



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS MECÂNICAS

Bruna Maria Porto

**Tratamentos Químicos e Físicos em Amostras de Água de Lastro de Navios para a  
Redução Microbiológica de Coliformes**

Joinville

2022

Bruna Maria Porto

**Tratamentos Químicos e Físicos em Amostras de Água de Lastro de Navios para a  
Redução Microbiológica de Coliformes**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas.

Orientador: Prof. Claudimir A. Carminatti, Dr.

Joinville

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Porto, Bruna Maria  
Tratamentos Químicos e Físicos em Amostras de Água de  
Lastro de Navios para a Redução Microbiológica de Coliformes  
/ Bruna Maria Porto ; orientador, Claudimir Antônio  
Carminatti, 2022.  
68 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Campus Joinville, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia e Ciências Mecânicas, Joinville, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia e Ciências Mecânicas. 2. Água de lastro.  
3. Tratamento da água de lastro. I. Carminatti, Claudimir  
Antônio. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas.  
III. Título.

Bruna Maria Porto

**Tratamentos Químicos e Físicos em Amostras de Água de Lastro de Navios para a  
Redução Microbiológica de Coliformes**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca  
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Alexandre Mikowski, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Derce de Oliveira Souza Recouvreux, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado  
adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas.

Prof. Rafael de Camargo Catapan, Dr.  
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas

Prof. Claudimir Antonio Carminatti, Dr.  
Orientador

Joinville, 2022

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais e ao meu esposo.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por minha vida e pela força que colocou em mim para lutar até alcançar um dos meus maiores sonhos e objetivo de vida.

Aos meus pais por terem me proporcionado o benefício da educação. Assim como ao meu esposo, meus irmãos, minhas cunhadas, meus sogros e sobrinhos por acreditarem em mim e entenderem os momentos de ausência dedicados aos meus estudos, sei que posso contar com vocês sempre.

Ao orientador Claudimir, por todos os ensinamentos, conselhos, pelo empenho e pela confiança concedidos a mim durante a execução deste trabalho e principalmente pelas palavras de incentivo, conforto e segurança que foram cruciais para o meu crescimento pessoal e profissional durante a minha fase acadêmica.

A Universidade Federal de Santa Catarina pelos recursos necessários para que eu conseguisse evoluir e alcançar minhas metas.

A Aline, Rafaela e ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) por toda a atenção e pela realização da análise microbiológica, essencial para este trabalho.

E a todos aqueles que não mencionei, mas que fizeram parte desta caminhada ao meu lado, o meu muito obrigada.

## RESUMO

O transporte marítimo é a base da economia global. Com isso, várias mudanças surgiram para melhorar o desempenho dos navios, sendo que uma importante mudança foi a utilização da água como lastro das embarcações. Bilhões de toneladas de água de lastro são transportadas pelos navios todo ano, servindo de vetor para a translocação de espécies exóticas potencialmente invasoras (EEI) e patógenos. À vista disto, em 2004 foi adotada a Convenção Internacional para Controle e Gerenciamento da Água de Lastro e Sedimentos de Navios (Convenção BWM), que entrou em vigor em setembro de 2016. Pela norma, até 2024 todas as embarcações devem possuir um sistema de tratamento de água de lastro instalado, seguindo o Padrão D-2 da Convenção. Com base na importância da água de lastro e suas consequências para o meio ambiente, este trabalho examinou a eficácia dos processos de filtração mais desinfecção química, filtração mais tratamento térmico, e filtração mais radiação ultravioleta em amostras de água do mar coletadas próximo ao porto de São Francisco do Sul, com o objetivo de avaliar a utilização desses processos no tratamento da água utilizada como lastro de navios buscando a eliminação/diminuição de coliformes totais e termotolerantes. Este parâmetro é utilizado pela Organização Marítima Internacional (IMO) para verificar a eficiência dos sistemas de tratamento instalados nos navios, sendo de fundamental importância para a qualidade da água de lastro. Os resultados mostraram que as amostras sem tratamento (Branco), com filtração e apenas submetidas a radiação UV continham 2419,16 Número mais Provável (NMP)/100 mL de coliformes, enquanto que as amostras utilizando os tratamentos de cloração e térmico e os processos em que se combinou a filtração com a cloração, o tratamento térmico e a radiação UV apresentaram 1,0 Número mais Provável (NMP)/100 mL de coliformes totais e termotolerantes, demonstrando que as amostras filtradas e não filtradas em que foram realizados o tratamento químico com hipoclorito de sódio e o tratamento térmico, e a amostras tratada com radiação UV após filtração diminuíram em 99,96% a quantidade de coliformes totais e termotolerantes contidos nas amostras de água do mar. Com a promulgação da Convenção BWM no Brasil, os resultados obtidos neste trabalho serão de suma importância para a escolha de um método de tratamento de água de lastro ideal.

**Palavras-chave:** Transporte Marítimo. Água de Lastro. Convenção BWM. NORMAM-20. Sistemas de Tratamento de Água de Lastro.

## ABSTRACT

Maritime transportation is the foundation of the global economy. As a result, a number of changes have emerged to improve ship performance, one important change being the use of water as ship ballast. Billions of tons of ballast water are carried by ships every year, serving as a vector for the translocation of potentially invasive alien species (PIS) and pathogens. In view of this, in 2004 the International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM Convention) was adopted, which came into force in September 2016. According to the standard, by 2024 all ships must have a ballast water treatment system installed, following Standard D-2 of the Convention. Based on the importance of ballast water and its consequences for the environment, this work examined the effectiveness of filtration plus chemical disinfection, filtration plus heat treatment, and filtration plus ultraviolet radiation processes in seawater samples collected near the port of São Francisco do Sul, with the aim of evaluating the use of these processes in the treatment of water used as ships' ballast seeking the elimination/decrease of total and thermotolerant coliforms. This parameter is used by the International Maritime Organization (IMO) to verify the efficiency of the treatment systems installed in ships, and is of fundamental importance for the quality of ballast water. The results showed that the samples without treatment (White), with filtration and only submitted to UV radiation contained 2419.16 Most Probable Number (MPN)/100 mL of coliforms, while the samples using chlorination and thermal treatments and the processes in which filtration was combined with chlorination, thermal treatment and UV radiation presented 1, 0 Most Probable Number (MPN)/100 mL of total and thermotolerant coliforms, demonstrating that the filtered and unfiltered samples in which chemical treatment with sodium hypochlorite and thermal treatment were performed, and the samples treated with UV radiation after filtration decreased the amount of total and thermotolerant coliforms contained in the seawater samples by 99.96%. With the promulgation of the BWM Convention in Brazil, the results obtained in this work will be of paramount importance for the choice of an ideal ballast water treatment method.

**Keywords:** Maritime Transportation. Ballast Water. BWM Convention. NORMAM-20. Ballast Water Treatment Systems.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Artigos registrados no <i>ScienceDirect</i> com a palavra-chave "Ballast Water" entre 1997 e setembro/2022.....	16
Figura 2 – Lastro e deslastro de um navio.....	20
Figura 3 – Tipos de arranjos de tanques de lastro em navios mercantes.....	21
Figura 4 – Mexilhão dourado na Usina de ITAIPU. ....	23
Figura 5 – Sistemas de Tratamento de água de lastro. ....	27
Figura 6 – Fluxograma da metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho. ....	32
Figura 7 – Ponto de coleta da amostra de água. ....	33
Figura 8 – Local da retirada da amostra para a realização deste estudo.....	33
Figura 9 – Frascos esterilizados e identificados contendo as amostras.....	35
Figura 10 – Aparato utilizado no processo de filtração a vácuo. ....	36
Figura 11 – Separação das amostras para tratamento químico.....	38
Figura 12 – Tratamento térmico nas amostras TT e TTF em agitadores magnéticos de aquecimento.....	39
Figura 13 – Tratamento com radiação UV nas amostras coletadas.....	40
Figura 14 – Simulação de um tanque de água de lastro utilizando uma incubadora orbital com controle de temperatura (shaker). ....	41
Figura 15 – Adição da amostra com reagente na bandeja. a) Adição do reagente na amostra UVF1. b) Amostra com reagente inserida na cartela. ....	43
Figura 16 – Selagem e incubação das amostras. a) Cartela com a amostra inserida sendo colocada na seladora Quanti-Tray Sealer PLUS. b) Cartela com a amostra selada. c) Cartela com a amostra selada sendo colocada na estufa a 35 °C. ....	44
Figura 17 – Medidas de temperatura e pH. a) Medição do pH da água do mar no local da retirada. b) Fita indicadora de pH com o valor do pH da água do mar. c) Termômetro com o valor da temperatura da água do mar. d) Galão de 5 L com a água coletada.....	46
Figura 18 – Membranas após o processo de filtração, sendo as membranas 2, 3 e 4 das amostras tratadas posteriormente com os métodos químicos e físicos.....	47
Figura 19 – Comparação dos resultados da análise microbiológica de todas as amostras.....	57
Figura 20 – Síntese das considerações sobre os métodos de tratamento de água de lastro utilizados.....	59

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Identificação das amostras.....	34
Quadro 2 – Identificação das amostras para a análise microbiológica.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização da água de lastro das embarcações.....	19
Tabela 2 – Padrão de Desempenho da Água de Lastro (Padrão D-2). ....	25
Tabela 3 – Percentual de embarcações com sistema de tratamento de água de lastro instalado.....	31
Tabela 4 – Massa das membranas filtrantes antes e após o processo de filtração.....	48
Tabela 5 – Resultado da análise microbiológica das amostras B e F.....	48
Tabela 6 – Resultados da análise microbiológica das amostras Branco (B), tratamento químico com cloro (TQ) e tratamento químico com cloro após filtração da amostra (TQF).....	50
Tabela 7 – Resultado da análise microbiológica das amostras Branco (B), tratamento térmico (TT) e tratamento térmico após filtração da amostra (TTF). ....	53
Tabela 8 – Resultado da análise microbiológica das amostras Branco (B), UV e UVF), tratamento com radiação ultravioleta (UV) e tratamento com radiação ultravioleta após filtração da amostra (UVF).....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária  
B – Água sem Tratamento (Branco)  
BWM – Ballast Water Management  
BWTS – Ballast Water Treatment System  
DNA - Ácido Desoxirribonucleico  
EEI – Espécie Exótica Invasora  
F – Água Filtrada  
IMO – Organização Marítima Internacional  
LIMA – Laboratório Integrado de Meio Ambiente  
MEPC – Marine Environment Protection  
NMP – Número mais Provável  
NORMAM – Normas da Autoridade Marítima  
TQ – Tratamento Químico  
TQF – Tratamento Químico com Filtração  
TT – Tratamento Térmico  
TTF – Tratamento Térmico com Filtração  
UFC – Unidade Formadora de Colônia  
UNCLOS – Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar  
UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development  
UV – Ultravioleta  
UVF – Ultravioleta com filtração  
WSSD – Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
2.1	ÁGUA DE LASTRO.....	18
2.2	IMPACTOS DA ÁGUA DE LASTRO.....	21
2.3	CONVENÇÃO INTERNACIONAL PARA CONTROLE E GERENCIAMENTO DA ÁGUA DE LASTRO E SEDIMENTOS DE NAVIOS.....	24
2.4	IMPLEMENTAÇÃO DA CONVENÇÃO BWM NO BRASIL.....	25
2.4.1	<b>NORMAM-20/DPC.....</b>	<b>26</b>
2.5	SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE LASTRO.....	26
2.5.1	<b>Filtração.....</b>	<b>27</b>
2.5.2	<b>Separação ciclônica.....</b>	<b>28</b>
2.5.3	<b>Tratamento térmico.....</b>	<b>28</b>
2.5.4	<b>Tratamento com radiação UV.....</b>	<b>28</b>
2.5.5	<b>Tratamento químico.....</b>	<b>29</b>
2.6	SÍNTESE INTEGRADORA.....	31
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
3.1	COLETA DA AMOSTRA.....	32
3.2	ENSAIOS FÍSICOS E QUÍMICOS de tratamento da água coletada.....	34
3.2.1	<b>Filtração.....</b>	<b>35</b>
3.2.2	<b>Tratamento Químico.....</b>	<b>37</b>
3.2.3	<b>Tratamento Térmico.....</b>	<b>38</b>
3.2.4	<b>Tratamento com Radiação UV.....</b>	<b>39</b>
3.3	ANÁLISE MICROBIOLÓGICA.....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>45</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA DE ÁGUA COLETADA.....	45
4.2	PROCESSO DE FILTRAÇÃO.....	46
4.3	TRATAMENTO QUÍMICO COM HIPOCLORITO DE SÓDIO.....	49
4.4	TRATAMENTO TÉRMICO.....	52
4.5	TRATAMENTO COM RADIAÇÃO UV.....	54
4.6	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS DE TRATAMENTO UTILIZADOS.....	56

<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>
	<b>ANEXO A – Resultado da análise microbiológica realizada no laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) do ENS/UFSC.....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte marítimo é atualmente o principal meio de se levar mercadorias entre os continentes, visto que mais de 80% do comércio internacional é movimentado pelo mar. Isto fez com que este modal passasse por diversas inovações técnicas com o objetivo de melhorar o desempenho dos navios. Uma inovação marcante foi a utilização da água como lastro das embarcações. A utilização da água de lastro pelos navios é imprescindível, uma vez que os navios são projetados e construídos com o objetivo de transportar cargas e/ou pessoas e, quando não atinge este objetivo, fica instável e precisa fazer uso de um peso adicional chamado de lastro.

Na verdade, a água de lastro é uma importante ferramenta para que o navio obtenha estabilidade transversal. Naturalmente sua quantidade pode variar de acordo com a condição de carregamento, as próprias características do navio e as condições do mar.

A água de lastro é a água dos rios, oceanos ou lagos, carregada a bordo dos navios nos seus tanques de lastro para estabilizá-los quando estão sem carga ou por motivo de segurança, como quando há distribuição desigual de carga no navio, condições adversas de clima e do mar, entre outros. Logo, as embarcações necessitam da água de lastro para navegação e operações seguras.

O transporte marítimo é fundamental para o comércio global, mas, apesar da sua importância, tem impactos negativos na saúde humana e ambiental. A poluição marinha é a que causa maior impacto e a mais evidente das poluições marinhas é a da água de lastro, que serve como vetor para a translocação de espécies exóticas potencialmente invasoras (EEI) e patógenos em todo o mundo.

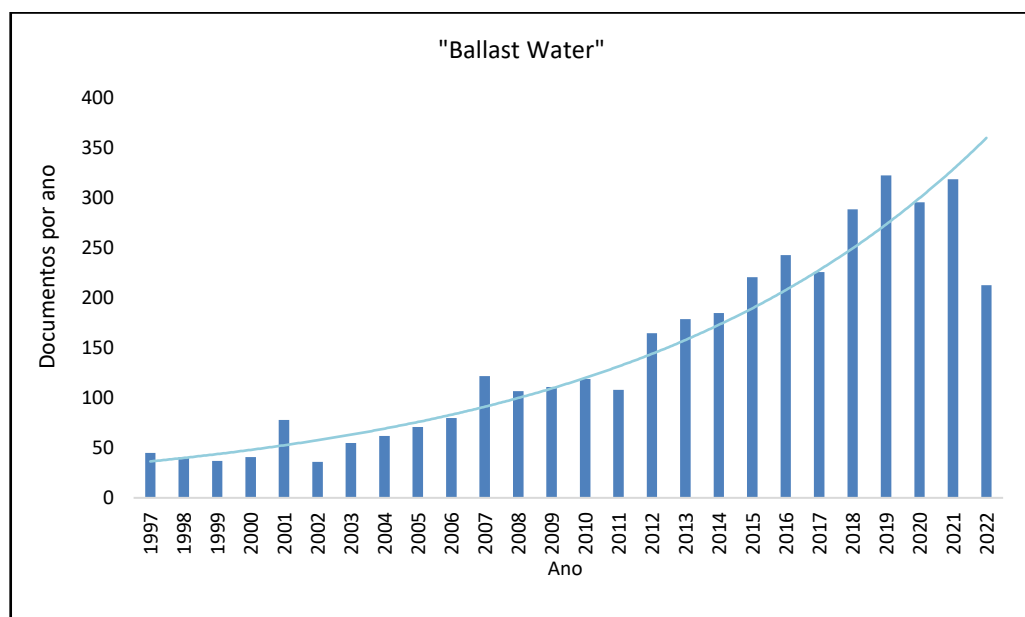
Esta transferência de EEI através da água de lastro é considerada uma das maiores ameaças à biodiversidade e ecossistemas marinhos globais, à economia costeira e até à saúde pública. Observando isso, em 2004 a Organização Marítima Internacional (IMO) adotou a Convenção Internacional para Controle e Gerenciamento da Água de Lastro e Sedimentos de Navios (Convenção BWM – “Ballast Water Management”) que, após 12 anos desde a adoção, entrou em vigor em setembro de 2016.

Com a Convenção em vigor, todos os navios são obrigados a gerenciar sua água de lastro atendendo ao padrão de troca de água de lastro (Padrão D-1) ou ao padrão de desempenho da água de lastro (Padrão D-2). Porém, devido à incerteza da eficácia e segurança, o Padrão D-1 não será mais aceito e, até 2024, espera-se que todas as embarcações possuam um sistema de tratamento de água de lastro que atenda ao Padrão D-2 (IMO, 2017).

