

Hidrodinâmica de depuradora de média escala para moluscos bivalves com ensaios de distribuição do tempo de detenção hidráulica

Luis Hamilton Pospissil Garbossa¹, Felipe Matarazzo Suplicy², Douglas Ismael Cadornin³ e Katt Regina Lapa⁴

Resumo – A determinação da função da distribuição do tempo de residência e o ensaio com traçadores podem ser empregados para descrever o comportamento hidrodinâmico de um volume. É possível avaliar se a água está bem distribuída dentro de um tanque, ou se há caminhos preferenciais e zonas mortas. Esta técnica foi aplicada para avaliar se a hidrodinâmica de um tanque de depuração de moluscos, construído fora das especificações recomendadas, proporciona uma boa distribuição e renovação da água dentro do seu volume. A água salgada foi usada como traçador em um ensaio com estímulo em degrau e a concentração de sal foi medida continuamente em pontos distintos do tanque. O resultado para o tempo médio de residência foi de 33 minutos, próximo ao valor teórico esperado e a eficiência volumétrica do tanque é, praticamente, igual a 1. Os resultados indicam que todo o volume do tanque está em uso e que a água é bem distribuída com baixa ocorrência de fluxos preferenciais ou zonas mortas. O sistema também apresentou capacidade de manter a concentração de oxigênio dissolvido e temperatura adequadas. A técnica utilizada nesse estudo pode ser empregada para avaliar tanques construídos fora das recomendações internacionais ou que apresentem desempenho ruim.

Termos para indexação: Depuração; Fluidodinâmica; Sensores.

Hydrodynamics of a medium scale depuration system for bivalve molluscs with hydraulic detention time distribution experiment

Abstract – The determination of the residence time distribution function and the test with tracers can be used to describe the hydrodynamic behavior of a vessel. It is possible to assess whether the water is well distributed within a tank, or whether there are short-circuits and dead zones. This technique was applied to evaluate if the hydrodynamics of a mollusk depuration tank, built outside the recommended specifications, provides a good distribution and renewal of water within its volume. Salt water was used as a tracer in a step tracer experiment. The salt concentration was measured continuously at different points inside the tank. The result for the average residence time was 33 minutes, close to the theoretical value and the volumetric efficiency of the tank is practically equal to 1. The results indicate that the entire volume of the tank was used and that the water is well distributed with low occurrence of short-circuits or dead zones. The system also showed the ability to maintain an adequate dissolved oxygen concentration and temperature. The technique used in this study can be used to evaluate tanks built outside the international recommendations or presenting poor performance.

Index terms: Depuration; Fluid dynamics; Sensors.

Introdução

O estado de Santa Catarina é conhecido como o principal produtor de ostras do Brasil, com uma produção de mais de 16.200t de moluscos bivalves em 2020 (INFOAGRO, 2020) e uma demanda significativa pela garantia da qualidade da carne dos moluscos.

Nas fazendas marinhas, os moluscos bivalves se alimentam filtrando o material em suspensão disponível na água.

Boa parte do alimento ingerido pelos moluscos é formado por algas microscópicas. Porém, se o local onde os moluscos são cultivados estiver contaminado, eles podem filtrar e acumular microrganismos capazes de causar doenças nas pessoas que os consumirem (SOUZA et al., 2021).

Existem dois tipos de processos entre os mais usados para redução de riscos de infecção por microrganismos patogênicos relacionada ao consumo de moluscos que devem ser realizados

no processamento de moluscos: o tratamento térmico com o cozimento dos animais e a depuração. Ambos são feitos para eliminar os microrganismos (SOUZA et al., 2021).

A depuração de bivalves é um processo no qual os moluscos são colocados em tanques, com um fluxo de água que passa por um sistema de esterilização, onde permanecem até que eliminem os microrganismos patogênicos de seu aparelho digestivo pela liberação das fezes que ficam depositadas no fundo dos

Recebido em 22/03/2022. Aceito para publicação em 05/07/2022.

<https://doi.org/10.52945/rac.v35i2.1451>

¹ Engenheiro, PhD, Epagri/Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram), 88034-901 Florianópolis, SC, fone (48) 3665-5162, e-mail: luisgarbossa@epagri.sc.gov.br.

² Biólogo, PhD, Epagri/Ciram, 88034-901 Florianópolis, SC, e-mail: felipesuplicy@epagri.sc.gov.br.

