

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

GUSTAVO ALVES DE ARAUJO

UTILIZAÇÃO DE PROCESSOS QUÍMICOS E FÍSICOS PARA
A REDUÇÃO DE CONTAMINANTES EM ÁGUA PARA LASTRO EM NAVIOS

Joinville

2021

GUSTAVO ALVES DE ARAUJO

UTILIZAÇÃO DE PROCESSOS QUÍMICOS E FÍSICOS PARA
A REDUÇÃO DE CONTAMINANTES EM ÁGUA PARA LASTRO EM NAVIOS

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel no Curso de
Graduação em Engenharia Naval do Centro
Tecnológico de Joinville da Universidade
Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Claudimir A. Carminatti

Joinville

2021

GUSTAVO ALVES DE ARAUJO

UTILIZAÇÃO DE PROCESSOS QUÍMICOS E FÍSICOS PARA
A REDUÇÃO DE CONTAMINANTES EM ÁGUA PARA LASTRO EM NAVIOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 24 de setembro de 2021.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Claudimir A. Carminatti
Orientador/Presidente
Universidade Federal de Santa Catarina

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

Ms. Fernanda Beatriz Rosa Guimarães
Membro
Universidade Federal Fluminense

Dedico este trabalho aos meus pais e amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais por nunca terem medido esforços para me dar a melhor educação possível, além de todo apoio dado durante essa trajetória.

Aos meus familiares que, de alguma forma, contribuíram para essa conquista.

À minha namorada Gabriela, por toda ajuda, apoio e companheirismo durante os momentos vividos nesses anos.

Aos meus amigos do Rio de Janeiro, que sempre estiveram presentes, apesar da distância, ajudando a tornar essa caminhada mais leve.

Aos amigos feitos em Joinville, em especial à Bianca Ricarte e ao Luiz Guilherme, por estarem presentes em praticamente todos os momentos, bons e ruins, desde o início da graduação.

Ao meu orientador Carminatti, por toda atenção, paciência e dedicação desde a primeira reunião.

RESUMO

O uso da água de lastro no auxílio de operações seguras de embarcações se tornou essencial a partir do início do século XX. No entanto, com a captação da água do mar para os tanques de lastro, muitos organismos também são transportados e liberados em locais diferentes de sua origem, contribuindo com a bioinvasão e podendo se estender a questões sanitárias, como a propagação de doenças e até mesmo epidemias. Tendo em vista esta temática, a Convenção Internacional para Controle e Gerenciamento da Água de Lastro e Sedimentos de Navios (Convenção BWM) foi adotada pela Organização Marítima Internacional (IMO), com o objetivo de conter os problemas gerados pela água de lastro através de requisitos a serem cumpridos antes do processo de deslastre dos navios, tornando obrigatório que as embarcações possuam a bordo um sistema de gerenciamento de água de lastro que cumpra os requisitos da Convenção (Regra D-2). O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização dos processos de filtração, cloração e tratamento térmico no tratamento de água para lastro de navios buscando a eliminação de impurezas e microrganismos bioinvasores. Água coletada na Baía da Babitonga foi filtrada utilizando membranas de acetato de celulose com porosidade de 0,45 μm . O permeado foi tratado quimicamente utilizando hipoclorito de sódio (filtração e cloração) ou fisicamente aquecendo a água filtrada até ebulição (filtração e tratamento térmico). Os resultados demonstraram que o processo inicial de filtração já foi capaz de diminuir a concentração de contaminantes suspensos na água. A análise microbiológica demonstrou que tanto o processo de filtração como os processos combinados de filtração e cloração, e filtração e tratamento térmico conseguiram reduzir a presença de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes, estando os valores de acordo com os padrões biológicos estabelecidos pelas normas para a água de lastro. Pode-se concluir que os processos químicos e físicos utilizados nesse trabalho permitiram a redução da concentração de material suspenso e da contaminação microbiológica da água coletada na Baía da Babitonga, demonstrando que esta água, se for utilizada como lastro em navios, estará de acordo com os padrões estabelecidos pela Convenção BMW da Organização Marítima Internacional (IMO), da Guarda Costeira dos Estados Unidos (USCG) e da Marinha do Brasil (NORMAN-20).

Palavras-chave: Transporte Marítimo. Água de Lastro. Bioinvasão. Convenção BMW. Processos de Tratamento de Água de Lastro.

