplicação do WAVE para simulação de casos reais, neste trabalho foi realizada uma simulação de acordo com o trabalho desenvolvido por RODRIGUES, (2018). Em sua pesquisa, a mesma teve como objetivo apresentar experimentos para tratamento de água do mar, utilizando processo por membranas para dessalinização da água salobra. O estudo de caso foi feito em uma escala piloto, na Estação de tratamento de água (Eta) da Sanepar, em Praia Leste, no município de Pontal do Paraná, no litoral do Estado. Coletando os dados, ela fez experimentos através do Software Rosa. Com base no que foi apresentado por “RODRIGUES, 2018”, utilizamos os dados do Experimento A para análise da simulação no WAVE.

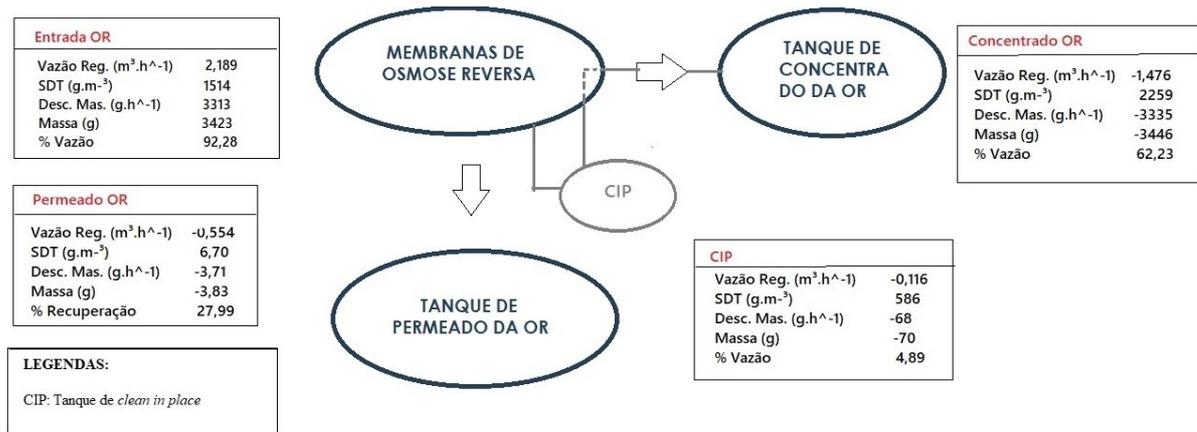


Figura 7. Fluxograma do sistema de dessalinização implantado em Praia de Leste- Resultados do balanço de massa do experimento, mostrando os dados no qual será utilizado para a simulação. (Fonte: Rodrigue, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vazão de entrada foi utilizada 2,189 m³.⁻¹ (RODRIGUES, 2018), com a tecnologia que será utilizada na simulação. Lembrando que para a etapa seguinte é necessário o fluxo para que o mesmo ocorra, analisando que há dois tipos de corrente que é nos apresentado, o tanque de água do mar e o tanque de água para o rio. Na biblioteca do programa Wave, utilizamos águas do rio na américa do sul e água do mar. Para que os dados se assemelham ao do experimento através de um cálculo básico, notamos que a porcentagem de cada corrente há uma proporção de 96% para a água do rio, e 4% para a água do mar, obtendo resultado próximo de Sólido Dissolvidos Totais de “1.502,505 g/L”.