³ Engenheiro de aquicultura, Paraíso das Ostras, Florianópolis, SC, e-mail: douglas_cadorin@hotmail.com.

⁴ Professora, PhD, UFSC/Centro de Ciências Agrárias/Departamento de Aquicultura, Florianópolis, SC, e-mail: katt.lapa@ufsc.br.

tanques. A depuração é considerada um meio eficiente para reduzir os riscos de doenças relacionadas à poluição fecal, sendo amplamente empregada em diferentes países. Seu funcionamento adequado exige, no entanto, que variáveis físico-químicas e biológicas estejam controladas (LEE et al., 2008).

Existem recomendações gerais para a construção de tanques que visam garantir a circulação adequada da água no interior da depuradora (LEE et al., 2008; SEAFISH, 2018a; SEAFISH, 2018b). Contudo, os autores observam que em Santa Catarina é usual que sejam construídos tanques de depuração fora dos padrões recomendados por desconhecimento do assunto, indisponibilidade de área adequada ou falta de orientação. Também é possível que, mesmo com as recomendações gerais de construção atendidas, o sistema não atinja a eficiência desejada.

Nestes casos, é preciso avaliar se o sistema apresenta valores adequados para as variáveis físico-químicas de interesse e se proporciona circulação de água apropriada. Dentre as principais variáveis físico-químicas para avaliar a eficiência das depuradoras podemos citar o oxigênio dissolvido, a salinidade, a temperatura, a turbidez e a vazão. A atividade filtradora dos moluscos depende da temperatura da água do mar e dos níveis adequados de oxigênio dissolvido. Se, por exemplo, a temperatura da água do mar for muito alta, os moluscos poderão desovar ou morrer e, portanto, temperaturas máximas recomendadas para cada espécie não devem ser ultrapassadas (SEAFISH, 2018b). Tais temperaturas dependem da espécie, das condições reprodutivas do molusco e da estação do ano. As variáveis citadas anteriormente podem ser controladas e monitoradas de forma direta com equipamentos apropriados. Contudo, é de extrema importância que o comportamento hidrodinâmico do tanque esteja adequado e esta avaliação não pode ser feita diretamente como os outros parâmetros físico-químicos. Deve-se garantir que ocorra a renovação e a distribuição eficiente da água nos tanques, visando minimizar caminhos preferenciais e zonas mortas.

A água em uma depuradora pode seguir diversas rotas através do volu-

me útil. Isso influencia o tempo médio de residência (t_m) da água no sistema, o qual é um ótimo indicador do grau de mistura e, conseqüentemente, de renovação da água no tanque. Um método muito utilizado na análise de reatores na indústria química para descrever o comportamento fluidodinâmico é realizar ensaio para obter a função da curva $E_{(t)}$, da distribuição do tempo de residência (DTR) que descreve a distribuição do tempo do fluido dentro de um tanque. Neste estudo, este método foi testado para avaliar a renovação de água em um tanque de depuração de moluscos construído fora das recomendações. As recomendações se referem à relação comprimento versus largura do tanque, sistema de distribuição da água de recirculação, sistema de coleta da água e encaminhamento para desinfecção (SEAFISH, 2018a).

A DTR é determinada de maneira experimental pela injeção de um produto químico inerte, molécula ou substância, denominada de traçador, e a subsequente medição contínua da sua concentração na saída do tanque (FOGLER, 2009). O traçador deve atender a algumas exigências, ele deve ser não reativo, facilmente detectável, ter propriedades físicas semelhantes à do conteúdo do tanque, ser completamente solúvel na mistura e não pode ser adsorvido pelos materiais dentro da depuradora. No caso deste experimento, que usa organismos vivos, o traçador não pode ser tóxico para os moluscos.

Os dois métodos de ensaio com traçador são a injeção por estímulo em pulso e a injeção por estímulo em degrau. Neste texto está detalhado o método de estímulo em degrau conforme apresentado por Levenspiel (1999) e Fogler (2009), o qual deve atender duas condições: 1) A concentração na saída (C_{sai}) do traçador deve ser igual a zero no tempo t_0 do experimento; e 2) A C_{sai} deve variar de acordo com a concentração de entrada (C_0) após iniciado o experimento:

$$C_{sai}(t) = 0 \quad t < 0 \quad (1)$$

$$C_{sai}(t) \rightarrow C_0 \quad t \geq 0 \quad (2)$$

A fração do efluente que permaneceu no tanque por um período menor

que um determinado valor de tempo (t) é igual à soma de todo tempo menor que t na $E_{(t)}\Delta t$. Quando realizado ensaio de estímulo em pulso, integra-se a função entre o tempo zero (0) e t para obter função de distribuição cumulativa $F(t)$:

$$F(t) = \int_0^t E(t) dt \quad (3)$$

No caso deste experimento, de estímulo em degrau, a $F(t)$ é obtida experimentalmente e é possível obter $E_{(t)}$ pela seguinte expressão:

$$E(t) = \frac{dF}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{C_{sai}(t)}{C_0} \right]_{\text{degrau}} \quad (4)$$

Por meio da curva da função $E_{(t)}$ é possível identificar problemas relacionados ao escoamento, tais como zonas mortas e caminhos preferenciais. A DTR normalizada é obtida pela substituição da variável t pelo tempo adimensional (θ) calculado pela seguinte expressão:

$$\theta = \frac{t}{\tau} \quad (5)$$

$$E_{(\theta)} = \tau E_{(t)} \quad (6)$$

O t_m dado pela equação 7 é um importante parâmetro para caracterização do tempo de permanência do fluido dentro de um tanque e pode ser comparado ao tempo de detenção hidráulico teórico (τ) no qual, para reatores ideais, t_m e τ serão idênticos.

$$t_m = \int_0^{\infty} tE(t) dt \quad (7)$$

Segundo Fogler (2009), além dos parâmetros apresentados anteriormente, é usual avaliar o DTR usando instantes específicos ao invés de comparar toda a distribuição. Três momentos são usualmente usados, o primeiro é o t_m , o segundo é a variância (σ^2) ou o quadrado do desvio-padrão e o terceiro a assimetria.

A partir do τ e do t_m é possível calcular a eficiência volumétrica do tanque (eV). A eV indica se foi feito o uso de todo o volume útil do tanque e é definida como a razão entre o t_m e o τ teórico (PERSSON et al., 1999).

Segundo Fogler (2009), a maioria dos modelos matemáticos usa combinações de reatores ideais para descrever curvas DTR de tanques não ideais. Os dois rea-

tores ideais normalmente usados são o reator de mistura completa (RMC) e o reator de fluxo em pistão (RFP). O modelo de tanques em série (TES) ou RMC em série é um modelo uniparamétrico amplamente utilizado na literatura para caracterizar escoamentos (TOSON et al., 2019) e foi escolhido para este trabalho devido a sua simplicidade para ser aplicado no apoio à avaliação de depuradoras.

O parâmetro a ser resolvido no modelo TES é o número “ n ” de tanques em série que se adéqua à curva DTR e pode ser resolvido analiticamente usando a equação:

$$\eta = \frac{\tau^2}{\sigma^2} \quad (8)$$

A curva DTR para n tanques em série é descrita pela equação:

$$E(t) = \frac{t^{\eta-1}}{(\eta-1)! \tau_i^\eta} e^{-t/\tau_i} \quad (9)$$

Na equação τ_i é o tempo de residência para um tanque, $\tau_i = \tau/n$.

O trabalho foi realizado em um tanque de depuração construído fora das recomendações para a relação largura e comprimento e para o sistema de distribuição e coleta da água de recirculação, com o objetivo de obter a DTR e a curva de distribuição cumulativa. Estas informações permitem subsidiar avaliação de seu comportamento hidrodinâmico e identificar se existem zonas mortas ou caminhos preferenciais da água. Em função do formato da curva é possível indicar ajustes necessários ao tanque. O experimento permite identificar o potencial de uso desta técnica para avaliação da renovação de água em outras depuradoras.

Material e métodos

O experimento foi realizado na cidade de Florianópolis (SC) em uma depuradora de média escala para moluscos bivalves (Figura 1). O desenho esquemático da Figura 2 apresenta o fluxograma básico de funcionamento da depuradora. Para o experimento de determinação do comportamento hidrodinâmico da depuradora as unidades usadas foram o reservatório, a válvula de controle, o tanque de depuração e a bomba de recirculação. A principal

adaptação realizada para viabilizar o ensaio foi a inclusão de uma tubulação de descarte na saída da bomba, a qual está destacada em vermelho no diagrama da Figura 2. O sistema como um todo dispõe de bomba de recalque de água do mar com filtro, bomba de recirculação com filtro, unidade de desinfecção e trocador de calor.