Logo, um grande número de sistemas de tratamento de água de lastro (BWTS – “Ballast Water Treatment System”) surgiram e estão sendo colocados em prática globalmente. As tecnologias atualmente disponíveis ou em desenvolvimento, usadas para tal, geralmente tratam a água de lastro realizando a filtração seguida da desinfecção química ou física. Estudos apontam que até 2019 existiam 83 BWTS aprovados para uso, sendo que a radiação Ultravioleta (UV) é a mais utilizada, seguida por diferentes tipos de desinfecção química, como cloração e ionização (IMO, 2019; MORENO-ANDRÉS; PEPPERZAK, 2019; NAIK et al., 2019).

Ao realizar uma pesquisa na plataforma *ScienceDirect* utilizando a palavra-chave “Ballast Water”, identificou-se que entre 1997 e setembro de 2022 foram publicados 4325 artigos em periódicos indexados, demonstrando a importância do assunto. A Figura 1 apresenta a distribuição anual dos artigos publicados no período analisado.

Figura 1 – Artigos registrados no *ScienceDirect* com a palavra-chave "Ballast Water" entre 1997 e setembro/2022.



Fonte: Modificado de *ScienceDirect* (2022)

Com base na importância da água de lastro e suas consequências para o meio ambiente, este estudo examinou a eficácia dos processos de filtração mais desinfecção química, filtração mais tratamento térmico, e filtração mais radiação ultravioleta em amostras de água do mar coletadas próximo ao porto de São Francisco do Sul representando a água de lastro de navios, com o objetivo de verificar a eficiência destes tratamentos físicos e químicos na eliminação/diminuição de coliformes termotolerantes e totais. Este parâmetro é utilizado



pela IMO para verificar a eficiência dos sistemas de tratamento instalados nos navios, sendo de fundamental importância para a qualidade da água de lastro.

## 1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a utilização dos processos físicos e químicos de filtração, cloração, tratamento térmico e radiação UV no tratamento da água utilizada como lastro de navios buscando a eliminação/diminuição de coliformes totais e termotolerantes.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar processos utilizando cloração química com hipoclorito de sódio em amostras de água filtradas e não filtradas na redução e eliminação de coliformes;
- Utilizar o tratamento térmico para a redução e eliminação de coliformes em águas filtradas e não filtradas;
- Verificar a efetividade do processo de filtração combinado com radiação ultravioleta na redução e eliminação de coliformes em água de lastro;
- Comparar a eficiência dos processos utilizados quanto à redução de coliformes totais e termotolerantes.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda os principais conceitos teóricos relativos ao desenvolvimento deste trabalho, tais como água de lastro, impactos da água de lastro, convenção BWM e sistemas de tratamento de água de lastro.

### 2.1 ÁGUA DE LASTRO

O transporte marítimo é o eixo da economia global, visto que mais de quatro quintos do comércio mundial de mercadorias em volume é transportado pelo mar (UNCTAD, 2019). A frota marítima comercial internacional é composta por mais de 70 mil navios e é responsável pelo transporte de mais de um bilhão de toneladas de porte bruto/ano, representando mais de 90% do volume total de comércio global (SOLER-FIGUEROA et al., 2020; UNCTAD, 2019). Dado o tamanho e o escopo da indústria de transporte marítimo, várias inovações técnicas surgiram com o objetivo de melhorar o desempenho dos navios, sendo que uma importante inovação foi a utilização da água como lastro das embarcações.

Os navios comerciais são projetados e construídos para transportar cargas e/ou passageiros. A fim de fornecer máxima segurança, os cálculos de estabilidade e resistência são feitos com o navio na condição de equilíbrio estável, que é quando o mesmo está totalmente carregado. No caso de um navio não estar nesta condição faz-se necessário o uso de um peso adicional para garantir a sua navegabilidade, por exemplo, para compensar a flutuação aumentada que pode resultar na falta de imersão do hélice, inclinação transversal e longitudinal inadequada ou tensões no casco e na estrutura da embarcação. O material usado como peso adicional é chamado de lastro (COHEN, 1998; DAVID; GOLLASCH, 2016; HUTCHINGS, 1992; SOLER-FIGUEROA et al., 2020; WERSCHKUN et al., 2014).

De acordo com a Organização Marítima Internacional (IMO) (2004), lastro é qualquer material usado para aumentar a massa e/ou balancear um objeto. Até meados do século XIX, as embarcações utilizavam materiais sólidos, como pedras e areia, para compor seu lastro. Mas, desenvolvimentos técnicos levaram as embarcações a utilizarem a água de oceanos, rios e lagos como lastro, sendo mais flexível e eficiente que os outros materiais que eram usados neste processo, dado que está sempre disponível onde a embarcação está operando. Além do mais, diminui o tempo de carregamento e as instabilidades perigosas para o navio provocadas pelo lastro sólido (DAVID; GOLLASCH, 2016; IMO, 2004; PEREIRA et al., 2018).

A água de lastro, por definição, é a água com suas partículas levada a bordo de um navio nos seus tanques de lastro para controle de trim, banda, calado, estabilidade ou tensões no casco do navio (NORMAM-20/DPC, 2019). Mesmo quando um navio está totalmente carregado, operações com água de lastro podem ser necessárias devido a uma distribuição desigual de carga na embarcação, condições adversas de clima e mar, uma aproximação a águas rasas e para compensar o consumo de combustível durante a viagem. Por isso, as embarcações dependem fundamentalmente da água de lastro para navegação e operações seguras em função de seu projeto e construção. A água de lastro encontra-se no estado líquido e possui, em média, uma densidade de 1,25 kg/L. A caracterização média da água de lastro das embarcações está apresentada na Tabela 1 (DAVID; GOLLASCH, 2016).

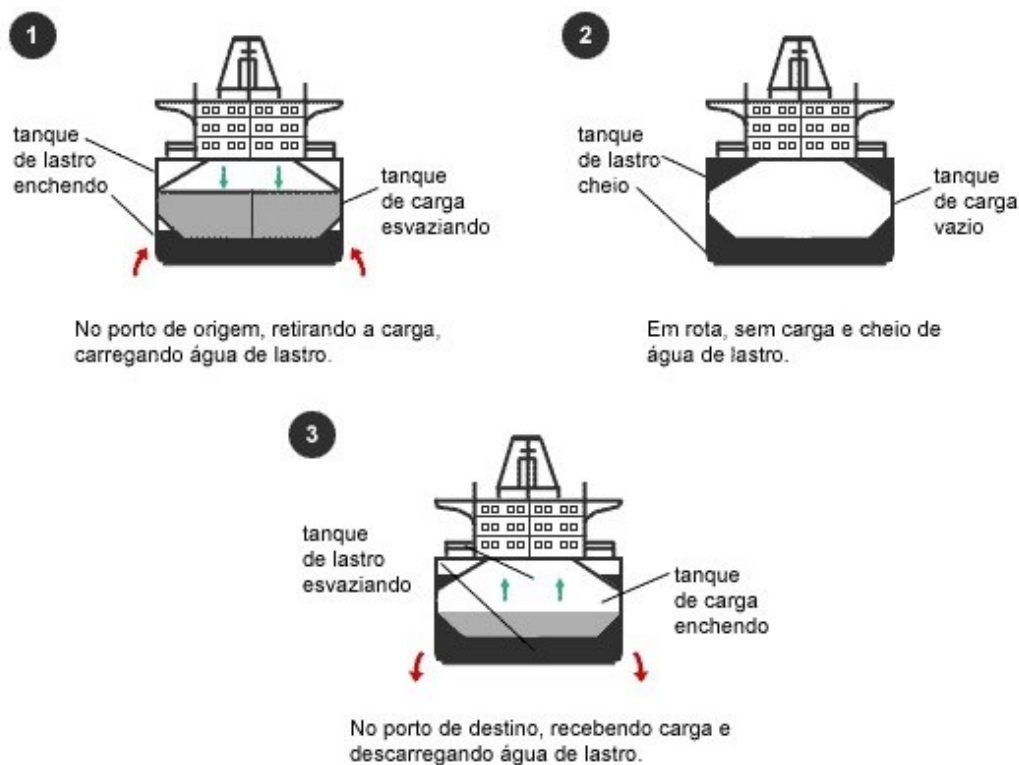
Tabela 1 – Caracterização da água de lastro das embarcações.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Densidade (kg/L)	1,25 ± 0,0005
pH	7 ± 0,4
Turbidez (NTU)	0,2
Temperatura (°C)	21,8 ± 0,5

Fonte: Adaptado de Maranda et. al (2013)

Chegando ao porto de destino, não tendo carga para carregar novamente, o navio vai captando a água do local onde está atracado. À medida que a carga vai sendo descarregada no porto, a água de lastro é colocada no navio através de entradas localizadas abaixo da linha d'água, por meio de um complexo sistema de bombas, válvulas, controles e tubulações, que distribuem a água nos tanques de lastro (DAVID; GOLLASCH, 2016; LIMA, 2013; PEREIRA, 2018; PEREIRA et al., 2016; UNCTAD, 2019). A Figura 2 mostra este processo.

Figura 2 – Lastro e deslastro de um navio.

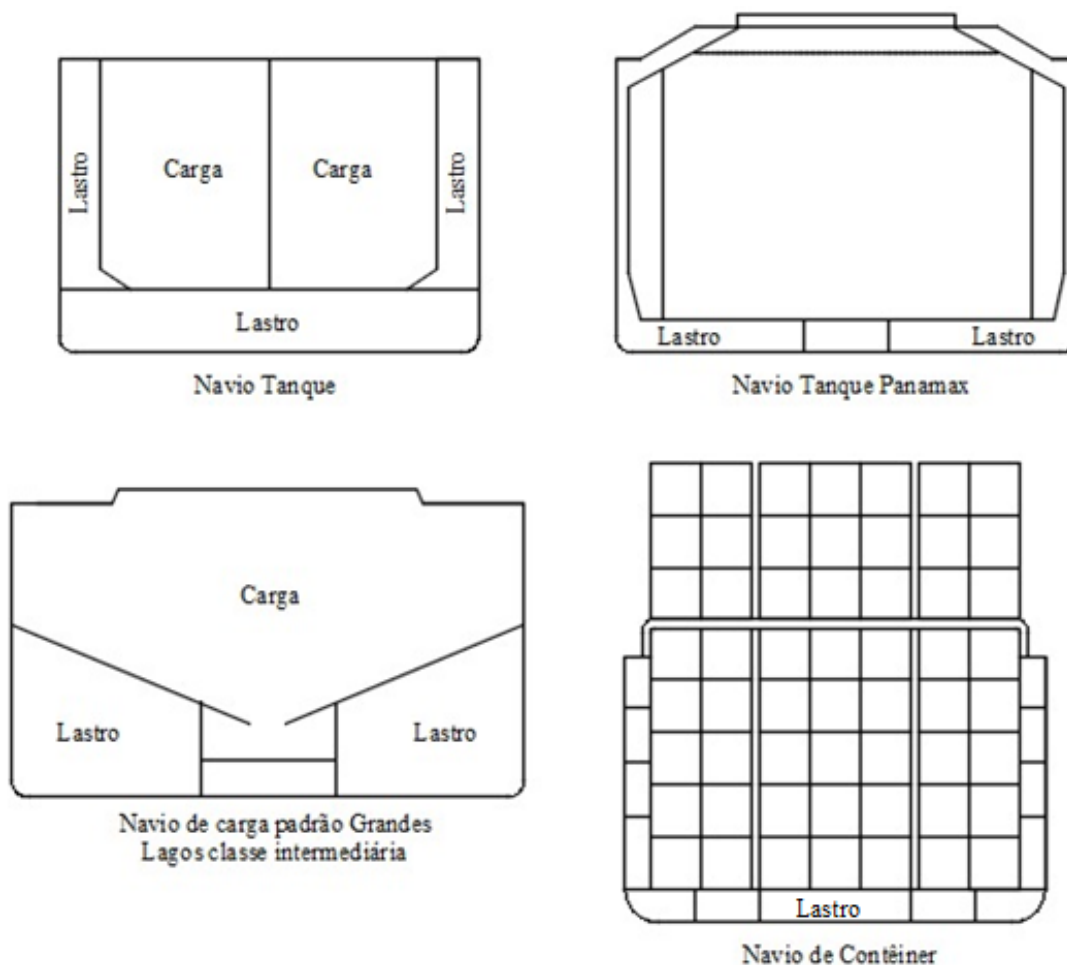


Fonte: Adaptado de Lima (2013)

O volume de lastro varia com o tipo do navio, podendo ser de dezenas de metros cúbicos em navios menores até centenas de milhares de metros cúbicos em grandes navios de carga. De acordo com Kim (2013), as embarcações, em condições normais de lastro, podem conter água de lastro de 30% a 40% do seu porte bruto e, de 38% a 57% em condição de lastro pesado, que é quando o navio está sem carga nenhuma e precisa de mais lastro (FORTE, 2019; KIM, 2013).

Anteriormente, os navios transportavam a água de lastro nos porões de carga, ou seja, após a carga ser descarregada do porão, este era preenchido com a água de lastro. Atualmente as embarcações possuem tanques especiais para o lastro. As localizações e formas desses tanques variam de acordo com os tipos de embarcação (PEREIRA, 2012). A Figura 3 mostra os tipos de arranjos de tanques de lastro mais encontrados em navios de carga.

Figura 3 – Tipos de arranjos de tanques de lastro em navios mercantes.



Fonte: Adaptado de PEREIRA (2012)

Estima-se que o transporte marítimo mova, globalmente, cerca de 10 bilhões de toneladas de água de lastro a cada ano (KIM, 2013). Há transferência significativa dela entre diferentes continentes e oceanos, causando o transporte, não intencional, de uma vasta gama de organismos, servindo de vetor para a translocação de espécies exóticas invasoras e patógenos em todo o mundo, provocando uma série de implicações para o meio ambiente (CARLTON; GELLER, 1993; DAVID; GOLLASCH, 2016; KIM, 2013; PEREIRA, 2018; RATA; GASPAROTTI; RUSU, 2018).

## 2.2 IMPACTOS DA ÁGUA DE LASTRO

Com o avanço tecnológico do transporte marítimo, os navios passaram a ser utilizados com maior frequência, tornando-se maiores e mais rápidos. Em contrapartida, este transporte tem muitos impactos negativos bem documentados na saúde humana e ambiental.

A poluição marinha é a que causa maior impacto, sendo que a mais evidente das poluições marinhas é a da água de lastro (CARLTON; GELLER, 1993; GERHARD; GUNSCH, 2018; PEREIRA et al., 2016; SOLER-FIGUEROA et al., 2020; WERSCHKUN et al., 2014).

Desde que as pessoas começaram a viajar em navios, elas carregaram inadvertidamente “pragas”, incluindo doenças, ratos e organismos marinhos, em grande parte, despercebidos. Um exemplo disso é a água de lastro dos navios que, há mais de 90 anos, foi identificada pela primeira vez como vetor para a translocação não intencional de espécies exóticas potencialmente invasoras. Atualmente, espécies exóticas invasoras são encontradas em 84% das 232 ecorregiões marinhas existentes no mundo. Estima-se que a cada nove semanas novas espécies invasoras sejam introduzidas no ecossistema, sendo que a descarga da água de lastro das embarcações é identificada como um vetor líder na invasão destas espécies (BAX et al., 2003; LAKSHMI; PRIYA; ACHARI, 2021; KARAHALIOS, 2017).

Uma grande variedade de organismos, incluindo bactérias e outros micróbios, ovos, cistos e larvas de várias espécies, entram nos tanques de lastro das embarcações quando a água circundante é bombeada a bordo. A qualquer momento, cerca de 10000 espécies diferentes estão sendo transportadas entre regiões biogeográficas apenas em tanques de lastro (BAX et al., 2003). Mas, nem todas as espécies sobrevivem no ambiente que foram introduzidas. Para uma espécie se estabelecer depende de vários fatores como: características biológicas das espécies e condições do meio ambiente onde elas estão sendo introduzidas; o clima; o número de indivíduos introduzidos (número suficiente para o estabelecimento de uma população); a competição com espécies nativas; e a disponibilidade de alimentos (BAX et al., 2003; CAMPARA et al., 2019; HESS-ERGA et al., 2019; KIM, 2013).

No entanto, por mais que a taxa de sobrevivência em um novo ambiente seja mínima, uma vez que estas espécies sobrevivam na jornada e sejam introduzidas em um ambiente estranho, elas podem se tornar “pragas” ou “invasoras”, resultando em impactos significativos para o novo ambiente. Estudos apontam que os impactos econômicos diretos decorrentes das invasões aquáticas conhecidas atualmente excedam 100 bilhões de dólares por ano (KIM, 2013; NANAYAKKARA et al., 2011; WERSCHKUN et al., 2014).

Em várias partes do mundo há inúmeros casos relatados de invasões de espécies, transportadas por meio da água de lastro, tais como:

- Dinoflagelados tóxicos;
- Água viva (*Mnemiopsis leidyi*);
- Mexilhão Zebra (*Dreissena polymorpha*);

- Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*);
- Bactéria *Vibrio cholerae*;
- Algas tóxicas.

Em relação ao Brasil, vale salientar que a espécie invasora mais popular é o mexilhão dourado “*Limnoperna fortunei*”, um molusco originário da Ásia que nos últimos 30 anos vêm expandindo sua distribuição em vários ambientes aquáticos do mundo: Hong Kong, Japão, Taiwan e países da América do Sul (Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai). No Brasil, o impacto do mexilhão dourado tem sido grande, sendo um problema de utilidade pública, uma vez que a espécie oferece riscos a todos os setores que desenvolvem atividades associadas ao uso de água. A Usina Hidrelétrica de ITAIPU sofre com a proliferação deste mexilhão, gastando valores exorbitantes em cada parada para fazer a retirada desta espécie. A Figura 4 mostra a presença dos mexilhões na usina de ITAIPU (PEREIRA, 2018).