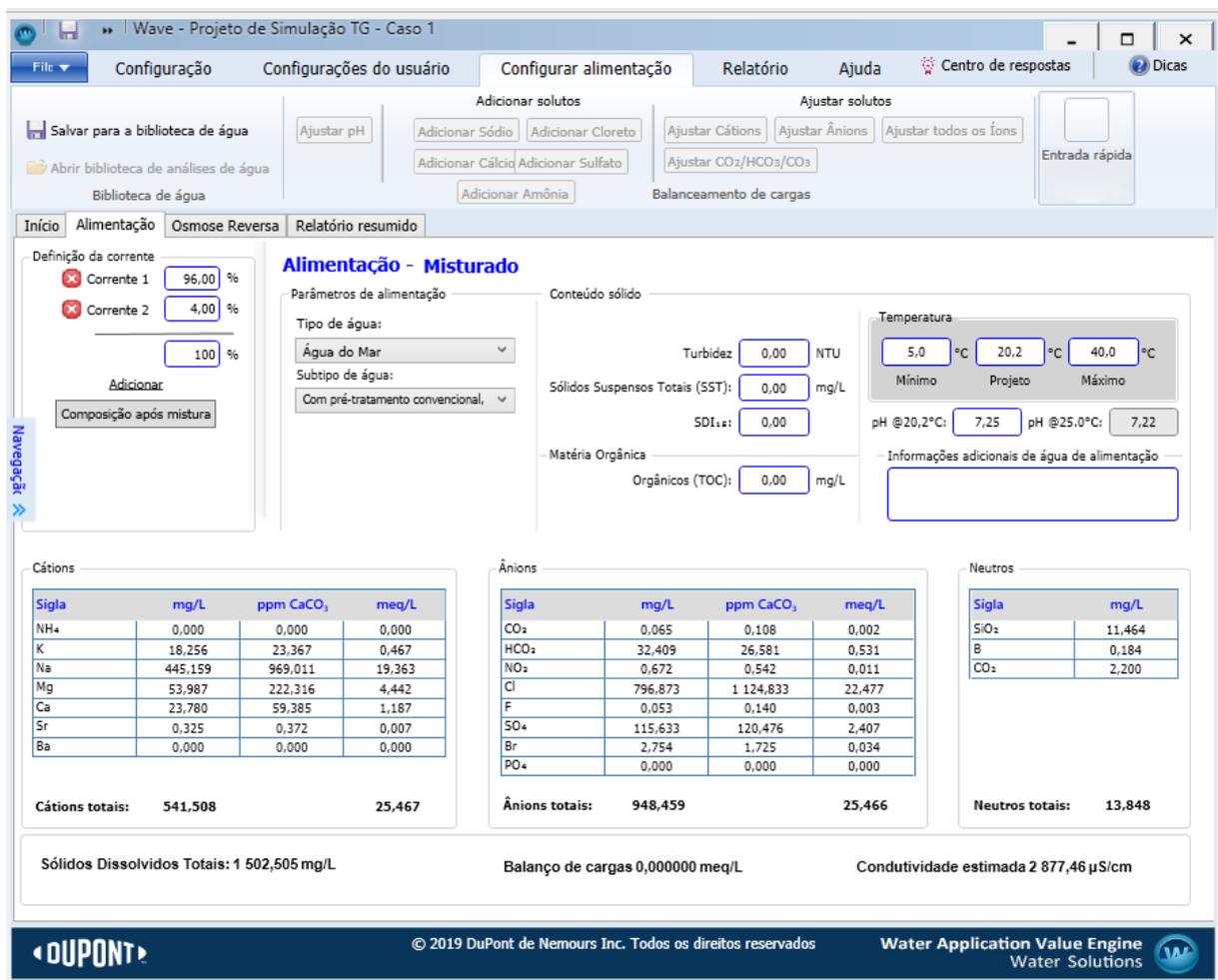


Figura 8. Segunda parte da simulação, analisando os dados para que fiquem mais próximos ao do trabalho proposto. (Fonte: Simulação feita no programa Wave).

Ao simularmos a osmose reversa, analisamos que no trabalho RODRIGUES, (2018) foram necessárias 5 membranas que foram divididas em duas etapas, primeiro a passagem do material em três membranas, sendo que o fluxo uma parte vai para o concentrado e outra parte volta e passa para a segunda etapa que contém duas membranas e dando continuação para o concentrado esquema apresentado na Figura 9.