Um cuidado importante com o ensaio com traçador com estímulo em degrau é garantir uma concentração constante do líquido afluente ao sistema. Logo, para preparar o sistema para o ensaio, o reservatório foi preenchido com água do mar com volume suficiente para renovar todo o volume de água do tanque por mais de três vezes o t_m e assim viabilizar o ensaio com estímulo em degrau. Isto foi feito para garantir

que a concentração de traçador (água salgada) na entrada do tanque de depuração fosse mantida constante até que a concentração no efluente do tanque esteja indistinguível ou próxima da C_0 .

O tanque foi preenchido com as caixas de moluscos bivalves (*Crassostrea gigas*) encaixadas da mesma forma como a depuradora em estudo é operada (Figura 3), e o espaço vazio preenchido com água doce. Finalmente, foram instaladas as sondas multiparâmetros em 3 pontos do tanque (Figura 3). As sondas multiparâmetros usadas são da marca YSI, modelo Exo2 produzida na América do Norte e foram calibradas com água salgada e programadas para coletar dados de salinidade medida em PSU, condutividade medida em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, temperatura em $^{\circ}\text{C}$, turbidez medida



Figura 1. Depuradora de média escala para moluscos bivalves utilizada na avaliação da distribuição do tempo de residência (DTR)

Foto: Felipe M. Suplicy

Figure 1. Medium-scale scrubber for bivalve mollusks used in the evaluation of the residence time distribution (RTD)

Photo: Felipe M. Suplicy

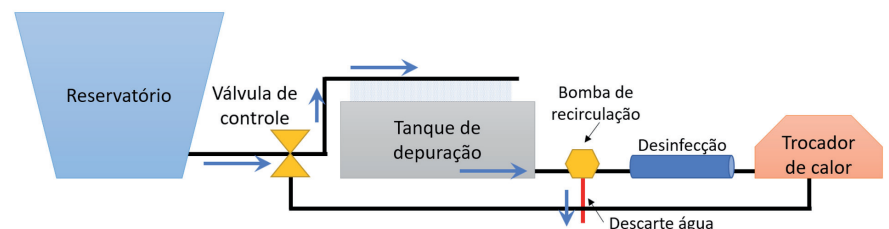


Figura 2. Desenho esquemático das principais unidades da depurada. As tubulações do sistema foram adaptadas para permitir a realização do ensaio. A principal adaptação está destacada em vermelho, usada para descartar a água a ser substituída durante o experimento. Autor: Luis Hamilton P. Garbossa

Figure 2. Schematic drawing of the purification systems main units. The system pipes were adapted to allow the test to be carried out. The main adaptation is highlighted in red, used to discard water to be replaced during the experiment. Author: Luis Hamilton P. Garbossa

em NTU e oxigênio dissolvido medido em mg.L^{-1} a cada 30 segundos.

O ponto 1 é onde está localizada a tubulação, no fundo do tanque, para drenagem da água do sistema e é, também, o principal ponto de interesse, pois são os dados medidos neste ponto que são usados para os cálculos da hidrodinâmica do tanque. O protocolo de ensaio para determinação do comportamento hidrodinâmico exige que seja realizado o monitoramento contínuo do traçador somente no ponto de drenagem de fluido (água salgada) do tanque. Contudo, neste caso, optou-se por realizar medições em dois pontos adicionais do tanque, no centro e no vértice oposto na tentativa de identificar regiões de volume estagnado. A linha pontilhada em amarelo na Figura 3 destaca o local de entrada de água no tanque.

As dimensões do tanque ($1,27\text{m} \times 2,43\text{m} \times 0,86\text{m}$) resultam em um volume total de $2,654\text{m}^3$. Contudo, para o experimento, é necessário calcular o volume útil do tanque que corresponde ao volume total subtraído do volume ocupado pelos materiais dentro do tanque. A estimativa de volume ocupado considerou as 60 caixas ($0,107\text{m}^3$), a quantidade média de 7.200 ostras *Crassostrea*

gigas em tamanho comercial com dimensão média de $8,5\text{cm}$ por $4,8\text{cm}$ por $2,5\text{cm}$ ($0,242\text{m}^3$), o volume ocupado pelas 2 sondas totalmente submersas e uma parcialmente submersa ($0,008\text{m}^3$). Isto resultou em um volume útil de água no tanque de $2,298\text{m}^3$.