Figura 4 – Mexilhão dourado na Usina de ITAIPU.



Fonte: ITAIPU (2022)

Observando os impactos negativos relativos à água de lastro dos navios, diversas leis, regulamentações e normas têm sido desenvolvidas por todas as autoridades mundiais. Em 2004, a Organização Marítima Internacional (IMO) adotou a Convenção Internacional para Controle e Gerenciamento da Água de Lastro e Sedimentos de Navios (Convenção BWM – “Ballast Water Management”), assunto abordado no próximo item.

### 2.3 CONVENÇÃO INTERNACIONAL PARA CONTROLE E GERENCIAMENTO DA ÁGUA DE LASTRO E SEDIMENTOS DE NAVIOS

A importância da água de lastro como vetor para a translocação não intencional de espécies não nativas foi inicialmente abordada em 1973 na Conferência Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios, onde foi solicitada a IMO e a Organização Mundial da Saúde (OMS) que iniciassem estudos sobre este problema. Mas, somente na década de 1990 a IMO, através do seu Comitê de Proteção do Meio Ambiente (MEPC), desenvolveu diretrizes para o controle e gerenciamento da água de lastro dos navios, ao mesmo tempo em que se preparava para um tratado internacional vinculante (DAVID; GOLLASCH, 2015, 2016; DAVID; GOLLASCH; PAVLIHA, 2013; GOLLASCH et al., 2007).

Após mais de 20 anos de trabalho com a água de lastro, foi adotada em 2004 a Convenção Internacional para o Controle e Gerenciamento da Água de Lastro e Sedimentos de Navios (Convenção BWM), cujo objetivo é prevenir o risco de introdução e proliferação de espécies não nativas após a descarga de água de lastro não tratada dos navios (DAVID; GOLLASCH, 2015; DAVID; GOLLASCH; PAVLIHA, 2013; GERHARD; GUNSCH, 2018; UNCTAD, 2019; WERSCHKUN et al., 2014).

Embora a Convenção BWM tenha sido adotada internacionalmente em 13 de fevereiro de 2004, a mesma estabeleceu, no Art. 18, que só entraria em vigor 12 meses após a data em que não menos de 30 países, cujas frotas mercantes combinadas constituíssem não menos que 35% da arqueação bruta da frota mundial, tivessem assinado. Em setembro de 2016, 12 anos após a adoção, a Convenção BWM finalmente atingiu os parâmetros estabelecidos em seu Art. 18 e entrou em vigor (IMO, 2004).

Com o tratado em vigor, todas as embarcações são obrigadas a gerenciar sua água de lastro atendendo aos padrões estabelecidos pela Convenção BWM. O padrão de troca de água de lastro (Padrão D-1) exige que as embarcações troquem e liberem pelo menos 95% do volume da água de lastro a pelo menos 200 milhas náuticas da costa e em águas com pelo menos 200 metros de profundidade. Já o padrão de desempenho da água de lastro (Padrão D-2) exige que a mesma, após seu descarregamento, contenha organismos viáveis apenas em números abaixo dos limites especificados (Tabela 2) através de um sistema de tratamento a bordo do navio (DAVID; GOLLASCH, 2016; IMO, 2004; UNCTAD, 2019; WERSCHKUN et al., 2014).



Tabela 2 – Padrão de Desempenho da Água de Lastro (Padrão D-2).

<b>Organismos/ indicadores e classe de tamanho</b>	<b>Número máximo permitido em água descarregada de acordo com o regulamento (UFC = Unidade formadora de colônias)</b>
Organismos viáveis tamanho $\geq 50 \mu\text{m}$ na dimensão mínima	< 10 por $\text{m}^3$
Organismos viáveis $10 \leq$ tamanho < $50 \mu\text{m}$ na dimensão mínima	< 10 por mL
<i>Vibrio cholera</i>	< 1 UFC por 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	< 250 UFC por 100 mL
<i>Enterococcus faecalis</i>	< 100 UFC por 100 mL

Fonte: Adaptado de IMO (2004)

Até 2016, as embarcações existentes deveriam optar por seguir o padrão D-1 ou padrão D-2 para gerenciar a água de lastro. Entretanto, por não oferecer uma proteção completa contra a introdução de espécies e, em determinadas situações, ser impossível de ser realizado por questões de segurança, foi proposto que após 2016 o Padrão D-1 não seria mais aceito, sendo o Padrão D-2 a única opção para o tratamento da água de lastro (IMO, 2004). Porém, durante a reunião do *Marine Environment Protection* (MEPC-71), realizada em julho de 2017, decidiu-se que o cumprimento do padrão D-2 para os navios existentes estaria vinculado à data de renovação do *International Oil Pollution Prevention Certificate* (IOPPC). Já as embarcações construídas em ou após oito de setembro de 2017 deveriam atender ao Padrão D-2, conforme estipulado na Convenção (IMO, 2017).

Com isso, espera-se que até 2024 todos os navios tenham um sistema de tratamento de água de lastro Padrão D-2 instalado que seja aprovado pela IMO. Logo, há uma crescente busca por sistemas que sejam eficazes e economicamente e ecologicamente viáveis.

## 2.4 IMPLEMENTAÇÃO DA CONVENÇÃO BWM NO BRASIL

O Brasil foi o segundo país a assinar a Convenção Internacional sobre Controle e Gerenciamento de Água de Lastro e Sedimentos de Navios em 25 de Janeiro de 2005, porém só teve ratificação em 14 de abril de 2010 (LIMA, 2013).

No Brasil é responsabilidade da Diretoria de Portos e Costas (DPC) da Marinha do Brasil a gestão da água de lastro. A primeira regulamentação nacional para a gestão da água de lastro surgiu em outubro de 2005, denominada como NORMAM 20 (Norma de Autoridade Marítima – 20), vigente até o momento (2021) (PEREIRA, 2012).

### 2.4.1 NORMAM-20/DPC

A NORMAM-20 é o primeiro regimento nacional, de caráter obrigatório, para tratar da questão da água de lastro (LIMA, 2013). Sua finalidade é “estabelecer requisitos referentes à prevenção da poluição por parte das embarcações em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), no que tange ao Gerenciamento da Água de Lastro” (NORMAM-20, 2014).

A base fundamental inicial da referida Norma é a troca da água de lastro conforme os procedimentos estabelecidos pela Resolução de Assembleia da IMO A.868(20), de 1997, e pela Convenção BWM, que deve ser executada por todas as embarcações que descarregarem água de lastro nas AJB. A Norma também apresenta que conforme forem surgindo métodos mais avançados para o tratamento da água de lastro, esta será adaptada para atender aos novos métodos (NORMAM-20, 2014).

Em 2019, a Norma passou por uma revisão e detalhou todos os procedimentos relativos ao padrão de desempenho de água de lastro proposto pela Convenção BWM, incluindo também que todos os navios que forem descarregar nas AJB devem seguir aos padrões de desempenho da água de lastro (NORMAM-20, 2022).

Em março de 2022, o governo federal promulgou a Convenção BWM. Assim, todas as embarcações que atracarem nos portos brasileiros e que fazem uso de água de lastro, são obrigadas a gerencia-la seguindo o padrão D-2 da convenção, colocando assim em evidência a importância de estudos sobre os métodos de tratamento de água de lastro (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2022).

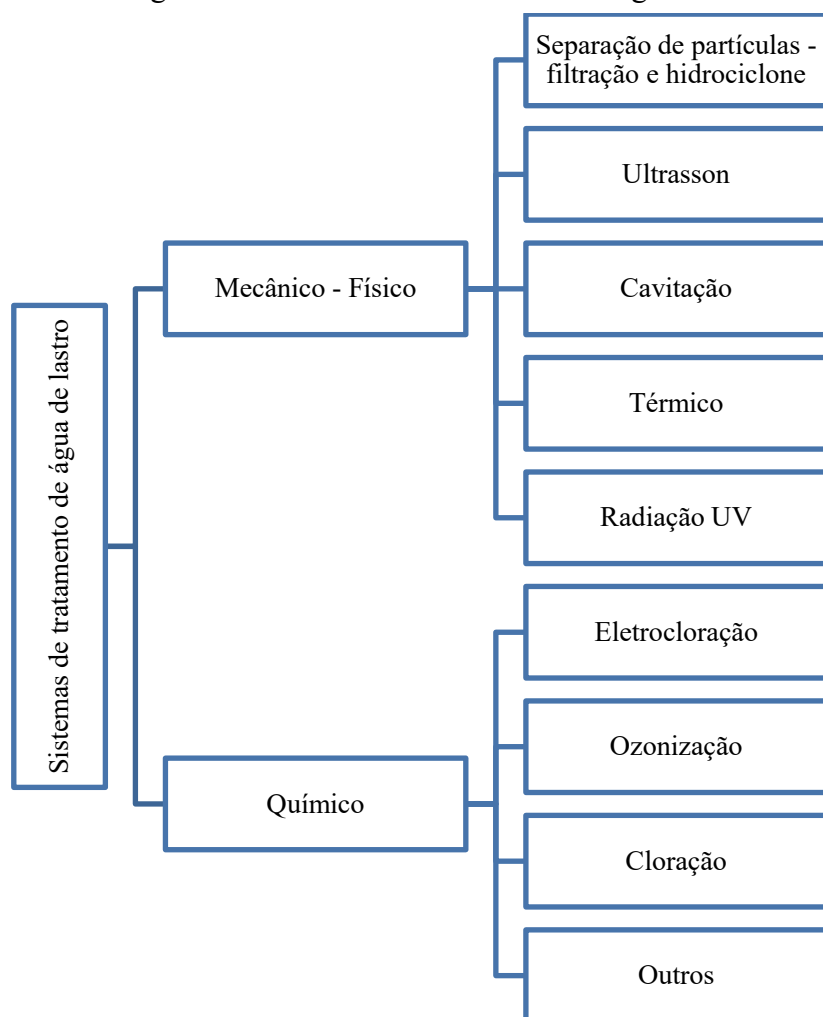
## 2.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE LASTRO

Desde a adoção da Convenção BWM e, principalmente, das diretrizes G8 para aprovação de sistemas de gerenciamento de água de lastro em 2005, um grande número de sistemas de tratamento de água de lastro (BWTS) foram desenvolvidos globalmente. O tratamento da água de lastro é geralmente realizado por filtração de organismos maiores, seguido pela desinfecção dos microrganismos menores, como fitoplâncton e bactérias. Há também, projetos com sistemas que tratam a água de lastro dentro dos portos, chamados de tratamento em terra (ALBERT et al., 2010; MORENO-ANDRÉS; PEPPERZAK, 2019).

A IMO (2019) divulgou uma lista com 83 sistemas de gerenciamento de água de lastro aprovados para uso. Os BWTS usam diferentes tipos de desinfecção como: eletrocloração, ozonização, radiação ultravioleta (UV), eletrólise, entre outros. A Figura 5

exemplifica os tipos de tratamento utilizados. Moreno-Andrés e Peperzak (2019) relatam que a radiação ultravioleta (UV) é a mais utilizada (48%), seguida por diferentes tipos de desinfecção química (36%) (IMO, 2020; MORENO-ANDRÉS; PEPERZAK, 2019; NAIK et al., 2019; SAYINLI et al., 2022).

Figura 5 – Sistemas de Tratamento de água de lastro.



Fonte: Adaptado de KIM et al. (2016)

### 2.5.1 Filtração

A filtração é uma técnica fundamental, ecologicamente correta e altamente eficaz para sistemas de tratamento de água de lastro. A filtragem remove sedimentos e microrganismos da água de lastro usando os princípios de peneiramento de tamanho de partícula e forças centrífugas. A filtração na maioria das vezes é utilizada junto com outros tratamentos, pois sozinha não possui eficácia na remoção de organismos (ALBERT et al., 2010; MORENO-ANDRÉS; PEPERZAK, 2019; SAYINLI, 2022).

### **2.5.2 Separação ciclônica**

A separação ciclônica é uma técnica que separa partículas sólidas ou fases líquidas por diferença de densidade. Este método é baseado em forças centrífugas sob a influência do movimento rotacional. O material com maior densidade, através do alto movimento rotacional e das forças centrífugas, se move pelo fundo do hidrociclone, que inicia o acúmulo de sedimentos, enquanto o material mais leve e a água saem do equipamento (SAYINLI et al., 2022a).

Este sistema de tratamento possui desvantagens, pois necessita de uma alta velocidade de rotação, adição de produtos químicos, diferença na densidade e tamanho das partículas, baixa turbidez, entre outros. E, sozinho não possui elevada eficácia, sendo necessário combiná-lo com outro tratamento (SAYINLI et al., 2022a).

### **2.5.3 Tratamento térmico**

O tratamento térmico vem sendo estudado como possível sistema de tratamento para água de lastro desde 1993, mas, ainda assim, não é muito utilizado. Neste tipo de tratamento a desinfecção acontece pela alta sensibilidade dos microrganismos à diferenças bruscas de temperatura (QUILEZ-BADIA et al., 2008; SAYINLI et al., 2022a).

Este método de tratamento possui como vantagens a alta eficácia de eliminação de microrganismos e não leva à geração de subprodutos prejudiciais. Além disso, o calor residual produzido pelo motor do navio pode ser recuperado e canalizado através do sistema de tratamento de água de lastro. Como desvantagens, o tratamento térmico necessita de longos tempos de operação, o aumento da demanda de energia e a possibilidade de corrosão dos tanques de lastro (QUILEZ-BADIA et al., 2008; SAYINLI et al., 2022a).

### **2.5.4 Tratamento com radiação UV**

A luz ultravioleta (UV) penetra nas membranas celulares dos microrganismos e prejudica o DNA dentro das células e da estrutura celular. A ruptura no DNA e na estrutura celular resulta na inativação dos organismos. Quando esta radiação é aplicada em um sistema de tratamento de água de lastro os organismos são inativados com alta eficiência (CASAS-MONROY et al., 2018; DAVIDSON et al., 2017; DIVINO LARA, 2007; LIM et al., 2020; OLSEN et al., 2016; WANG et al., 2018).

A eficiência da utilização da radiação UV como tratamento de água de lastro depende de alguns fatores como: tipo de lâmpada UV (uma lâmpada UV de baixa pressão emite radiação UV-C causando danos ao DNA, e uma lâmpada UV de média pressão emite UV-A, UV-B, e radiação UV-C, resultando em danos ao DNA, proteínas e enzimas), seu comprimento de onda, dose de radiação, tempo de exposição, temperatura, distância entre o campo aplicado e a fonte de luz, e as condições de tratamento, tais como o conteúdo microbiológico da água de lastro, a variedade, tamanho, estrutura e morfologia dos microrganismos, a salinidade, e a presença de turbidez (CASAS-MONROY et al., 2018; DAVIDSON et al., 2017; DIVINO LARA, 2007; LIM et al., 2020; OLSEN et al., 2016; SAYINLI et al., 2022; WANG et al., 2018).

Um dos principais fatores que diminuem drasticamente a eficiência da desinfecção por radiação UV é a alta turbidez, a presença de sedimentos ou uma alta concentração de matéria orgânica dissolvida. Logo, uma pré-filtragem antes do tratamento com UV se faz necessária (CASAS-MONROY et al., 2018; DAVIDSON et al., 2017; DIVINO LARA, 2007; LIM et al., 2020; OLSEN et al., 2016; SAYINLI et al., 2022; WANG et al., 2018).

As desvantagens deste tratamento são: muitos microrganismos apresentam alta resistividade à radiação UV em virtude de seu tamanho e morfologia e a necessidade de combiná-lo com outros tipos de tratamento para melhorar a sua eficácia (CASAS-MONROY et al., 2018; LUNDGREEN et al., 2019; MORENO-ANDRÉS et al., 2017; ROMERO-MARTÍNEZ et al., 2020; SAYINLI et al., 2022a).

### **2.5.5 Tratamento químico**

Com a adição química ou aplicação de um campo elétrico, o tratamento químico baseia-se na geração de biocidas oxidantes e não oxidantes. Os biocidas inativam e eliminam microrganismos prejudiciais. As técnicas utilizadas para a produção de biocidas oxidantes podem ser agrupadas em cloro, dióxido de cloro, desinfecção eletroquímica, eletrocloração, ozonização, peróxido de hidrogênio, descarga de ionização forte, ácido peracético e tratamentos de desoxigenação. Como biocidas não oxidantes podem ser utilizados naftoquinonas, glutaraldeído, acroleína e lipídios sintéticos para tratar a água de lastro dos navios (MARANDA et al., 2013; MORENO-ANDRÉS et al., 2018; SANO et al., 2004; SAYINLI et al., 2022a; ZHANG et al., 2018; ZIEGLER; TAMBURRI; FISHER, 2018).

#### *2.5.5.1 Cloração*

O processo de cloração para tratar a água de lastro envolve a dissolução de gás cloro ou sal hipoclorito na água tratada, seguido por uma reação química com a água para gerar ácido hipocloroso, ácido clorídrico e íon hipoclorito. Uma concentração específica de cloro se faz necessária para inativar diferentes tipos de microrganismos. A grande desvantagem deste método é a formação de subprodutos de desinfecção que causam toxicidade e problemas a saúde humana e desequilíbrio da vida e biota aquática (DANG et al., 2016; GREGG; RIGBY; HALLEGRAEFF, 2009; TAKAHASHI et al., 2008; ZHANG et al., 2004).