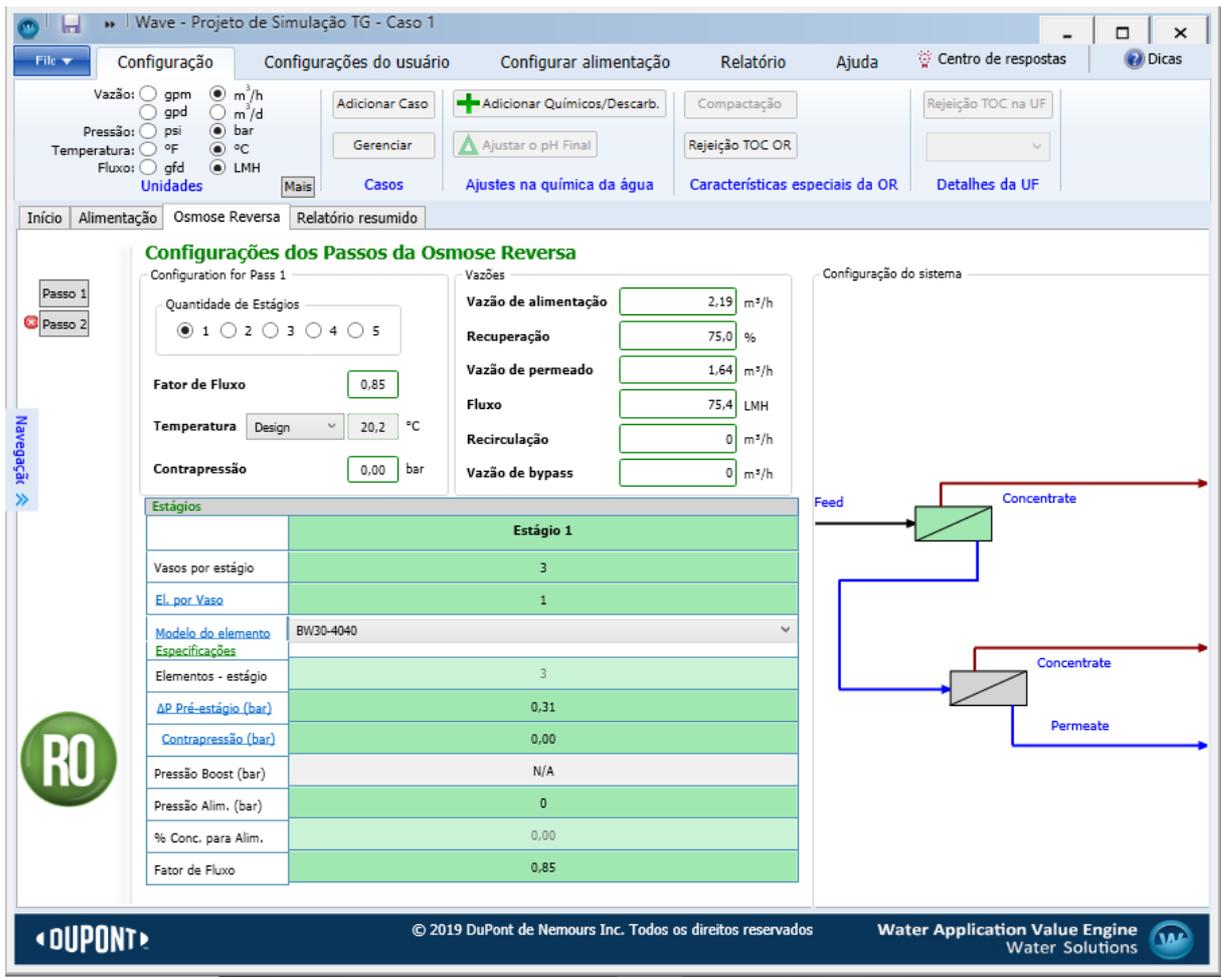


Figura 9. Wave mostra o detalhamento de como é feito a Osmose Reversa no projeto, como ele divide as fases e a escolha que é feita pela Membrana.(Fonte: Simulação feita no programa Wave).

RODRIGUES, (2018) utilizou a membrana Vontron -LP-21 4040. O Programa WAVE tem uma cartela de Membrana que podemos utilizar, porém não encontramos a mesma. Estudando qual membrana de acordo com a biblioteca que o software nos oferece, iremos utilizar a Bw30-4040, que são compatíveis em vários aspectos, como mostra a Figura 10 uma comparação com ambas.

Membrana 4" x 40" Para Osmose Reversa LP21-4040 2400 GPD Vontron	MEMBRANA DE OSMOSE REVERSA - DOW FILMTEC BW30-4040
Material: Poliamida-Polisulfona;	Cód: BW30-4040
Vida útil: média de 12 a 24 meses;	Material: Poliamida-Polisulfona
Retenção de sais: mínimo 99%;	Vida útil: média de 24 meses (dependendo da qualidade da água)
Vazão: 2400 GPD (380 litros/hora);	Retenção de sais: 99,5%
Velocidade Máxima de Fluxo de Alimentação: 16 GPM (3.6 m ³ /h)	Vazão: 2400 GPD (378,54 litros/hora)
Concentração de Cloro Livre: <0,1 ppm;	Temperatura máxima de trabalho: 45 °C
Temperatura máxima de trabalho: 45 °C;	Pressão máxima de trabalho: 600 psi (41 bar)
Pressão máxima de trabalho: 600 PSI (41 bar);	Dimensões: 4,0" (diâmetro) x 40" (comprimento)
Queda de Pressão Máxima: 15 PSIG (1,0 bar);	Modelo: 4040
Dimensões: 4,0" de diâmetro x 40" de comprimento;	Membrana para água salobra
Modelo: 4040;	Faixa de pH para operação contínua: 2 a 11
Faixa de pH para operação contínua: 2 ~ 11;	
Turbidez: NTU < 1;	
SDI: < 5;	
Água de alimentação: Padrão de rede Pública e salobra com até 2000 ppm NaCl;	

Figura 10. Comparação das membranas, Vontron -LP-21 4040 e BW30- 4040.(Fonte: Membrana Filmtec BW30-4040 e empresa Bfilters).