Foram realizados três ensaios com intervalo de uma semana entre cada um deles. Para os ensaios com os traçadores a depuradora foi operada por 2 horas. A partir da curva $F(t)$ obtida na saída do tanque foi realizado o cálculo conforme a equação (4) para gerar as curvas $E(t)$ e a curva normalizada $E(\theta)$. Neste estudo foi usada a equação (9) para o modelo uniparamétrico de TES. O parâmetro resolvido para o modelo TES foi o número η de tanques em série que se adéqua à curva DTR e foi resolvido analiticamente pela equação (8).

Após o final dos ensaios hidrodinâmicos, uma sonda foi mantida na depuradora durante um ciclo operacional típico, sem a tubulação de descarte apresentada na Figura 2, para avaliar sua capacidade de manter os outros parâmetros físico-químicos estáveis. Ao mesmo tempo foi monitorada a temperatura da água do mar, próximo ao ponto de coleta de água usada na depuradora.

O teste Anova foi usado para avaliar se havia diferença estatística entre os três pontos de coleta e entre os três ensaios das diferentes semanas. Os testes estatísticos foram executados utilizando a linguagem de programação python e a biblioteca SciPy (VIRTANEN et al., 2020).

Resultados e discussão

A primeira etapa do trabalho foi avaliar se houve diferença estatística entre os resultados das séries temporais obtidas nos três pontos dentro do tanque e diferença entre os resultados dos ensaios realizados em cada semana. As séries temporais de salinidade das sondas foram normalizadas para a realização dos testes estatísticos. A normalização foi necessária, pois as sondas, mesmo calibradas, apresentaram diferença de leitura de salinidade de até $1,08\text{PSU}$ para uma mesma amostra de água do mar. O teste Anova mostrou que não houve diferença estatística entre os ensaios com valor de “p” de $0,106$. A Figura 4 apresenta todos os registros das três sondas para os ensaios realizados e as curvas resultantes contribuem para confirmar o resultado dos ensaios estatísticos, pois o formato destas é semelhante em todos os ensaios. Este resultado representa forte indicativo de que a água no tanque é bem distribuída e misturada, pois a salinidade apresentou valores similares nos três pontos do tanque ao longo dos ensaios.

A Figura 5 apresenta as curvas $E(\theta)$ para os ensaios. Para garantir uma vazão constante da água do sistema foi necessário controlar o registro do reservatório de entrada de água durante os ensaios. Os ajustes necessários influenciaram a vazão de saída ocasionando comportamento oscilatório que pode ser observado nos dados da curva $E(\theta)$ na Figura 5, mais visíveis a partir da metade dos ensaios.

O τ recomendado para depuradoras varia em função da escala da depuradora e ainda há muita discussão sobre o assunto. Os valores propostos pela literatura apresentam grande variação e não há uma regra clara a estabelecer forma de seleção do τ . No Reino Unido, a vazão recomendada para depuradoras de média escala (2.600L) e grande escala (9.200L), é de $12,5\text{m}^3 \text{hora}^{-1}$ e



Figura 3. Vista superior do tanque da depuradora. Os círculos vermelhos marcam os locais onde as sondas multiparámetros foram instaladas com destaque para o Ponto 1, local de coleta da água no ponto de drenagem do tanque. A linha tracejada amarela marca o local de abastecimento de água no tanque

Foto: Luis Hamilton Pospissil Garbossa

Figure 3. Top view of the depuration system tank. The red circles mark the places where the multi-parameter probes were installed, highlighting Point 1, where the water was collected at the tank's drainage point. The yellow dashed line marks the water supply location in the tank

Photo: Luis Hamilton Pospissil Garbossa

de $9,5\text{m}^3 \text{ hora}^{-1}$, respectivamente. Para os volumes apresentados na literatura representa um τ de 13 e 58 minutos, respectivamente (SEAFISH, 2018a; SEAFISH, 2018b). Nos Estados Unidos da América o τ máximo é de 9 min, enquanto no Japão há recomendações de, aproximadamente, 30min para depuradora equivalente à média (LEE et al., 2008). Neste trabalho o τ teórico da depuradora resultou em 32,5min, ou seja, próximo aos valores recomendados pela literatura. Destaca-se que este valor é apenas uma referência, pois existem fatores, como espécie de molusco, características da água, região climática, entre outros, que irão influenciar no funcionamento da depuradora.