#### *2.5.5.2 Ozonização*

O tratamento por ozonização é realizado com a geração de ozônio através da conversão de oxigênio gasoso dentro das unidades geradoras de ozônio. Durante a ozonização, o ozônio reage rapidamente com íons brometo da água do mar, resultando na formação do ácido hipobromoso, hipobromito e bromato, que inativam bactérias, fitoplâncton e zooplâncton. Este método torna-se mais eficaz se combinado com outras técnicas de tratamento (MONZINGO; REYNOLDS; VAN SLYKE, 2011; SAYINLI et al., 2022b; WU et al., 2017).

#### *2.5.5.3 Eletrocloração*

A eletrocloração é um dos métodos mais econômicos para desinfecção da água, principalmente se comparado ao método de cloração. Este método é baseado na produção de hipoclorito via eletrólise da água do mar. Enquanto a água do mar passa por uma célula eletrolítica, os gases cloro e hidrogênio são produzidos sob corrente contínua. A interação do gás cloro com água resulta na geração de hipoclorito e ácido hipocloroso. A eficiência do método de eletrocloração depende diretamente da concentração de ácido hipocloroso, ou seja, a redução da concentração de ácido hipocloroso leva a uma diminuição na eficiência da desinfecção (BATISTA et al., 2017; KWON et al., 2015; NANAYAKKARA et al., 2011; SAYINLI et al., 2022b).

## 2.6 SÍNTESE INTEGRADORA

Segundo estudos desenvolvidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), os cinco tipos de tratamentos de água de lastro listados abaixo demonstraram atender ao padrão D-2 da IMO. O nível de eficácia resultou em uma redução de 10000 vezes no número de organismos vivos (EPA, 2011).

- Desoxigenação + cavitação;
- Filtração + dióxido de cloro;
- Filtração + UV;
- Filtração + UV + TiO<sub>2</sub>;
- Filtração + eletrocloração.

Segundo a UNCTAD, dos 95402 navios no banco de dados marítimo da organização, 7,66% instalaram ou encomendaram um sistema de tratamento de água de lastro. A Tabela 3 apresenta a porcentagem de cada tipo de navio que possui um sistema de tratamento de água de lastro instalado. Entre os 50 principais Estados de bandeira em número de navios, os registros com melhor desempenho para sistemas de tratamento de água de lastro são a Ilha de Man (33,33%), a China (30,47%) e as Ilhas Marshall (28,66%). O Brasil aparece com uma parcela de 2,10%, ou seja, uma parcela pequena de navios está com sistemas de tratamento de água de lastro instalado a bordo (UNCTAD, 2019).

Tabela 3 – Percentual de embarcações com sistema de tratamento de água de lastro instalado.

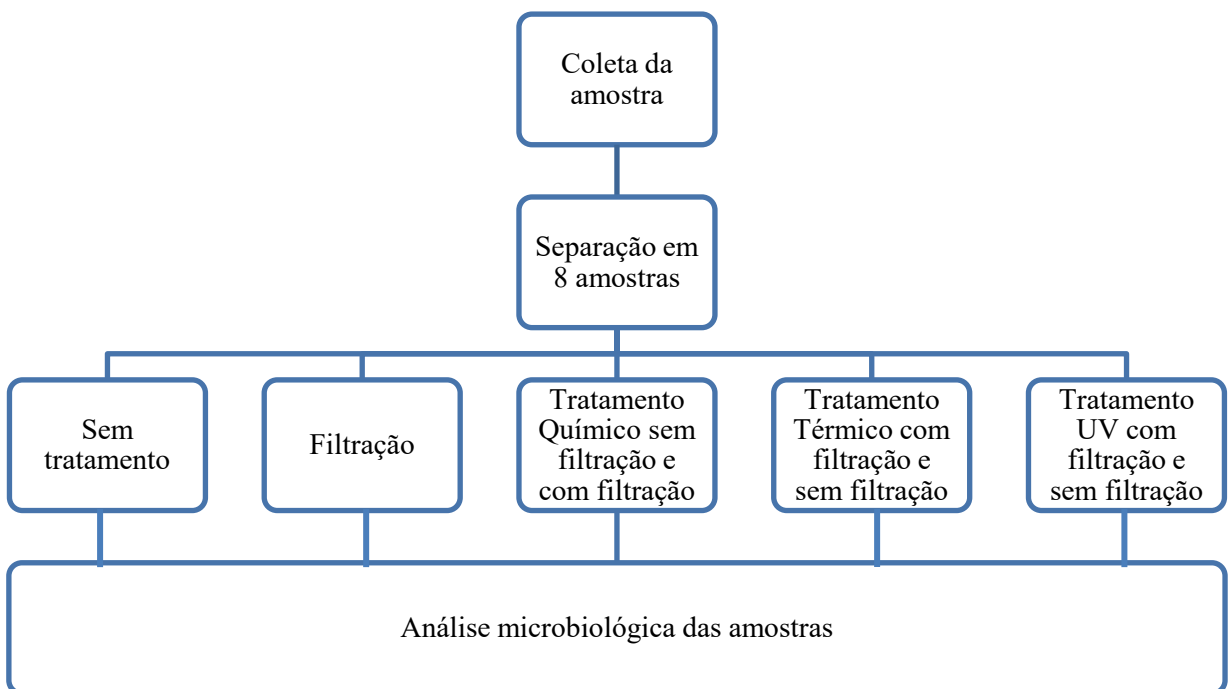
<b>Tipo de embarcação</b>	<b>Percentual de embarcações equipadas com sistemas de tratamento de água de lastro (%)</b>
Graneleiros	23,32
Petroleiros	22,71
Porta-contêineres	18,88
Navios de passageiros	1,36
Carga Geral	2,16
Metaneiro ou GNL	28,76
Navio de apoio a plataforma de petróleo (PSV)	2,37
Outros	2,82
<b>Total</b>	<b>7,66</b>

Fonte: Adaptado de UNCTAD (2019)

### 3 METODOLOGIA

O presente capítulo detalha o processo de desenvolvimento do trabalho, onde foi coletada uma amostra de água da baía da Babitonga que passou por tratamento físico e/ou químico para verificar a eficiência dos processos utilizados na eliminação de coliformes totais e termotolerantes em uma água que pode ser utilizada como água de lastro. A Figura 6 apresenta a metodologia dos ensaios que foram realizados neste trabalho.

Figura 6 – Fluxograma da metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho.



Fonte: A Autora (2022)

Os ensaios e análises das amostras foram realizados nas dependências do CTJ/UFSC Campus de Joinville no Laboratório de Polímeros e Materiais Compósitos (LPMC) e no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) da UFSC Campus Florianópolis.

#### 3.1 COLETA DA AMOSTRA

A amostra de água do mar que foi utilizada para o experimento foi coletada aproximadamente 10 centímetros abaixo da superfície na baía da Babitonga, em uma localização próxima ao Porto de São Francisco do Sul. As Figuras 7 e 8 apresentam o local onde foi realizada a coleta.



Figura 7 – Ponto de coleta da amostra de água.



Fonte: Adaptado (Google Earth, 2022)

Figura 8 – Local da retirada da amostra para a realização deste estudo.



Fonte: A Autora (2022)

Esta área de estudo foi escolhida devido à importância deste porto para o estado de Santa Catarina. De acordo com Culleton (2022), dos 34 portos públicos brasileiros, o Porto de São Francisco do Sul é o 7º maior porto público em movimentação de cargas. A quantidade

de mercadoria transportada a partir do Porto de São Francisco do Sul foi de 13,6 milhões de toneladas em 2021.

O frasco de coleta, um galão com capacidade de cinco litros, foi esterilizado com água sanitária. Após lavagem com água destilada, foram acrescentados 12,5 mL de uma solução de Tiosulfato de Sódio (3 gramas de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) em 100 mL de água destilada para estabilizar a água coletada.

Após ser preenchido por completo, o galão foi fechado ainda dentro da água para evitar a entrada de oxigênio e assim provocar possíveis alterações na água coletada, interferindo nos resultados. Posteriormente a coleta, o galão contendo a amostra foi acondicionado em caixa térmica com gelo e transportado ao Laboratório de Polímeros e Materiais Compósitos da UFSC Campus Joinville, onde foi mantido sob refrigeração até o início das análises, em um período não superior a 24 horas.

### 3.2 ENSAIOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA COLETADA

A água coletada foi dividida em oito amostras em frascos de vidro devidamente esterilizados em autoclave a 121 °C durante 20 minutos para serem filtradas e tratadas ou somente tratadas sem a utilização de um processo de filtração anterior. Para isto, os frascos de vidro foram identificados como mostra o Quadro 1. A Figura 9 apresenta alguns frascos esterilizados e marcados com os códigos descritos no Quadro 1 contendo as amostras.

Quadro 1 – Identificação das amostras.

<b>Código</b>	<b>Identificação da amostra</b>
<b>Amostra B</b>	Branco - Água sem tratamento
<b>Amostra F</b>	Filtrada
<b>Amostra TQ</b>	Tratamento químico
<b>Amostra TQF</b>	Tratamento químico após filtração
<b>Amostra TT</b>	Tratamento térmico
<b>Amostra TTF</b>	Tratamento térmico após filtração
<b>Amostra UV</b>	Tratamento com radiação UV
<b>Amostra UVF</b>	Tratamento com UV após filtração

Fonte: A Autora (2022)

Figura 9 – Frascos esterilizados e identificados contendo as amostras.



Fonte: A Autora (2022)

Após a identificação, a água foi separada nos diferentes frascos em uma câmara de fluxo laminar utilizando béqueres esterilizados, onde cada amostra continha 600 mL de água. Para as amostras sem tratamento (amostra B) foram colocados 100 mL de água em três frascos identificados para a realização das análises em triplicata. Em cada uma destas amostras foram coletadas a temperatura e o pH, de modo a ser possível comparar com os resultados após os tratamentos físicos e químicos.

Após os tratamentos, as amostras tratadas e o Branco foram armazenados no escuro em uma Incubadora Orbital com Controle de Temperatura (*Shaker*) durante cinco dias sob agitação (30 rpm) e temperatura de 30 a 32 °C para simular o tanque de água de lastro durante uma viagem de navio. Após este período, as amostras foram analisadas microbiologicamente para determinar a quantidade de coliformes totais e termotolerantes presentes.

### 3.2.1 Filtração

As amostras F, TQF, TTF e UVF foram filtradas usando um aparato de filtração à vácuo conforme a Figura 10, composto por uma bomba de vácuo, um kitasato (utilizado como *trap*) e um sistema de filtração Milipore. Para tal utilizou-se um filtro de membrana de acetato de celulose da empresa Milipore™, com porosidade de 0,45 µm e diâmetro de 47 mm.

Figura 10 – Aparato utilizado no processo de filtração a vácuo.



Fonte: A Autora (2022)

Antes do início da filtração, foram obtidas as massas das membranas utilizadas com o objetivo de determinar a quantidade de material suspenso presente na água coletada na baía da Babitonga utilizando o processo de gravimetria. Nesta determinação, as membranas foram pesadas antes de sua utilização ( $m_i$ ) e, após a filtração e secagem em estufa à 50 °C, foi determinada a sua massa final ( $m_f$ ), sendo determinada a massa de material suspenso presente na amostra utilizando a diferença entre  $m_f$  e  $m_i$ .

Um béquer com 600 mL de água coletada foi agitado e dividido, utilizando uma proveta, em três outros béqueres de 200 mL, representando as três amostras F. Cada uma dessas amostras foi totalmente filtrada, ou seja, foram realizadas três filtrações com 200 mL de água coletada. Após cada filtração mediu-se o pH e a temperatura e, com ajuda de uma proveta, 100 mL do permeado foi transferido para os frascos de vidro nomeados como F1, F2 e F3, e armazenados no agitador orbital sob agitação e temperatura controladas conforme descrito anteriormente.

Outros três béqueres de 600 mL foram preparados com água coletada, sendo cada amostra agitada e totalmente filtrada como descrito acima. Após a filtração, foram nomeadas como TQF, TTF e UVF e separadas para a realização dos processos subsequentes de cloração, tratamento térmico e tratamento com radiação UV.

### 3.2.2 Tratamento Químico

A solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) (com 2,5% p/p de cloro ativo) foi usada para testar o efeito desinfetante do cloro. A concentração de cloro residual, diluída da solução de NaOCl, foi de 0,12 mg, pois de acordo com Dang et al. (2016), a quantidade ideal de cloro ativo para ação desinfetante é de 0,2 mg/L. Como as amostras possuíam 600 mL, o proporcional foi de 0,12 mg, ou seja, 1,2 mL de NaOCl. As Equações 1, 2 e 3 mostram esta proporcionalidade. Essa quantidade foi adicionada a dois béqueres: um contendo 600 mL da água coletada na baía da Babitonga (TQ) e outro com 600 mL da amostra filtrada previamente (TQF). A Figura 11 apresenta o processo de separação das amostras. Após a adição do hipoclorito de sódio, os béqueres ficaram sob agitação por 1 minuto utilizando-se um agitador magnético. Foram medidos então o pH e a temperatura de cada amostra (DANG et al., 2016; GREGG; RIGBY; HALLEGRAEFF, 2009; LIM et al., 2020).

$$0,2 \text{ mg} \rightarrow 1000 \text{ mL (1 L)} \quad (1)$$

$$x \rightarrow 600 \text{ mL} \quad (2)$$

$$x = 0,12 \text{ mg} \quad (3)$$

Os béqueres contendo as amostras TQ e TQF foram agitados e separados dentro do Fluxo Laminar com a utilização de uma proveta - 100 mL do permeado da amostra TQ foi transferido para frascos de vidro nomeados como TQ1, TQ2 e TQ3. Repetiu-se o mesmo processo para a amostra TQF. Os frascos de vidro contendo estas amostras foram armazenadas por cinco dias no escuro sob agitação com temperatura controlada, simulando uma viagem de navio.

Figura 11 – Separação das amostras para tratamento químico.



Fonte: A Autora (2022)

### 3.2.3 Tratamento Térmico

Para a realização do tratamento térmico, foram preparados dois béqueres contendo 600 mL de água transferidos a partir do galão armazenada sob refrigeração. Os béqueres foram então colocados em agitadores magnéticos com aquecimento (modelo HJ-4) a uma temperatura aproximada de 80 °C por 60 minutos sob agitação utilizando uma barra magnética, como mostrado na Figura 12. Após o resfriamento, e com a utilização de fitas indicadoras de pH e um termômetro, foram medidos o pH e a temperatura das duas amostras. Após, utilizando uma proveta, as amostras foram divididas nos frascos de vidro esterilizados previamente nomeados como TT1, TT2 e TT3, para as amostras sem filtração tratadas termicamente, e TTF1, TTF2 e TTF3 para as amostras com filtração e tratamento térmico. Em cada frasco foram colocados 100 mL de água. Todos os frascos foram colocados no *Shaker* e mantidos no escuro por cinco dias sob agitação com a temperatura controlada, simulando uma viagem de navio.

Figura 12 – Tratamento térmico nas amostras TT e TTF em agitadores magnéticos de aquecimento.



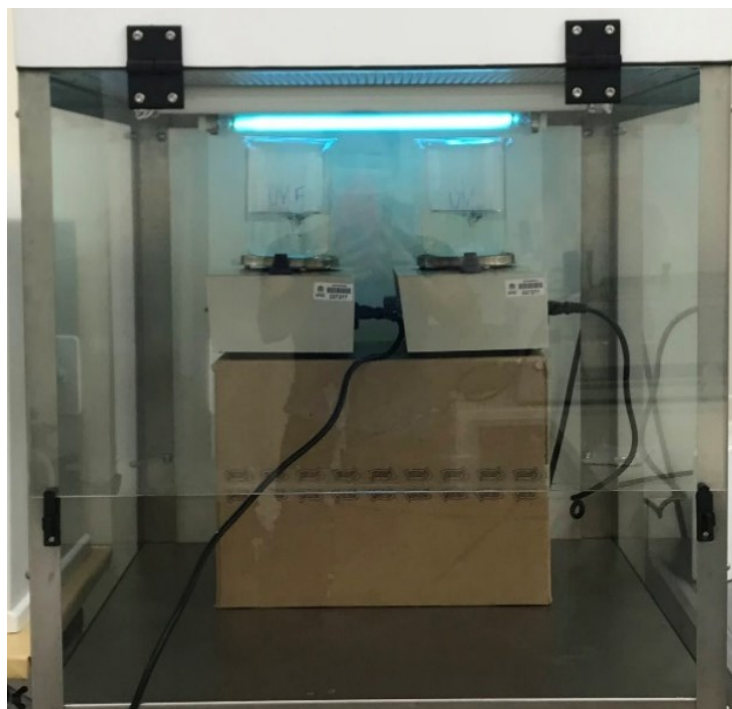
Fonte: A Autora (2022)

### 3.2.4 Tratamento com Radiação UV

O tratamento com radiação ultravioleta (UV) foi realizado utilizando uma lâmpada emitindo luz ultravioleta a 254 nm (UV-C) contida na Capela de Fluxo Laminar. Inicialmente o intuito era produzir um sistema que acoplasse a lâmpada UV em um tubo de vidro que permitisse a radiação da água ao seu redor, reproduzindo assim um sistema de tratamento com radiação UV real. Devido as dificuldades técnicas e financeiras impostas pela pandemia da Covid-19, as amostras foram irradiadas a luz ultravioleta da lâmpada UV do Fluxo Laminar do laboratório, simulando aproximadamente o processo realizado a bordo de um navio.