Antes de rodar o programa para a obtenção dos dados nas simulações para que o mesmo se assemelhe ao Experimento A, ajustamos na aba de OR no programa WAVE a porcentagem de recuperação no sistema para 27,99% e o de concentrado de 62,23% (RODRIGUES, 2018). Os resultados obtidos através da simulação podemos analisar através das tabelas de comparação.

TABELA 1: Resumo do resultado do experimento e da simulação feita no WAVE, em que SDT significa sólidos dissolvidos totais.

	Experimento A	Simulação Wave
Entrada OR		
Vazão Reg. (m ³ .h ⁻¹)	2,189	2,189
SDT (g.m ³)	1514	1 503
Concentrado OR		
Vazão Reg. (m ³ .h ⁻¹)	1,476	1,58
SDT (g.m ³)	2259	2 083
Permeado OR		
Vazão Reg. (m ³ .h ⁻¹)	0,554	0,61
SDT (g.m ³)	6,7	12,24

Portanto, através da Tabela 1 há uma diferença em relação aos resultados obtidos de acordo com a sua vazão e com o SDT em seu sistema. Na simulação feita com o Software Wave e no qual foram utilizadas as membras BW30- 4040, podemos entender que a sua eficiência foi equivalente do que a obtida no Experimento A com os dados obtidos através de RODRIGUES, (2018).

CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo investigar a aplicação do software WAVE para projeto de planta de dessalinização pelo processo de osmose reversa, foi apresentada uma metodologia para uso do software e uma comparação da simulação com dados reais provindos da literatura. Por não ser muito conhecido, o software é pouco utilizado, porém, é rápido, prático e gratuito. A disponibilização do WAVE é realmente muito significativa, para utilização de diferentes tecnologias na área de projeto de plantas de dessalinização.

Com base nos dados experimentais e a simulação realizada no software WAVE há pouca diferença nos resultados obtidos na entrada, concentrado e permeado. Foram comparados aos dados obtidos na literatura, apresentando resultados satisfatórios, e assim, concluindo-se que a eficiência de ambas foi equivalente.

Para um futuro trabalho deve-se investigar melhor as diferentes aplicações do software e validá-lo para um conjunto maior de dados e operações em um processo de tratamento de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, R.W., **Membrane Technology and Applications**, John Wiley & Sons, 2004

BITTENCOURT, C. **Tratamento de água e efluentes: fundamento de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos**. São Paulo: Érica, 2014

DESTILAÇÃO Multi Efeitos. **Sulzer** Disponível em: <https://www.sulzer.com/pt-br/brazil/shared/applications/multi-effect-distillation-med>. Acesso em: 27/09/2021.

DIAS, R.M. A crise da Água no mundo. **Revista Biokia**. Disponível em: <https://revistabiokia.org/pt/economicas/post?id=28>. Acesso em: 29/09/2021.

GREENLEE L., LAWLER L. F., FREEMAN B. D., MARROT B., MOULIN P. **Reverses osmosis desalination: water sources, technology and today's challenges**. Water research, v. 43, p. 2317-2348, 2009.

LARUE, R.J., LATULIPPE, D.R. **Chemical Engineering 4M03: Industrial Separations Processes Introduction to the Wave Design Software**. Hamilton, Ontário, 2019. 3p.

LIMA, E.R. OLIVEIRA, R.A. AMBROSIO, M.C.B. BARROS, S.T.D. JÚNIOR, C.B. **Recuperação da solução de soda cáustica usada no tratamento do couro bovino na produção de gelatina**. Campinas, 2008

MANUAL técnico do WAVE. **Media-library Dow**. Disponível em: http://media-library.dow.com/answer-center/water/WAVE/Technical_Manual_HTML5/Default.htm. Acesso em: 20/10/2021.

LENNTech. **Membrana Filmtec BW30-4040**. Disponível em: <https://www.lenntech.com/replacement/filmtec-bw30-4040.htm>. Acesso em: 14/11/2021.

PAREKH, B.S. **Reverse Osmosis Technology Applications for HighPurity-Water Production**, Marcel Dekker, Inc.,1988.

PENA, R.F.A. **A distribuição da água no mundo**. Paraná, 2018.

RODRIGUES, A.C. M. **Balanço de Massa de um Sistema de Ultrafiltração e Osmose Reversa para Dessalinização de Água Salobra**. Ponta Grossa, 2018.

SANTOS, A. A. M. **Análise de custo/ benefício do processo de dessalinização da água do mar** .Leiria, 2013.

TRATAMENTO de água por osmose. **Tratamento de água e efluentes**. Disponível em: <https://www.tratamentodeaguaeeffluentes.com.br/tratamento-de-agua-por-osmose>. Acesso em:21/10/2021.

WILF, M. **Fundamentals of RO-NF technology**. **Proc. International Conference on Desalination Costing**, Middle East Desalination Research Center, Limassol, Cyprus, 2004.