O t_m obtido nos ensaios foi de 32,6,

32,4 e 33,9, respectivamente, para os ensaios 2, 3 e 4. Quando há diferença significativa entre o t_m e o τ , é forte o indício de presença de volumes mortos e fluxos preferenciais, o que não ocorreu neste tanque. Para este tanque, o eV é praticamente igual a 1,00 para os três ensaios, o que significa um forte indício de que todo o volume do tanque está em uso, ou seja, é um indicador de pouca anomalia no sistema. O tempo médio de detenção hidráulica é próximo aos tempos teóricos e todos os ensaios apresentaram um t_m muito próximo do valor teórico, indicando uma alta eficiência volumétrica.

Quando há grande mistura a variância é tão grande quanto o t_m do tanque (FOGLER, 2009). Ou seja $\sigma^2 = \tau^2$. No

nosso caso a relação entre a média das variâncias obtidas nos ensaios e o t_m apresentou valor de 0,86, o que é um outro indicativo de boa distribuição e mistura da água no sistema, característico de RMC. Adicionalmente, quanto mais assimétrica a curva DTR, mais próximo a um RMC o sistema real em questão se comporta (FOGLER, 2009).

Na teoria de reatores podemos obter um fluxo ideal teórico de duas maneiras, através de um RMC ou de um RFP ideais. Levenspiel (1999) afirma que o método do modelo dos TES tem como base o parâmetro unitário η que representa o número de RMC a ser associado em série para que se obtenha um sistema de mistura completa. No ajuste do modelo, os valores de η variam entre 1 e infinito, representando nos extremos os RMC e RFP, respectivamente.

Os valores do parâmetro η , que representa o número de reatores em série, resultaram em 1,19; 1,18 e 1,07. As curvas resultantes podem ser vistas na Figura 6. A curva em vermelho representa o comportamento de um RMC ideal que corresponde a $\eta = 1$. As outras curvas são o resultado do modelo baseado em cada um dos ensaios. Os ensaios apresentaram valor médio de 1,14, ou seja, pouco desvio de um RMC.

Após o último ensaio hidrodinâmico, um ciclo completo de operação da depuradora com funcionamento típico foi monitorado. A depuradora foi capaz de manter uma temperatura média no tanque de $18,52^\circ\text{C} \pm 0,91^\circ\text{C}$ e concentração de oxigênio dissolvido de $6,09\text{mg L}^{-1} \pm 0,40\text{mg L}^{-1}$. No Brasil, ainda não existem padrões de temperatura da água e de concentração de oxigênio dissolvido definidos nas normas para depuração de moluscos. Apesar disso, a concentração mínima de oxigênio dissolvido utilizada para aprovação de depuradoras pelas autoridades da Escócia é de 50% da saturação do oxigênio (FOOD STANDARDS AGENCY, 2008).

Naquele mesmo país as temperaturas recomendadas para depuração de *Crassostrea gigas* são entre 8 e 18°C (SEAFISH, 2018b). No entanto, estas temperaturas são indicadas para depuração de ostras em países de clima temperado como as ilhas britânicas, onde as temperaturas médias da água do mar são de 6 a 10°C no inverno e 15 a 20°C

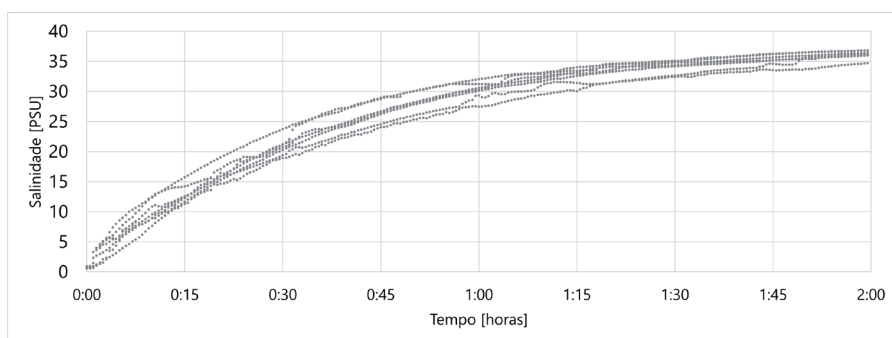


Figura 4. Dados das coletas de salinidade para os três pontos amostrais durante os três ensaios realizados com resultados similares para os diferentes ensaios e localizações. Estas curvas representam a curva F obtidas diretamente através do experimento