As duas amostras de água, uma com 600 mL de água coletada filtrada e a outra com 600 mL de água coletada sem filtração, foram expostas a radiação por 60 minutos sob agitação (agitador modelo HJ-4) dentro da Capela de Fluxo Laminar, como mostrado na Figura 13. Após isso, cada amostra foi dividida em três frascos de vidro contendo 100 mL de água, sendo então colocadas sob agitação no escuro durante 5 dias no *Shaker* com a velocidade de agitação e temperatura controladas. Também, após a exposição, mediu-se a temperatura e verificou-se o pH das amostras tratadas (CASAS-MONROY et al., 2018; DAVIDSON et al., 2017; DIVINO LARA, 2007; LIM et al., 2020; OLSEN et al., 2016; WANG et al., 2018)

Figura 13 – Tratamento com radiação UV nas amostras coletadas.



Fonte: A Autora (2022)

As amostras resultantes dos processos de filtração e filtração mais cloração química, filtração mais tratamento térmico, filtração mais radiação ultravioleta, juntamente com a amostra Branca, em frascos de vidro devidamente nomeados e lacrados, foram colocadas dentro de uma caixa fechada em um Shaker com temperatura controlada entre 30 e 32 °C e velocidade de agitação de aproximadamente 30 rpm, conforme pode ver visto na Figura 14. Este procedimento foi realizado para simular o transporte da água nos tanques de lastro de uma embarcação durante uma viagem, que em média, dura 5 dias.



Figura 14 – Simulação de um tanque de água de lastro utilizando uma incubadora orbital com controle de temperatura (*shaker*).



Fonte: A Autora (2022)

### 3.3 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Após a incubação das amostras filtradas e tratadas com os processos físicos e químicos simulando uma viagem de navio, as mesmas foram levadas ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), da Universidade Federal de Santa Catarina Campus Florianópolis, onde foi realizada a análise microbiológica para determinar a presença ou a ausência de coliformes totais e coliformes termotolerantes.

As amostras sujeitas a esta análise foram nomeadas de acordo com a sua condição prévia e o tipo de tratamento, sendo as análises realizadas em duplicata, conforme mostra o Quadro 2. As amostras previamente filtradas foram descritas pela letra (F), as amostras sujeitas ao tratamento químico foram identificadas com a sigla TQ, as amostras sujeitas ao tratamento físico (radiação UV) pela sigla UV e o tratamento térmico pela sigla TT. Para que haja efeito comparativo aos métodos de tratamento e comparação da eficiência dos processos utilizados, faz-se necessária análise de uma amostra sem tratamento, representada como B.

Quadro 2 – Identificação das amostras para a análise microbiológica.

<b>Identificação da amostra</b>	<b>Condição prévia</b>	<b>Tipo de tratamento</b>
B1 (Branco)	-	-
B2 (Branco)		
B3 (Branco)		
F1	Filtração	-
F2		
F3		
TQ1	-	Tratamento Químico
TQ2		
TQ3		
TQF1	Filtração	Tratamento Químico
TQF2		
TQF3		
TT1	-	Tratamento Térmico
TT2		
TT3		
TTF1	Filtração	Tratamento Térmico
TTF2		
TTF3		
UV1	-	Radiação UV
UV2		
UV3		
UVF1	Filtração	Radiação UV
UVF2		
UVF3		

Fonte: A Autora (2022)

Para a realização da análise microbiológica foi utilizado o sistema IDEXX Quanti-Tray/2000 (método de quantificação simples para Colilert). Esse sistema fornece um método de quantificação semiautomatizado com base no modelo do Número Mais Provável – NMP (“Most Probable Number”, MPN) de acordo com os métodos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (IDEXX, 2022).

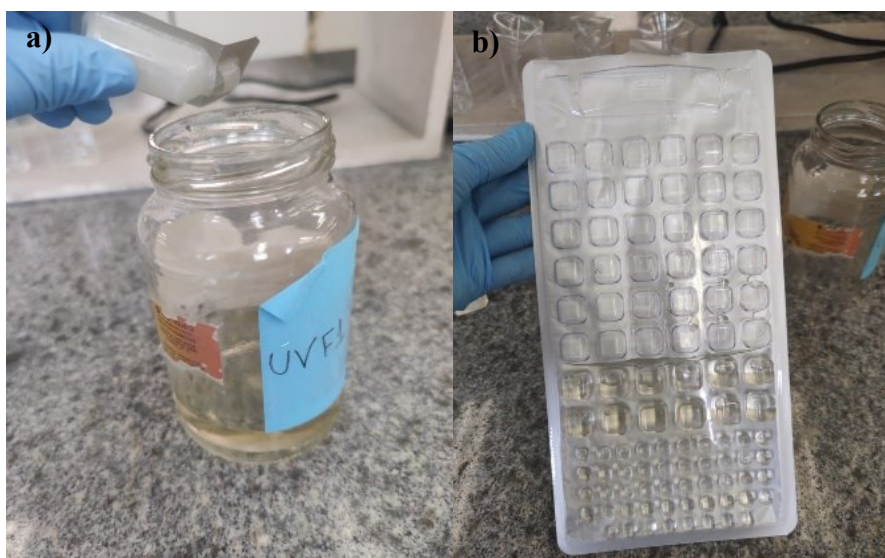
O Quanti-Tray/2000 possui o mesmo modelo estatístico que o método dos tubos múltiplos para 15 tubos. Porém, a diferença é que com o Quanti-Tray/2000 a amostra é automaticamente dividida em porções corretas, em cartelas, quando vedada pelo Quanti-Tray

Sealer PLUS. Cada cartela possui 97 cavidades que fornece contagens de até 2419 por cada 100 mL.

A Técnica de Tubos Múltiplos é uma técnica de análise quantitativa que permite saber o Número Mais Provável (NMP) de microrganismos presentes na amostra. É dividida em dois testes sucessivos: Presuntivo e Confirmativo. O teste Confirmativo só é realizado se houver crescimento positivo na etapa Presuntiva. No teste presuntivo é feita uma homogeneização e diluições da amostra para os tubos de ensaio com um meio, que serão incubados a  $(35 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  durante 24 a 48 horas e então identifica-se os tubos que apresentaram crescimento de coliformes totais (positivos). Já no teste confirmativo, uma pequena quantidade dos tubos positivos é colocada em tubos com um meio específico de análise, sendo estes tubos incubados a  $(35 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  durante 24 a 48 horas e analisados para a identificação dos que apresentarem crescimento de coliformes (positivos). A Técnica de Tubos Múltiplos é realizada, no mínimo, em 72 horas, sendo bastante complicada pela enorme quantidade de tubos que serão utilizados, sendo que o método Quanti-Tray/2000 consegue os mesmos resultados após apenas 22 horas.

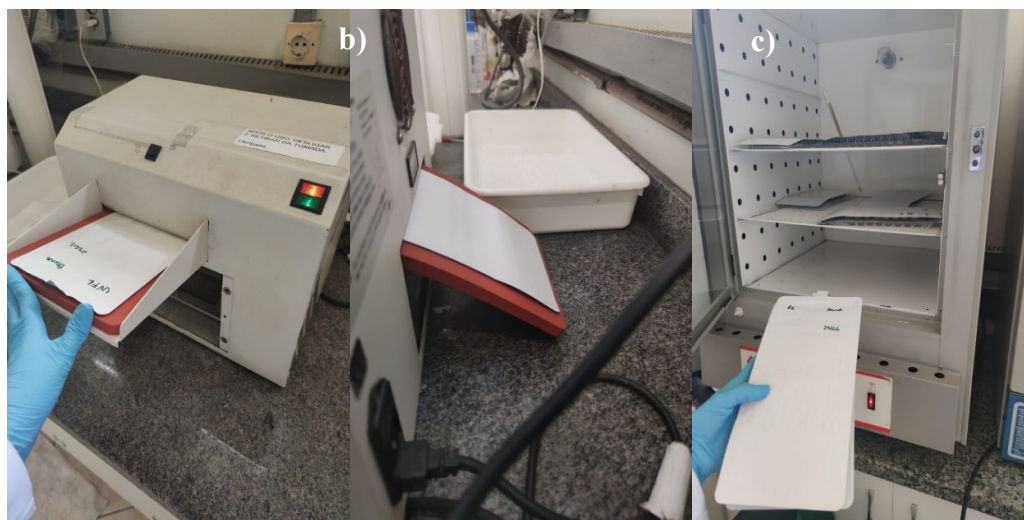
No método Quanti-Tray/2000 a análise foi iniciada inserindo-se o reagente do método Quanti-Tray/2000 na amostra de 100 mL. Após agitação para dissolver o reagente, a amostra foi transferida para a cartela, como mostra a Figura 15 as bandejas foram então seladas na seladora Quanti-Tray Sealer PLUS, nomeadas e levadas para a estufa a  $35^\circ\text{C}$ , sendo incubadas por 18 horas (Figura 16) (IDEXX, 2022).

Figura 15 – Adição da amostra com reagente na bandeja. a) Adição do reagente na amostra UVF1. b) Amostra com reagente inserida na cartela.



Fonte: LIMA (2022)

Figura 16 – Selagem e incubação das amostras. a) Cartela com a amostra inserida sendo colocada na seladora Quanti-Tray Sealer PLUS. b) Cartela com a amostra selada. c) Cartela com a amostra selada sendo colocada na estufa a 35 °C.



Fonte: LIMA (2022)

Após a incubação foi realizada a contagem dos poços positivos e, através da consulta a uma tabela, foi determinado o NMP de coliformes totais e termotolerantes presente em cada amostra para quantificá-los. A contagem dos coliformes totais foi feita comparando a cor da amostra na cartela com a cor da cartela padrão, as cavidades que estavam amarelas foram contadas como positivas e as cavidades sem cor como negativos, com a quantidade de cavidades positivas olhou-se a tabela do NMP e determinou-se a quantidade de coliformes totais.

Já a contagem de coliformes termotolerantes foi feita com a utilização de uma lâmpada UV a 15 cm da cartela em um ambiente escuro, as cavidades que estavam fluorescentes foram contadas como positivas, com a quantidade de cavidades positivas olhou-se a tabela do NMP e quantificou-se os coliformes termotolerantes.

Cabe ressaltar que na Convenção Internacional para Controle e Gerenciamento de Água de Lastro e Sedimentos de Navios (BWM) os padrões de descarga para patógenos estão definidos em “Unidade Formadora de Colônia (UFC) por 100 mL”, enquanto que os resultados deste trabalho foram obtidos em Número Mais Provável (NMP) por 100 mL, um método probabilístico. Estes resultados serão discutidos no Capítulo de Resultados e Discussão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho, realizou-se um estudo utilizando processos de filtração e filtração mais cloração, filtração mais tratamento térmico e filtração mais radiação ultravioleta para verificar se uma água que pode ser utilizada como lastro em navios atende as especificações da IMO quanto a quantidade de coliformes totais e termotolerantes, de modo a esta água poder ser descarregada no porto de destino. Nos próximos itens serão apresentados os resultados para cada tratamento físico e químico realizado.

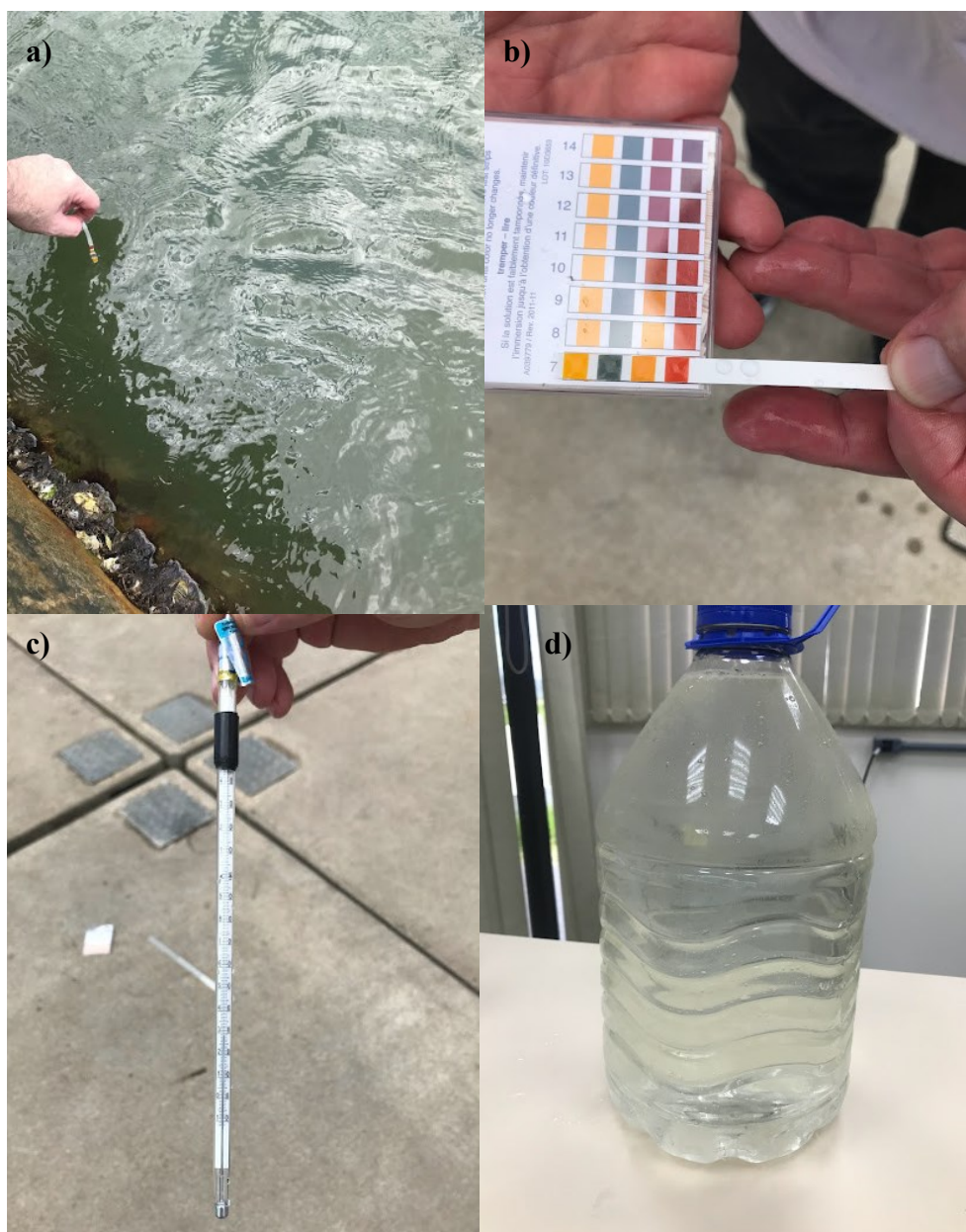
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA DE ÁGUA COLETADA

A ideia inicial era utilizar amostras de água de lastro obtidas a partir dos tanques de lastro de navios que aportassem em um dos portos da Região Norte de Santa Catarina ou mesmo a água coletada diretamente dentro da região de atracação dos navios. Mas, após inúmeros contatos com os Portos, não foi possível a obtenção da amostra diretamente do navio ou a realização da coleta na região portuária. Assim, escolheu-se um local próximo ao porto para coletar as amostras, representando a água de lastro, até porque as embarcações utilizam a água da região costeira dos portos para compor seu lastro, sendo o local escolhido um trapiche próximo ao porto da cidade de São Francisco do Sul, como apresentado na seção 3.1.

A análise dos parâmetros de qualidade da água coletada foi medida “in loco” com auxílio de um termômetro e fita indicadora de pH com o objetivo de serem registrados os dados de temperatura e pH da amostra. Estes dados foram registrados no momento da coleta, como mostra a Figura 17.

A amostra coletada apresentou pH 7 e a temperatura um valor de 30 °C. A água coletada visualmente apresentava baixa turbidez, conforme pode ser visto na Figura 17 d), e um odor característico de água salgada.

Figura 17 – Medidas de temperatura e pH. a) Medição do pH da água do mar no local da retirada. b) Fita indicadora de pH com o valor do pH da água do mar. c) Termômetro com o valor da temperatura da água do mar. d) Galão de 5 L com a água coletada.



Fonte: A Autora (2022)

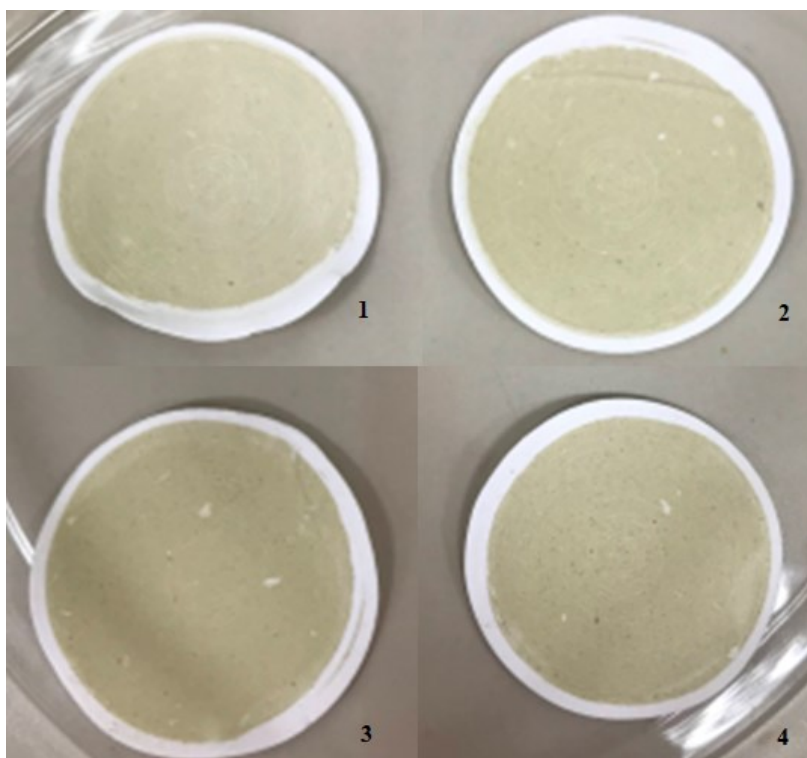
## 4.2 PROCESSO DE FILTRAÇÃO

O processo de filtração consiste em passar a água através de filtros de malha ou membranas poliméricas especialmente projetadas para reterem partículas até um determinado tamanho. Os filtros são colocados próximos à bomba de lastro nas embarcações. A eficácia deste processo depende do tamanho da malha ou membrana, da capacidade de fluxo e da

regularidade da manutenção. Entretanto, dependendo da porosidade, a utilização deste método não desinfetará suficientemente a água de lastro, pois não consegue remover organismos microscópicos, como patógenos (bactérias, vírus) (LAKSHMI; PRIYA; ACHARI, 2021; PELORUS; KARAHALIOS, 2017; SAYINLI et al., 2022a)

A filtração foi realizada com o objetivo de remover sedimentos e parte dos microrganismos presentes nas amostras de água. A quantidade de material suspenso retido no processo de filtração nos 600 mL de cada amostra foi determinada utilizando a método da gravimetria, onde são determinadas as massas da membrana antes e após a filtração. As membranas filtrantes foram numeradas de 1 a 4, onde 1 representa a membrana da amostra filtrada (F), 2 a amostra filtrada e que foi posteriormente tratada quimicamente (TQF), 3 a amostra filtrada e posteriormente tratada termicamente (TTF) e 4 a amostra filtrada e onde foi realizado o processo com radiação UV (UVF). A Figura 18 mostra as membranas após o processo de filtração.

Figura 18 – Membranas após o processo de filtração, sendo as membranas 2, 3 e 4 das amostras tratadas posteriormente com os métodos químicos e físicos.



Fonte: A Autora (2022)

A Tabela 4 apresenta as massas obtidas das membranas filtrantes antes e após a filtração (gravimetria), além da massa de material suspenso retido durante o processo de filtração das amostras.

Tabela 4 – Massa das membranas filtrantes antes e após o processo de filtração.

<b>Identificação</b>	<b>Massa antes da filtração - <math>m_i</math> (mg)</b>	<b>Massa após a filtração - <math>m_f</math> (mg)</b>	<b>Massa retida (mg)</b>
1	94,4	116,8	22,4
2	95,7	117,0	21,3
3	94,8	115,7	20,9
4	94,3	117,7	23,4

Fonte: A Autora (2022)

Analisando os resultados da Tabela 3, nota-se que as membranas ficaram, em média, com 22 miligramas de massa retida com um desvio padrão de, aproximadamente, 1,13 miligramas o que demonstra que a amostra continha uma pequena quantidade de sedimentos, o que já era esperado, dado que a amostra não apresentava elevada turbidez, como pode ser visto visualmente na Figura 17 d).

A fim de testar a eficácia da filtração na remoção ou diminuição de coliformes totais e coliformes termotolerantes na água de lastro, as amostras em que foi realizado apenas o processo de filtração (F2 e F3) e as amostras Branco (B1 e B2) foram analisadas microbiologicamente em duplicata. Destaca-se que o processo de filtração foi realizado em triplicata, mas foi possível realizar a análise dos coliformes totais e termotolerantes apenas em duplicata. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5, sendo que após a filtração as amostras apresentavam temperatura de 20 °C e pH igual a 7.

Tabela 5 – Resultado da análise microbiológica das amostras B e F.

<b>Amostra</b>	<b>Coliformes totais</b>	<b>Coliformes termotolerantes</b>	<b>Unidade</b>
B1	>2419,6	>2419,6	NMP/100 mL
B2	1732,9	>2419,6	NMP/100 mL
F2	>2419,6	>2419,6	NMP/100 mL
F3	>2419,6	>2419,6	NMP/100 mL

Fonte: A Autora (2022)



Conforme mostra a Tabela 4, após o período de cinco dias em que as amostras ficaram incubadas simulando o tanque de lastro de um navio, as amostras que não sofreram nenhum tipo de tratamento (Branco) apresentaram uma quantidade de coliformes totais e termotolerantes maior do que 2419,6 NMP/100 mL, sendo que apenas a amostra B2 apresentou 1732,9 NMP/ 100 mL de coliformes totais. Já as amostras em que foi realizado apenas o processo de filtração (F2 e F3) apresentaram 2419,6 NMP/100 mL de coliformes totais e a mesma quantidade de coliformes termotolerantes.

Observando a Figura 8 e a Tabela 4, nota-se que, apesar do processo de filtração ter sido capaz de retirar os sedimentos da amostra, o mesmo não conseguiu reter os microrganismos presentes, uma vez que ambas as amostras (Branca e Filtrada) apresentaram a mesma quantidade de coliformes. Este resultado já era esperado pois, como apresentado pela literatura, somente o processo de filtração não é suficiente para tratar a água de lastro contra todos os microrganismos, mas serve para reter sedimentos e os organismos maiores, como pode ser observado na Tabela 3 (GOLLASCH et al., 2015; KIM, 2013; PEREIRA, 2018; RAK et al., 2019; SAYINLI et al., 2022a).

Para estar de acordo com o padrão D-2 da Convenção BWM, um sistema de tratamento de água de lastro precisa conter uma quantidade máxima de organismos viáveis e patógenos na água de lastro que será descarregada, como apresenta a Tabela 2. Para o caso dos coliformes, a IMO estipula que a água contenha menos do que 250 UFC por 100 mL de *Escherichia coli* e menos do que 100 UFC por 100 mL de *Enterococcus faecalis*. Mesmo não sendo na mesma unidade da Convenção, pode-se dizer que somente o processo de filtração não atingiu o padrão D-2 da convenção, pois a quantidade de coliformes não se alterou após a utilização do processo, continuando com 2419,16 NPM/100 mL quando comparado a amostra inicial, que representa a amostra coletada.

### 4.3 TRATAMENTO QUÍMICO COM HIPOCLORITO DE SÓDIO

O tratamento químico baseia-se na geração de biocidas oxidantes ou não oxidantes por meio da adição química de substâncias a água que se quer tratar. Os biocidas inativam microrganismos prejudiciais e eliminam matéria orgânica e metais pesados presentes na água. O biocida mais popular é o cloro, muito utilizado nos tratamentos de águas e esgotos (MARANDA et al., 2013; PEREIRA, 2018; ZHANG et al., 2012).

O uso do biocida cloro já vem sendo utilizado como biocida há muito tempo, sendo um tratamento muito eficaz. Suas principais vantagens são a facilidade de aplicação e de

manuseio, o baixo custo, e a eficácia em tratar grandes volumes de água. Mas, por outro lado, em altas concentrações pode gerar toxicidade, comprometendo a qualidade da água causando problemas na saúde pública e ambientais. Por isso é indicado a adição de neutralizantes, como o tiosulfato de sódio, na água tratada antes de ser descarregada, porém mesmo com a utilização do neutralizante há geração de subprodutos de desinfecção (CHA et al., 2015; MARANDA et al., 2013; ZHANG et al., 2012).

Neste trabalho foi feito o uso do hipoclorito de sódio (NaClO) para tratar amostras de água de lastro, com uma dosagem de 0,2 mg/L, considerada baixa, mas que de acordo com a literatura, é suficiente para a ação desinfetante (DANG et al., 2016; GREGG; RIGBY; HALLEGRAEFF, 2009; HALL; SOUTH; BOX, 2002; LIM et al., 2020).

As amostras tratadas com hipoclorito de sódio sem filtração e com filtração (TQ1, TQ2, TQF1 e TQF3) apresentaram uma temperatura de 20°C e pH igual a 5 após o emprego do biocida. As amostras, após os cinco dias de incubação, foram analisadas microbiologicamente em duplicata. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados da análise microbiológica das amostras Branco (B), tratamento químico com cloro (TQ) e tratamento químico com cloro após filtração da amostra (TQF).

<b>Amostra</b>	<b>Coliformes totais</b>	<b>Coliformes termotolerantes</b>	<b>Unidade</b>
B1	>2419,6	>2419,6	NMP/ 100 mL
B2	1732,9	>2419,6	NMP/ 100 mL
TQ1	>1,0	>1,0	NMP/ 100 mL
TQ2	>1,0	>1,0	NMP/ 100 mL
TQF1	>1,0	>1,0	NMP/ 100 mL
TQF3	>1,0	>1,0	NMP/ 100 mL

Fonte: A Autora (2022)

A análise dos resultados apresentados na Tabela 6 demonstra que a utilização do tratamento químico utilizando o cloro como princípio ativo provocou uma alteração significativa na composição microbiológica das amostras. Nos resultados obtidos pode-se perceber que de um valor de 2419,6 NMP/100 mL coliformes totais e termotolerantes presentes na amostra Branca, o tratamento químico conseguiu diminuir para apenas 1,0 NMP/100 mL, ou seja, 99,96% de diminuição de coliformes mesmo após os cinco dias em que as amostras permaneceram incubadas a temperatura de 30 °C, o que, teoricamente, deveria favorecer o desenvolvimento dos microrganismos. O mesmo aconteceu para as

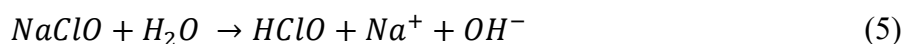
amostras com adição de hipoclorito de sódio em que havia sido realizado o processo de filtração, sendo os valores resultantes para as amostras TQF1 e TQF3 indiferentes em relação às amostras apenas tratadas quimicamente, com valores menores do que 1 NMP/100 mL.

O hipoclorito de sódio (NaClO) em contato com a água do mar irá produzir gás cloro, hidróxido de sódio (NaOH), ácido hipocloroso (HClO) e alguns outros subprodutos. A Equação 4 mostra esta reação química, onde foi considerado o sal cloreto de sódio (NaCl), que se encontra em maior quantidade na composição química da água do mar (AÑASCO et al., 2008).



O cloro liberado pelo hipoclorito de sódio em contato com a água causa danos nas paredes celulares, provocando autólise das bactérias, oxidação de enzimas contendo tiol e halogenação de grupos amino em proteínas (AÑASCO et al., 2008).

A Equação 5 apresenta a reação química do hipoclorito de sódio (NaClO) com a água (H<sub>2</sub>O), outra substância biocida formada quando se utiliza o hipoclorito de sódio como agente oxidante, sendo o ácido hipocloroso (HClO) formado por essa reação um potente biocida devido a formação, por ionização, das espécies reagentes H<sup>+</sup> e ClO<sup>-</sup>, que reagem com microorganismos e matérias orgânica presente na água.



De acordo com os resultados obtidos neste trabalho houve 99,96% de mortalidade dos coliformes totais e termotolerantes nas amostras tratadas com hipoclorito de sódio com e sem filtração. Estudos realizados demonstraram que 5 mg/L de cloro ativo matou 85,2% de coliformes termotolerantes. Já outros estudos relataram que 2 mg/L de cloro ativo foi suficiente para matar 99% de bactérias (GREGG; RIGBY; HALLEGRAEFF, 2009; TAKAHASHI et al., 2008; ZHANG et al., 2004). Ainda de acordo com Dang et al. (2016), 0,2 mg/L de cloro ativo foi o suficiente para erradicar *Enterococcus* sp.

Pode-se observar que o tratamento químico realizado praticamente erradicou os coliformes totais e termotolerantes contidos nas amostras de água de lastro. Parte do biocida utilizado permaneceu na água, sendo que mesmo após os cinco dias em que a amostra esteve incubada com temperatura adequada para o desenvolvimento dos microrganismos, os mesmos não se desenvolveram, indicando que é um método que tem ação prolongada, obtendo assim o

mesmo desempenho de pesquisas já realizadas, mas com a utilização de uma menor quantidade de cloro (0,2 mg/L), que diminui drasticamente a toxicidade para o ambiente.

Como especifica a Tabela 1, para se atingir o padrão D-2 deve-se ter < 250 UFC por 100 mL de *Escherichia coli* e < 100 UFC por 100 mL de *Enterococcus faecalis* na água antes de descarrega-la no porto de destino, com os resultados obtidos pode-se dizer que o tratamento químico com hipoclorito de sódio pode atender aos padrões estabelecidos, por ter inativado 99,96% dos coliformes.

Logo, para a eliminação dos coliformes totais e termotolerantes nas amostras de água de lastro coletadas, o tratamento químico foi eficaz e independeu da filtração, ou seja, a filtração não melhorou nem piorou o desempenho do tratamento químico. Como a utilização da filtração se faz necessária para a retenção de material suspenso e organismos maiores, o tratamento químico realizado sem o processo de filtração acabou não retirando a turbidez da água, o que pode provocar a sua sedimentação nos tanques de lastro. Logo, recomenda-se o uso do tratamento químico com a filtração.

#### 4.4 TRATAMENTO TÉRMICO

O tratamento térmico vem sendo amplamente estudado, pois microrganismos são altamente sensíveis a um aumento ou queda significativa da temperatura. A técnica de tratamento térmico aproveita a incapacidade dos microrganismos de resistirem a elevadas temperaturas. Além disso, este tipo de tratamento possui inúmeras vantagens, como aproveitar o calor gerado pelas máquinas do navio para aquecer a água de lastro através da instalação de trocadores de calor na embarcação. Mas, mesmo assim, o aquecimento da água pode ser o grande desafio, dependendo do valor da temperatura que foi proposto (QUILEZ-BADIA et al., 2008; SAYINLI et al., 2022a; WANG et al., 2018).

De acordo com Tsolaki (2009), a temperatura mínima necessária para matar espécies indesejadas deve ser superior a 40 °C em um período de uma hora. Com isso, em alusão aos resultados relatados por Quilez-Badia et al. (2008), utilizou-se uma temperatura de 80 °C para tratar as amostras de água de lastro no presente trabalho.

As amostras utilizadas nesta etapa do estudo estavam inicialmente com temperatura de 20 °C e pH igual a 7. Após a realização do tratamento térmico, as amostras foram resfriadas e colocadas no *Shaker* para a simulação do período de armazenamento no tanque de lastro. Os resultados obtidos na quantificação de coliformes totais e termotolerantes após os cinco dias estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado da análise microbiológica das amostras Branco (B), tratamento térmico (TT) e tratamento térmico após filtração da amostra (TTF).

<b>Amostra</b>	<b>Coliformes totais</b>	<b>Coliformes termotolerantes</b>	<b>Unidade</b>
B1	>2419,6	>2419,6	NMP/ 100 mL
B2	1732,9	>2419,6	NMP/ 100 mL
TT2	>1,0	>1,0	NMP/ 100 mL
TT3	>1,0	>1,0	NMP/ 100 mL
TTF1	>1,0	>1,0	NMP/ 100 mL
TTF2	>1,0	>1,0	NMP/ 100 mL

Fonte: Adaptado de LIMA (2022)

A partir da Tabela 7 observa-se que as amostras tratadas termicamente ficaram com 1,0 NMP/100 mL de coliformes totais e termotolerantes. O mesmo aconteceu para as amostras tratadas termicamente e filtradas. Comparando com as amostras brancas que obtiveram 2416,6 NMP/100 mL de coliformes, houve uma redução significativa no número de coliformes totais e termotolerantes com tratamento térmico e tratamento térmico + filtração.

As amostras tratadas termicamente com e sem filtração tiveram 99,96% de mortalidade dos coliformes totais e termotolerantes. Em comparação, os resultados obtidos por Quilez-Badia et al. (2008) mostraram uma mortalidade de 95% das bactérias presentes na água de lastro (QUILEZ-BADIA et al., 2008).

O tratamento térmico foi muito eficiente para a remoção de coliformes nas amostras coletadas e não dependeu da filtração, ou seja, sua eficácia independe de um pré-tratamento. Porém, o uso da filtração se faz necessária para a retirada dos organismos maiores e a matéria orgânica suspensa.

Os resultados da análise microbiológica mostraram que o tratamento térmico pode atender aos padrões estabelecidos pelo Convenção BWB, que no seu padrão D-2 especifica que a água de lastro que será descarregada deve ter menos do que 250 UFC por 100 mL de *Escherichia coli* e menor do que 100 UFC por 100 mL de *Enterococcus faecalis*, pois atingiu-se 99,96% de redução de coliformes com este tratamento.