Figure 4. Salinity datasets for the three probes along the three tests performed, presenting similar results for the different tests and locations. These curves represent the F curve obtained directly through the experiment

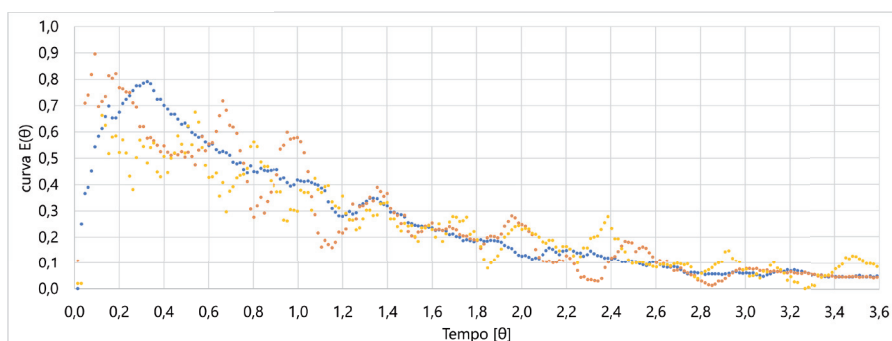


Figura 5. Dados convertidos da curva F para curva $E(\theta)$ com os resultados dos três ensaios (em cores diferentes) para um tempo de 3,6 vezes o τ teórico que corresponde a, aproximadamente, 2 horas de ensaio

Figure 5. Datasets converted from the F curve to the $E(\theta)$ curve with the results of the three tests for a time of 3.6 times the theoretical τ , which corresponds to, approximately, 2 hours of test

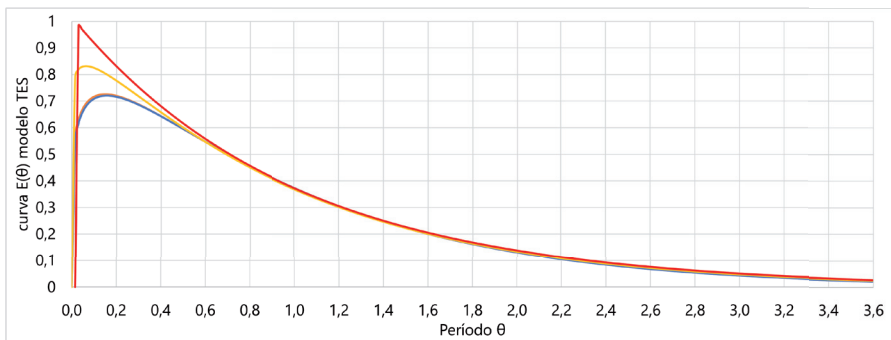


Figura 6. Três curvas $E(\theta)$ dos ajustes médios do modelo uniparamétrico TES para cada um dos ensaios realizados e, em destaque curva em vermelho para um RMC ideal do modelo uniparamétrico TES

Figure 6. Three $E(\theta)$ curves of the average fits of the uniparametric TES model for each of the tests performed and a red curve for an ideal RMC of the uniparametric TES model

no verão (WORLD SEA TEMPERATURES, 2022). Em Santa Catarina a temperatura média da água do mar tem uma menor variação, com mínima de 17°C no inverno e máxima de 29°C no verão. Durante o monitoramento do ciclo normal de operação da depuradora, a temperatura média da água do mar na região foi de 22,05°C ± 0,31°C, praticamente 3,5°C acima da temperatura de operação da depuradora.

As principais diferenças entre o tanque estudado e a referência na literatura (SEAFISH, 2018a) são a relação comprimento versus largura do tanque, o sistema de entrada e a distribuição de água e o sistema de coleta da água de recirculação.

Esse estudo se limitou a verificar se a depuradora em questão apresenta um comportamento hidrodinâmico adequado, renovação de água e se foi capaz de manter parâmetros físico-químicos dentro de faixas aceitáveis. A eficiência de purificação dos moluscos deverá ser avaliada por meio de estudos com análises microbiológicas de ostras colhidas em diferentes pontos dentro do tanque, antes, durante e após a depuração.

Conclusão

Embora o tanque não atenda a todas as recomendações da literatura, ele se mostrou eficiente do ponto de vista hidrodinâmico, pois os resultados indicam baixa ocorrência de zonas mortas ou caminhos preferências e boa renovação e circulação da água. A depuradora estudada também apresentou capacidade de manter os outros parâmetros

físico-químicos, como oxigênio dissolvido e temperatura dentro dos valores desejados.