#### 4.5 TRATAMENTO COM RADIAÇÃO UV

Atualmente, a radiação UV para tratar a água de lastro é o método mais utilizado. A tecnologia UV é baseada na absorção de luz pelo DNA, quebrando suas ligações químicas, induzindo mudanças fotoquímicas nos organismos presentes na água e assim provocando mutações nocivas que provocam a sua morte. Devido a isso, sua aplicação é conhecida como um tratamento de desinfecção. A instalação deste sistema de tratamento no navio é feita com a utilização de tubos de Teflon com as lâmpadas UV fixadas externamente, colocados nos tanques de lastro. Além disso, os sistemas utilizando radiação UV são muito mais compactos e requerem relativamente pouco espaço para sua instalação (FENG; SHI; SUN, 2015; LIMA, 2013; LUNDGREEN et al., 2019; MORENO-ANDRÉS et al., 2017; PEREIRA, 2012).

As amostras filtradas e tratadas com radiação UV e as amostras tratadas somente com radiação UV, com temperatura de 21 °C e pH igual a 6, após 5 dias no escuro, foram analisadas microbiologicamente em duplicata e a Tabela 8 apresenta os resultados das análises para coliformes totais e termotolerantes.

Tabela 8 – Resultado da análise microbiológica das amostras Branco (B), UV e UVF), tratamento com radiação ultravioleta (UV) e tratamento com radiação ultravioleta após filtração da amostra (UVF).

<b>Amostra</b>	<b>Coliformes totais</b>	<b>Coliformes termotolerantes</b>	<b>Unidade</b>
B1	>2419,6	>2419,6	NMP/ 100 mL
B2	1732,9	>2419,6	NMP/ 100 mL
UV1	>2419,6	>2419,6	NMP/ 100 mL
UV3	>2419,6	>2419,6	NMP/ 100 mL
UVF1	2,0	>1,0	NMP/ 100 mL
UVF3	>1,0	>1,0	NMP/ 100 mL

Fonte: A Autora (2022)

A análise da Tabela 8 demonstra que as amostras tratadas com radiação UV, mesmo após cinco dias, apresentaram 2419,6 NMP/100 mL de coliformes totais e termotolerantes, mesma quantidade que as amostras sem nenhum tratamento (Branco). Já as amostras com filtração mais a radiação UV apresentam 2,0 e 1,0 NMP/100 mL de coliformes totais e 1,0 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes. A análise microbiológica das amostras de água tratadas com radiação UV mostrou que houve uma redução de 99,96% de coliformes totais e

termotolerantes nas amostras com filtração e radiação UV, enquanto que as amostras tratadas com radiação UV sem filtração não tiveram alteração nenhuma comparando com as amostras sem tratamento.

De acordo com Petersen et al. (2019), a *Escherichia coli* sobreviveu após a realização do tratamento com radiação UV sem filtração prévia em amostras de água de lastro. Rubio et al. (2013) relataram que, após 9 minutos de exposição à radiação UV, a *E. coli* presente na água de lastro foi inativada, mas depois de 48 horas de tratamento foi observado crescimento desta bactéria, ou seja, o tratamento não inativou a *E. coli* na água de lastro.

Estudos feitos por Drake et al. (2014), Castro et al. (2018) e Werschkun et al. (2014), mostraram que quando a água de lastro está com uma elevada turbidez ou com alto teor de matéria orgânica dissolvida ou com muitos sólidos em suspensão, a luz UV não consegue penetrar, tornando o tratamento com radiação UV ineficaz. Pereira (2018) cita que o tratamento da água de lastro com radiação UV é muito sensível em relação aos elementos presentes na água durante o processo. Para contornar isso é preciso combiná-lo com um pré-tratamento, por exemplo, a filtração.

Estudos realizados por Santos (2011) utilizaram radiação UV para a eliminação de larvas de mexilhão dourado, um dos maiores problemas de bioinvasão mundial. Os resultados obtidos foram satisfatórios, conseguindo eliminar quase que a totalidade de larvas do mexilhão e não gerando subprodutos tóxicos que poderiam influenciar na biota no ponto de descarregamento da água de lastro (SANTOS, 2011).

Como visto na revisão da literatura, atualmente a maioria dos sistemas de tratamento de água de lastro aprovados pela IMO fazem a utilização dos sistemas de filtração e radiação UV combinada. De acordo com Moreno-Andrés e Peperzak (2019), atualmente, quase 50% de todos os sistemas de tratamento de água de lastro utilizados pelas embarcações é a radiação UV. Sendo que todos estes sistemas de radiação UV são combinados com filtração ou com filtração e mais algum outro processo para contornar os problemas da turbidez, sólidos em suspensão e matéria orgânica dissolvida (IMO, 2020; MORENO-ANDRÉS; PEPERZAK, 2019; NAIK et al., 2019).

O tratamento com radiação UV sem filtração não foi eficaz contra os coliformes totais e termotolerantes nas amostras de água tratadas neste trabalho. Por outro lado, as amostras que passaram por uma filtração e depois foram expostas a radiação UV tiveram 99,96% de redução de coliformes totais e termotolerantes, demonstrando que os resultados obtidos nesta pesquisa estão de acordo com a literatura.

Logo, o tratamento com radiação UV só foi eficaz quando as amostras foram previamente filtradas, estando de acordo com o padrão D-2 da norma BWM, que especifica que a água de lastro deve ter menos do que 250 e 100 UFC em 100 mL para *E. coli* e *E. faecalis*, respectivamente.

#### 4.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS DE TRATAMENTO UTILIZADOS

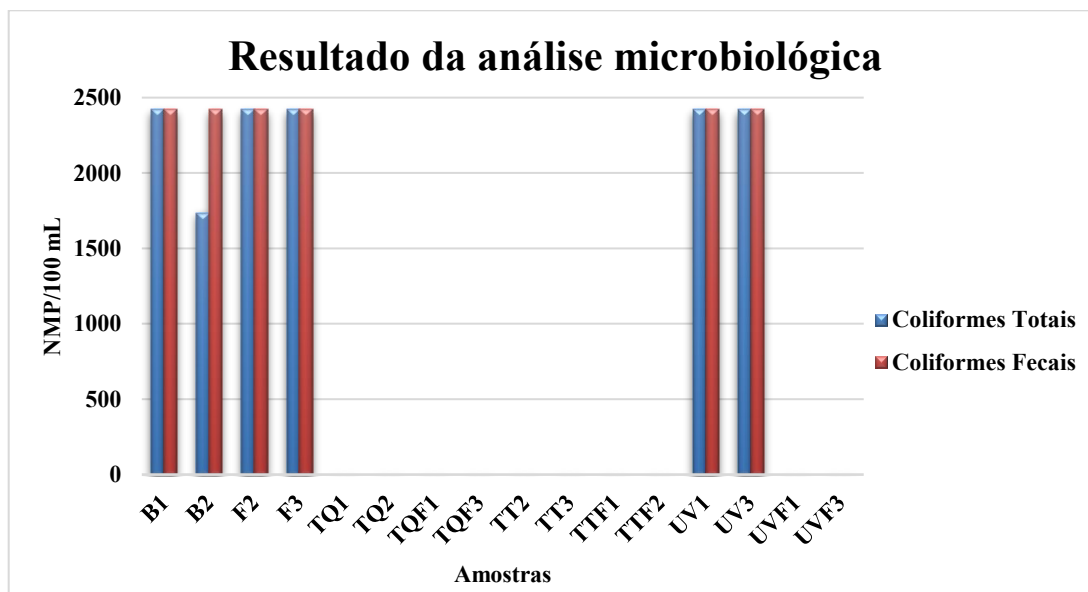
Os métodos de tratamento utilizados neste trabalho são atualmente utilizados em sistemas de tratamento de água de lastro (BWTS) para atender as especificações do padrão D-2 da norma BWM da IMO. Apesar dos sistemas envolvendo filtração e radiação UV serem os mais utilizados, existem equipamentos que utilizam a cloração e o tratamento térmico para a eliminação dos organismos viáveis e impurezas da água.

Um primeiro parâmetro de análise que foi utilizado neste trabalho diz respeito a temperatura e o pH das amostras em que foram realizados os ensaios. Maranda et al. (2013) e Nunes (2007) mostraram que a temperatura da água de lastro no verão é de  $(22,2 \pm 2,3)$  °C e o pH médio é de  $(7 \pm 0,4)$  sem tratamento, sendo que após os tratamentos a temperatura diminui em média 1,1°C e o pH em 0,7 unidade. Neste trabalho, os parâmetros analisados ficaram dentro do esperado, pois a temperatura após os tratamentos ficou numa média de 20 °C e o pH ficou entre 5 e 7.

A Figura 19 apresenta a quantidade de coliformes totais e termotolerantes em NMP/100 mL para as amostras sem tratamento (B) e as amostras tratadas apenas com filtração (F), com tratamento químico (TQ) e filtração mais tratamento químico (TQF), com tratamento térmico (TT) e tratamento térmico mais filtração (TTF) e tratamento com radiação UV (UV) e filtração mais radiação UV (UVF).



Figura 19 – Comparação dos resultados da análise microbiológica de todas as amostras.



Fonte: A Autora (2022)

Os resultados apresentados na Figura 19 demonstram que a quantidade de coliformes totais e termotolerantes é bem mais elevada nas amostras B1, B2, F2, F3, UV1 e UV3, sendo os valores de 2419,16 NMP/100 mL. Para as amostras em que houve efetividade do processo de tratamento, os valores obtidos foram menores do que 1,0 NMP/100 mL de coliformes totais e termotolerantes, que é o limite mínimo detectável pelo teste. Mesmo não possuindo a mesma unidade que a IMO recomenda na Convenção, pode-se dizer que a quantidade de coliformes foi muito mais baixa nas amostras tratadas do que nas águas não tratadas, salvo as que passaram pelo tratamento com radiação UV sem filtração, que ficaram com 2419,16 NMP/mL.

Analisando os resultados da análise microbiológica apresentados na Figura 19, percebe-se que as amostras sem tratamento e as amostras filtradas exibiram uma alta concentração de coliformes totais e termotolerantes, demonstrando que a concentração de microrganismos na região costeira é elevada. Apenas o processo de filtração com a porosidade utilizada não foi capaz de inativar os microrganismos, apesar de ter conseguido retirar a matéria suspensa presente na amostra filtrada, como pode ser visto visualmente e na análise gravimétrica das membranas utilizadas no processo de filtração. Outro ponto a ser observado é que estes resultados destacam ainda mais a importância de se tratar a água de lastro antes de seu descarregamento nas regiões costeiras.

Em relação ao tratamento químico com hipoclorito de sódio, por mais que tenha sido eficaz e com pouca concentração de cloro por litro, demandará uma enorme quantidade deste elemento em tanques de lastro para a desinfecção, necessitando ainda de um neutralizante

antes da água ser despejada no mar. Outro ponto importante a ser destacado é que a utilização de soluções contendo cloro está relacionada a corrosão dos tanques de lastro, visto que a cloração pode acelerar o processo de degradação do aço utilizado nos tanques de água de lastro. Ainda são necessários estudos adicionais sobre a toxicidade dos subprodutos de desinfecção que podem ser gerados. Assim, apesar de ter sido muito efetivo, não se recomenda a utilização do processo de cloração sem sistemas que neutralizem os produtos formados na sua utilização

Já o tratamento térmico com temperatura em torno de 80°C demonstrou também ser muito eficaz e não dependeu de filtração prévia na desinfecção de coliformes. As desvantagens deste tratamento são o tempo para atingir a temperatura proposta, a possibilidade de acelerar o processo de corrosão dos tanques de lastro e a instalação de um sistema de aquecimento potente para aumentar e manter a temperatura da água em 80°C, o que demandará uma quantidade elevada de combustível. Uma possibilidade seria a utilização dos gases provenientes do motor utilizando um trocador de calor, mas isto pode implicar em múltiplas passagens pelo equipamento de troca térmica, aumentando assim os gastos relativos à operação de bombas.

Por fim, os resultados encontrados na aplicação do tratamento com radiação UV demonstraram que existe a necessidade de um tratamento prévio de filtração para ele ser eficaz, assim como de um tempo considerável para a sua desinfecção. A quase nulidade de coliformes presentes nas amostras mesmo após a incubação das amostras durante cinco dias em condições favoráveis para o crescimento dos microrganismos demonstrou que o método de tratamento com radiação UV é eficaz, mesmo o método utilizado não sendo exatamente o utilizado nos sistemas de tratamento de água de lastro instalada nos navios que já se adaptaram ao padrão D-2 da Norma.

Assim, como visto no referencial teórico, os sistemas de tratamento de água de lastro mais utilizados atualmente são filtração + radiação UV e tratamento químico e que o tratamento térmico está cada vez mais sendo estudado. Este trabalho mostrou que estes tratamentos foram eficazes para eliminar, quase que 100%, os coliformes totais e termotolerantes presentes em amostras de água do mar. A Figura 20 apresenta uma síntese das considerações dos métodos de tratamento utilizados neste trabalho.

Figura 20 – Síntese das considerações sobre os métodos de tratamento de água de lastro utilizados.

<b>TRATAMENTO QUÍMICO</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Enorme quantidade deste elemento em tanques de lastro para a desinfecção;</li><li>• Neutralizante antes da água ser despejada no mar;</li><li>• Corrosão dos tanques de lastro;</li><li>• Toxidade dos subprodutos de desinfecção que podem ser gerados.</li></ul>	<b>TRATAMENTO FÍSICO</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tempo para atingir a temperatura proposta;</li><li>• Corrosão dos tanques de lastro;</li><li>• Instalação de um sistema de aquecimento potente para aumentar e manter a temperatura da água em 80 °C;</li><li>• Calor gerado pelos motores – custo elevado.</li></ul>
<b>TRATAMENTO COM RADIAÇÃO UV</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Necessidade de um tratamento prévio de filtração para ele ser eficaz;</li><li>• Tempo considerável para a sua desinfecção;</li><li>• Mesmo após a incubação das amostras durante cinco dias - o método de tratamento com radiação UV foi eficaz.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Este trabalho mostrou que estes tratamentos foram eficazes para eliminar, quase que 100%, os coliformes totais e termotolerantes presentes em amostras de água do mar.</li></ul>

Fonte: A Autora (2022)

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho de pesquisa investigou a ocorrência de coliformes totais e termotolerantes resultantes na realização de tratamentos químicos e físicos em amostras de água coletada em região costeira próxima ao porto de São Francisco do Sul (SC), simulando uma água utilizada pelos navios como lastro. Ao final desta pesquisa foi possível evidenciar que os tratamentos utilizados conseguiram inativar quase que a totalidade dos coliformes presentes nas amostras de água de lastro.

A convenção BWM estabelece padrões de descarga da água de lastro onde especifica a quantidade máxima de organismos que a água de lastro deve ter após ser tratada. Nestes padrões estão especificadas as quantidades máximas de *E. coli* e *E. faecalis* que a água de lastro pode conter. A revisão da literatura não encontrou muitos estudos que investigaram a eficiência dos tratamentos utilizados neste estudo para a inativação desses organismos, validando a importância desta pesquisa.

Através da análise microbiológica realizada identificou-se uma quantidade de 2419,6 NMP/100 mL de coliformes totais e termotolerantes em amostras de água da região do porto de São Francisco do Sul, mesmo após cinco dias da coleta. Assim como, provou-se que somente o processo de filtração sozinho não altera a quantidade de coliformes presentes na água utilizada como água de lastro.

Os resultados obtidos demonstraram que o tratamento químico com hipoclorito de sódio diminuiu de 2419,6 NMP/100 mL para 1 NMP/100 mL de coliformes totais e termotolerantes tanto com filtração quanto sem, mesmo com uma concentração pequena de hipoclorito de sódio. Apesar de o tratamento possuir elevada eficiência, a sua utilização pode gerar subprodutos tóxicos que, se não forem retirados da água, podem contaminar quimicamente o ponto de descarregamento do lastro.

A utilização do tratamento térmico com temperatura em torno de 80 °C eliminou quase que 100% dos coliformes totais e termotolerantes tanto ele atuando de maneira isolada, como após o processo de filtração, diminuindo de 2419,6 NMP/100 mL de coliformes para menos do que 1,0 NMP/100 mL.

Já no tratamento apenas com radiação UV a quantidade de coliformes totais e termotolerantes foi de 2419,16 NMP/100 mL, ou seja, a mesma quantidade das amostras sem tratamento, sendo que para o processo combinado de filtração mais radiação UV a quantidade de coliformes detectada pelo método de análise foi menor do que 1,0 NMP/100 mL,

demonstrando a importância do processo de filtração neste sistema de tratamento de água de lastro.

Finalmente, neste trabalho foi possível comparar a eficácia quanto a eliminação de coliformes após a aplicação de diferentes tipos de tratamentos de água de lastro combinados ou não com um pré-tratamento de filtração. Comprovou-se que o tratamento químico com adição de hipoclorito de sódio e o tratamento térmico foram eficazes mesmo na água não filtrada enquanto que o tratamento com radiação UV só foi eficaz quando a água passou pelo processo de filtração.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de aperfeiçoar a comparação da eficiência dos métodos de tratamento de água de lastro apresentados, sugere-se para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Utilizar amostras de água de lastro obtidas a partir dos tanques de lastro dos navios que atracam nos portos catarinenses;
- Determinar a eficiência dos tratamentos físicos e químicos quanto ao zooplâncton e fitoplâncton;
- Investigar a presença de subprodutos de desinfecção no tratamento químico com hipoclorito de sódio;
- Realizar os ensaios microbiológicos em conformidade com os padrões estabelecidos pela norma BWM.

## REFERÊNCIAS

ALBERT, Ryan *et al.* Availability and Efficacy of Ballast Water Treatment Technology: Background and Issue Paper. **Port**: Port, Washington, D.C., v. 1, n. 1, p. 1-73, jun. 2010.