A técnica utilizada nesse estudo pode ser empregada para avaliar unidades construídas fora das recomendações internacionalmente adotadas ou que apresentem baixa eficiência de depuração para identificar se existe problema com a hidrodinâmica da unidade e a necessidade de realizar ajustes.

Agradecimento

À empresa Paraíso das Ostras, por disponibilizar as instalações, o pessoal e os moluscos utilizados neste estudo.

Referências

FOOD STANDARDS AGENCY. **Guidance for inspection of shellfish purification systems for local food authorities - Version 2**. Inbhe Bidh Alba: Scotland, 2009, 44p. Disponível em: https://www.foodstandards.gov.scot/downloads/Guidance_Document_3.pdf. Acesso em: 7 fev. 2022.

FOGLER, H.S. **Elementos de engenharia das reações químicas**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 888 p.

INFOAGRO. **Produção animal. Santa Catarina: INFOAGRO**, 2022. Available from: <https://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/safra/producao-animal-2>. Acesso em: 8 jun. 2022.

LEE, R.; LOVATELLI, A.; ABABOUC, L. **Bivalve depuration: fundamental and practical aspects**. *FAO Fisheries Technical Paper 511*, Roma, IT, 2008, 139p. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/>

[card/en/c/91ea7200-8fdb-55ce-857b-a5816e157609/](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00448-5). Acesso em: 7 fev. 2022.

LEVENSPIEL, O. **Engenharia das reações químicas**. 3. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2000, 584 p.

PERSSON, J.; WONG, T.H.F.; SOMES, N.L.G. Hydraulic efficiency of constructed wetlands and ponds. *Water Science and Technology*, v.40, n.3, p.291–300, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00448-5](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00448-5).

SEAFISH. **Seafish Standard Design Purification Systems: Operating Manual for the Medium Scale MultiLayer System**. *Seafish Report (SR)*, n.720, 2018a, 16p. Disponível em: <https://www.seafish.org/document/?id=5E428424-B074-423D-8170-5D2AF273845E>. Acesso em: 7 fev. 2022.

SEAFISH. **Seafish Standard Design Purification Systems: Operating Manual for the Large Scale MultiLayer System**. *Seafish Report (SR)*, n.719, 2018b, 18 p. Disponível em: <https://www.seafish.org/document/?id=16A5F4E3-A5C9-4FCF-85DD-B8BF9FE92BE0>. Acesso em: 7 fev. 2022.

SOUZA, R.V.; SUPPLY, F.M.; NOVAES, A.L.T. **Depuração de moluscos bivalves**. Florianópolis, SC, 2021, 70 p. (Epagri. Boletim Didático, 160). Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_epagri/Cedap/Publicacao-Seriada/17-Pub_seriada-maricultura-ostra-depuracao.pdf. Acesso em: 8 fev. 2022.

TOSON, P.; DOSHI, P.; JAJCEVIC, D. Explicit Residence Time Distribution of a Generalised Cascade of Continuous Stirred Tank Reactors for a Description of Short Recirculation Time (Bypassing). *Processes*, v.7, n.9, 615. p.1-13, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr7090615>. Acesso em: 2 fev. 2022.

VIRTANEN, P.; GOMMERS, R.; OLIPHANT, T.E.; HABERLAND, M.; REDDY, T.; COURNAPEAU, D.; BUROVSKI, E.; PETERSON, P.; WECKESSER, W.; BRIGHT, J.; VAN DER WALT, S.J.; BRETT, M.; WILSON, J.; MILLMAN, K.J.; MAYOROV, N.; NELSON, A.R.J.; JONES, E.; KERN, R.; LARSON, E.; CAREY, C.J.; POLAT, I.; FENG, Y.; MOORE, E.W.; VANDERPLAS, J.; LAXALDE, D.; PERKTOLD, J.; CIMRMAN, R.; HENRIKSEN, I.; QUINTERO, E.A.; HARRIS, C.R.; ARCHIBALD, A.M.; RIBEIRO, A.H.; PEDREGOSA, F.; VAN MULBREGT, P., *SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python*. *Nature Methods*, v.17, n.3, p.261-272, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>.

World Sea Temperatures. Disponível em: <https://www.seatemperature.org/europe/united-kingdom/>. Acesso em: 18 fev. 2022