AÑASCO, Nathaniel C. *et al.* Toxicity of Residual Chlorines from Hypochlorite-treated Seawater to Marine Amphipod *Hyale barbicornis* and Estuarine Fish *Oryzias javanicus*. **Water Air And Soil Pollution**, Kagoshima, v. 2, n. 195, p. 129-136, 03 maio 2008.

BATISTA, William R. *et al.* Which Ballast Water Management System Will You Put Aboard? Remnant Anxieties: A Mini-Review. **Environments Review**, Arraial do Cabo, v. 4, n. 2, p. 1-54, 03 ago. 2017.

BAX, N. *et al.* Marine invasive alien species: A threat to global biodiversity. **Marine Policy**, v. 27, n. 4, p. 313–323, 2003.

BRASIL. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. (org.). **Brasil promulga convenção para controle da água de lastro e de sedimentos de navios**. 2022. Disponível em: <https://cfbio.gov.br/2022/03/14/brasil-promulga-convencao-para-controle-da-agua-de-lastro-e-de-sedimentos-de-navios/>. Acesso em: 26 abr. 2022.

CARLTON, J. T.; GELLER, J. B. Ecological Roulette: The global transport of nonindigenous marine organisms. **Science**, v. 261, n. 5117, p. 78–82, 1993.

CASAS-MONROY, O. *et al.* Evaluating efficacy of filtration + UV-C radiation for ballast water treatment at different temperatures. **Journal of Sea Research**, v. 133, p. 20–28, 2018.

CASTRO, Maria Cecilia T. de *et al.* Different approaches and limitations for testing phytoplankton viability in natural assemblies and treated ballast water. **Marine Pollution Bulletin**, Rio de Janeiro, v. 137, p. 172-179, 4 out. 2018.

CHA, H. G. *et al.* Enhancing the efficacy of electrolytic chlorination for ballast water treatment by adding carbon dioxide. **Marine Pollution Bulletin**, v. 95, n. 1, p. 315–323, 2015.

COHEN, Andrew N.. Ships' ballast water and the introduction of exotic organisms into the San Francisco Estuary: Current status of the problem and options for management. **Calfed Category Steering Committee**, Richmond, v. 1, n. 1, p. 6402-6490, out. 1998.

DANG, T. L. T. *et al.* Synergistic effect of pressurized carbon dioxide and sodium hypochlorite on the inactivation of *Enterococcus* sp. in seawater. **Water Research**, v. 106, p. 204–213, 2016.

DAVID, Matej; GOLLASCH, Stephan. **Global Maritime Transport and Ballast Water Management: issues and solutions**. Hamburg: Springer, 2015. 306 p.

DAVID, M.; GOLLASCH, S. How to approach ballast water management in European seas. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 201, p. 248–255, 2016.

DAVID, M.; GOLLASCH, S.; PAVLIHA, M. Global ballast water management and the “same location” concept: A clear term or a clear issue? **Ecological Applications**, v. 23, n. 2, p. 331–338, 2013.

DAVIDSON, I. C. et al. Pioneering patterns of ballast treatment in the emerging era of marine vector management. **Marine Policy**, v. 78, n. 4, p. 158–162, 2017.

DIVINO LARA, D. **Utilização Da Radiação Ultravioleta Como Fonte Alternativa Para Desinfecção De Piscinas De Hidroterapia Em Ambiente Fechado (in Door)**. 2019. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2019.

DRAKE, L. A. et al. How many organisms are in ballast water discharge? A framework for validating and selecting compliance monitoring tools. **Marine Pollution Bulletin**, v. 86, n. 1–2, p. 122–128, 2014.

EPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). Constituição (2011). Office Of The Administrator Science Advisory Board nº 11009, de 12 de julho de 2011. **Efficacy Of Ballast Water Treatment Systems: A Report By The Epa Science Advisory Board**. 11. ed. Washington, D.C., UNITED STATES, 10 jul. 2011.

FENG, D.; SHI, J.; SUN, D. Inactivation of microalgae in ballast water with pulse intense light treatment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 90, n. 1–2, p. 299–303, 2015.

FORTE, R. C. **A GESTÃO DE ÁGUA DE LASTRO NAS FROTAS DOS PRINCIPAIS ARMADORES DO MUNDO**. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2019.

FRANÇ, V.; CAMPARA, L. Overview and Comparison of the IMO and the US Maritime Administration Ballast Water Management Regulations. v. 50, n. 3, p. 1-19, 2019.

GERHARD, W. A.; GUNSCH, C. K. Analyzing trends in ballasting behavior of vessels arriving to the United States from 2004 to 2017. **Marine Pollution Bulletin**, v. 135, p. 525–533, 2018.

GOLLASCH, S. et al. Critical review of the IMO international convention on the management of ships’ ballast water and sediments. **Harmful Algae**, v. 6, n. 4, p. 585–600, 2007.

GOLLASCH, S. et al. Quantifying indicatively living phytoplankton cells in ballast water samples - recommendations for Port State Control. **Marine Pollution Bulletin**, v. 101, n. 2, p. 768–775, 2015.

GREGG, M.; RIGBY, G.; HALLEGRAEFF, G. M. Review of two decades of progress in the development of management options for reducing or eradicating phytoplankton, zooplankton and bacteria in ship’s ballast water. **Aquatic Invasions**, v. 4, n. 3, p. 521–565, 2009.

HESS-ERGA, O. K. et al. Microorganisms in ballast water: Disinfection, community dynamics, and implications for management. **Science of the Total Environment**, v. 657, p. 704–716, 2019.

HUTCHINGS, P. A. T. Ballast Water Introductions of Exotic Marine Organisms into Australia Current Status and Management Options. **Marine Pollution Bulletin** v. 25, n. 1982, p. 196–199, 1992.

IDEXX. **Sistema Quanti-Tray**. 2022. Disponível em: <https://www.idexx.com.br/pt-br/water/water-products-services/quant-tray-system/>. Acesso em: 25 jun. 2022.

IMO. **IMO BALLAST WATER MANAGEMENT CONVENTION**. 2017. Disponível em: <https://www.ballast-water-treatment.com/en/ballast-water-management-regulation/imo-bwm-convention>. Acesso em: 20 maio 2021.

ITAIPU. **MEXILHÃO DOURADO**. 2022. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/meioambiente/mexilhao-dourado>. Acesso em: 25 jun. 2022.

KARAHALIOS, H. The application of the AHP-TOPSIS for evaluating ballast water treatment systems by ship operators. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 52, p. 172–184, 2017.

KIM, Kyong M.. **A study of the implications of the ballast water management convention for flag states**. 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Maritime Affairs, World Maritime University, Republic Of Korea, 2013.

KIM et al. Biocidal effect of thymol and carvacrol on aquatic organisms: Possible application in ballast water management systems. **Marine Pollution Bulletin**, v.133, p. 734-740, 2018.

KWON, J. H. et al. Development of a hydrodynamic static mixer for mixing chemicals in ballast water treatment systems. **Journal of Water Process Engineering**, v. 8, p. 209–220, 2015.

LAKSHMI, E.; PRIYA, M.; ACHARI, V. S. An overview on the treatment of ballast water in ships. **Ocean and Coastal Management**, v. 199, p. 105-296, 2021.

LIM, C. S. et al. Removal of larvae of two marine invasive bivalves, *Mytilopsis sallei* (Récluz, 1849) and *Mytella strigata* (Hanley, 1843), by water treatment processes. **Marine Pollution Bulletin**, v. 155, n.2, p. 111-154, 2020.

LIMA, Leandro Cota de. **Gestão da Água de Lastro: Um Problema Mundial e suas Implicações Locais**. 2013. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

LIMA - Laboratório Integrado de Meio Ambiente, Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

LUNDGREEN, K. et al. Use of standard test organisms for sound validation of UV-based ballast water treatment systems. **Marine Pollution Bulletin**, v. 144, n. April, p. 253–264, 2019.

MARANDA, L. et al. Chlorine dioxide as a treatment for ballast water to control invasive species: Shipboard testing. **Marine Pollution Bulletin**, v. 75, n. 1–2, p. 76–89, 2013.

MONZINGO, D. G.; REYNOLDS, K. J.; VAN SLYKE, R. J. Ballast water treatment system evaluation for small vessels. **The Golsten Associates**. p. 14-25, 2011.



MORENO-ANDRÉS, J. et al. UV-based technologies for marine water disinfection and the application to ballast water: Does salinity interfere with disinfection processes? **Science of the Total Environment**, v. 581–582, p. 144–152, 2017.

MORENO-ANDRÉS, J. et al. Inactivation of marine heterotrophic bacteria in ballast water by an Electrochemical Advanced Oxidation Process. **Water Research**, v. 140, p. 377–386, 2018.

MORENO-ANDRÉS, J.; PEPPERZAK, L. Operational and environmental factors affecting disinfection byproducts formation in ballast water treatment systems. **Chemosphere**, v. 232, p. 496–505, 2019.

NAIK, R. K. et al. Microplastics in ballast water as an emerging source and vector for harmful chemicals, antibiotics, metals, bacterial pathogens and HAB species: A potential risk to the marine environment and human health. **Marine Pollution Bulletin**, v. 149, p. 110525, 2019.

NANAYAKKARA, K. G. N. et al. Electrochemical disinfection for ballast water management: Technology development and risk assessment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 63, n. 5–12, p. 119–123, 2011.

NORMA DA AUTORIDADE MARÍTIMA. **NORMAM-20: NORMA DA AUTORIDADE MARÍTIMA PARA O GERENCIAMENTO DA ÁGUA DE LASTRO DE NAVIOS**. 1 ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas, 2014.

NORMA DA AUTORIDADE MARÍTIMA. **NORMAM-20: NORMA DA AUTORIDADE MARÍTIMA PARA O GERENCIAMENTO DA ÁGUA DE LASTRO DE NAVIOS**. 2 ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas, 2019.

NUNES, S. L. **Tese apresentada ao Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Microbiologia Orientador: Profa Dra Irma Nelly Gutierrez Rivera.**

OLSEN, R. O. et al. Ultraviolet radiation as a ballast water treatment strategy: Inactivation of phytoplankton measured with flow cytometry. **Marine Pollution Bulletin**, v. 103, n. 1–2, p. 270–275, 2016.

PEREIRA, Newton Narciso. **Alternativas de tratamento da água de lastro em portos exportadores de minério de ferro**. 2012. 349 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PEREIRA, N. N. et al. Challenges to implementing a ballast water remote monitoring system. **Ocean and Coastal Management**, v. 131, p. 25–38, 2016.

PEREIRA, Newton Narciso. **Água de Lastro: Gestão e Controle**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2018. 236 p.

PEREIRA, N. N.; PEREIRA, N. N.; BRINATI, H. Aspectos institucionais e regulatórios da água de lastro. **Água de Lastro: Gestão e Controle**, n. October, p. 105–122, 2018.

PETERSEN, N. B. et al. Ballast water treatment and bacteria: Analysis of bacterial activity and diversity after treatment of simulated ballast water by electrochlorination and UV exposure. **Science of the Total Environment**, v. 648, p. 408–421, 2019.

QUILEZ-BADIA, G. et al. On board short-time high temperature heat treatment of ballast water : A field trial under operational conditions. v. 56, p. 127–135, 2008.

RAK, G. et al. The implementation of the ballast water management convention in the Adriatic Sea through States' cooperation: The contribution of environmental law and institutions. **Marine Pollution Bulletin**, v. 147, p. 245–253, 2019.

RATA, V.; GASPAROTTI, C.; RUSU, L. Ballast Water Management in the Black Sea ' s Ports. 2018.

ROMERO-MARTÍNEZ, L. et al. Effect of the length of dark storage following ultraviolet irradiation of *Tetraselmis suecica* and its implications for ballast water management. **Science of the Total Environment**, v. 711, p. 1–10, 2020.

RUBIO, D. et al. Comparative effect of simulated solar light, UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and photo-Fenton treatment (UV-Vis/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>,<sup>3+</sup>) in the *Escherichia coli* inactivation in artificial seawater. **Water Research**, v. 47, n. 16, p. 6367–6379, 2013.

SANO, L. L. et al. Comparative efficacy of potential chemical disinfectants for treating unballasted vessels. **Journal of Great Lakes Research**, v. 30, n. 1, p. 201–216, 2004.

SANTOS, Cinthia Pinheiros dos. **Desenvolvimento de metodologia para controle das larvas de *Limnoperna fortunei* com o uso de radiação ultravioleta e seus impactos sobre *Microcystis aeruginosa* potencialmente presentes na água superficial**. 2011. 83 f. Tese (Doutorado em Ciências com ênfase em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SAYINLI, B. et al. Recent progress and challenges facing ballast water treatment – A review. **Chemosphere**, v. 291, p. 1-23, 2022.

SOLER-FIGUEROA, B. M. et al. Characteristics of global port phytoplankton and implications for current ballast water regulations. **Marine Pollution Bulletin**, v. 155, p. 111165, 2020.

TAKAHASHI, C. K. et al. Ballast water: A review of the impact on the world public health. **Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases**, v. 14, n. 3, p. 393–408, 2008.

UNCTAD. **Review of Maritime Transport**. 2019 Disponível em: <[https://unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-Transport-\(Series\).aspx](https://unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-Transport-(Series).aspx)>

WANG, Z. et al. Inactivation of *Scrippsiella trochoidea* cysts by different physical and chemical methods: Application to the treatment of ballast water. **Marine Pollution Bulletin**, v. 126, p. 150–158, 2018.

WANG, Z. et al. Inactivation of *Scrippsiella trochoidea* cysts by different physical and chemical methods: Application to the treatment of ballast water. **Marine Pollution Bulletin**, v.126, p. 150-158, 2018.

WERSCHKUN, B. et al. Emerging risks from ballast water treatment: The run-up to the International Ballast Water Management Convention. **Chemosphere**, v. 112, p. 256–266, 2014.

WU, H. et al. The biological content of ballast water in China: A review. **Aquaculture and Fisheries**, v. 2, n. 6, p. 241–246, 2017.

ZHANG, N. et al. Evaluation of the ecotoxicity and biological efficacy of ship's ballast water treatment based on hydroxyl radicals technique. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, n. 12, p. 2742–2748, 2012.

ZHANG, Y. et al. Disinfection of simulated ballast water by a flow-through electro-peroxone process. **Chemical Engineering Journal**, v. 348, p. 485–493, 2018.

ZIEGLER, G.; TAMBURRI, M. N.; FISHER, D. J. Long-term algal toxicity of oxidant treated ballast water. **Marine Pollution Bulletin**, v. 133, p. 18–29, 2018.

## ANEXO A – RESULTADO DA ANÁLISE MICROBIOLÓGICA REALIZADA NO LABORATÓRIO INTEGRADO DE MEIO AMBIENTE (LIMA) DO ENS/UFSC.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENG. SANITÁRIA-AMBIENTAL  
LABORATÓRIO INTEGRADO DE MEIO AMBIENTE**



RESULTADOS DE ANÁLISE		Nº 03/22
Data de Entrada no Laboratório:	25/01/22	
Interessado:	Bruna Maria Porto	
Tipo de Amostra:	Água de lastro	
Origem da Amostra:	Enviado pelo requerente	
Local de Coleta:	Joinville	
<b>Dados de Coleta</b>		
Data de coleta: 25/01/22	Hora da coleta: período da manhã	
Temperatura média do ar: -	Condições Címéticas: -	
Coletor: Bruna Maria Porto		

Teste bacteriológico:			
Amostra	Coliformes totais <sup>1</sup>	Coliformes fecais <sup>1</sup>	UNIDADE <sup>2</sup>
B1	>2419,6	>2419,6	NMP/100mL
B2	1732,9	>2419,6	NMP/100mL
TQ1	<1,0	<1,0	NMP/100mL
TQ2	<1,0	<1,0	NMP/100mL
TQF1	<1,0	<1,0	NMP/100mL
TQF3	<1,0	<1,0	NMP/100mL
F2	>2419,6	>2419,6	NMP/100mL
F3	>2419,6	>2419,6	NMP/100mL
TT2	<1,0	<1,0	NMP/100mL
TT3	<1,0	<1,0	NMP/100mL
TTF1	<1,0	<1,0	NMP/100mL
TTF2	<1,0	<1,0	NMP/100mL
UV1	>2419,6	>2419,6	NMP/100mL
UV3	>2419,6	>2419,6	NMP/100mL
UVF1	2,0	<1,0	NMP/100mL
UVF3	<1,0	<1,0	NMP/100mL

<sup>1</sup>Metodologia: IDEXX Quanti-Tray/2000 (método de quantificação simples para Colilert).  
<sup>2</sup>NMP/100mL: Número mais provável de coliformes em 100 mL de água.

Documento assinado digitalmente  
 ALINE ALVES FREITAS  
 E-MAIL: aalves@ufsc.br  
 CPF: 063.328.309-00  
 Verifique as assinaturas em: <https://sc.ufsc.br>

**Aline Alves Freitas**  
Técnica de laboratório/Química

Documento assinado digitalmente  
 RAFAELA COUTINHO MIRANDA  
 E-MAIL: rcoutinho@ufsc.br  
 CPF: 075.536.899-00  
 Verifique as assinaturas em: <https://sc.ufsc.br>

**Rafaela Coutinho Miranda**  
Técnica de laboratório/Biologia

Florianópolis, 26 de janeiro de 2022