ABSTRACT

The use of ballast water to support safe vessel operations has become essential since the early 20th century. However, by collecting seawater for ballast tanks, many organisms are also transported and released in places other than their origin, contributing to bioinvasion and potentially extending to health issues such as the spread of diseases and even epidemics. In view of this issue, the International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM Convention) was adopted by the International Maritime Organization (IMO), with the aim of containing the problems generated by ballast water through requirements to be met prior to the process of deballasting ships, making it mandatory for ships to have on board a ballast water management system that meets the requirements of the Convention (Regulation D-2). The objective of this work was to evaluate the use of filtration, chemical chlorination and heating processes in the treatment of water for ship ballast in order to eliminate impurities and bioinvasive microorganisms. Water collected from the Babitonga Bay was filtered using 0.45 m cellulose acetate membranes. The permeate was treated chemically using sodium hypochlorite (filtration and chemical chlorination) or physically by heating the filtered water to boiling (filtration and heating). The results showed that the initial filtration process was already able to decrease the concentration of suspended contaminants in the water. The microbiological analysis showed that both the filtration process and the combined processes of filtration and chemical chlorination and filtration and heating were able to reduce the presence of Total Coliforms and Thermotolerant Coliforms, the values being in accordance with the biological standards established by the regulations for ballast water. It can be concluded that the chemical and physical processes used in this work allowed the reduction of the suspended material concentration and of the microbiological contamination of the water collected from the Babitonga Bay, demonstrating that this water, if used as ballast in ships, will be in accordance with the standards established by the BWM Convention of the International Maritime Organization (IMO), the United States Coast Guard (USCG), and the Brazilian Navy (NORMAN-20).

Keywords: Maritime Transportation. Ballast Water. Bioinvasion. BWM Convention. Ballast Water Treatment Processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Navio despejando água de lastro na Baía de Paranaguá, no Paraná.....	15
Figura 2 - Navio MV Cougar Ace	16
Figura 3 - Invasão do mexilhão-dourado na Usina Hidroelétrica de Itaipu	18
Figura 4 - Tratamento de água por radiação ultravioleta.....	23
Figura 5 - Esquematização do sistema de tratamento térmico	23
Figura 6 - Métodos de tratamento de água de lastro aprovados pela USCG.....	25
Figura 7 - Sistema de tratamento Wärtsilä Aquarius EC	26
Figura 8 - Sistema de tratamento BIO-SEA	27
Figura 9 - Fluxograma com as etapas realizadas	28
Figura 10 - Equipamentos utilizados no processo de filtração	29
Figura 11 - Componentes do espectrofotômetro	31
Figura 12 - Local de coleta da água da Baía da Babitonga	32
Figura 13 - Processo de filtração da água coletada na Baía da Babitonga	33
Figura 14 - Comparação visual entre as amostras	33
Figura 15 - Absorbância a 660 nm das amostras de água para lastro (A0 - sem filtração; A1, A2, A3 - filtradas).....	34
Figura 16 - Membranas utilizadas no processo de filtração (Membrana não utilizada e Amostras A1, A2 e A3)	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos da água de lastro (Regra D-2).....	20
Quadro 2 - Exigências impostas para a água de lastro pela Convenção BWM e pela USCG	21
Quadro 3 - Tipos de sistema utilizados pelas empresas.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade de lastro de diversos tipos de embarcações.	17
Tabela 2 - Massas das membranas após a filtração	35
Tabela 3 - Resultados da análise microbiológica.	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BWM – Ballast Water Management

DWT – Deadweight

IMO – International Maritime Organization

NMP – Número Mais Provável

NORMAM – Normas da Autoridade Marítima

NPM – Número Mais Provável

RORO – Roll On - Roll Off

UFC – Unidade Formadoras de Colônias

USCG – United States Coast Guard

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 ÁGUA DE LASTRO	15
2.2 BIOINVASÃO	17
2.3 CONVENÇÃO BWM	19
2.4 GERENCIAMENTO DE ÁGUA DE LASTRO DA USCG.....	20
2.5 NORMAM-20.....	21
2.6 MÉTODOS DE TRATAMENTO	22
2.6.1 Filtração	22
2.6.2 Radiação ultravioleta	22
2.6.3 Tratamento térmico.....	23
2.6.4 Ozonização	24
2.6.5 Eletrólise.....	24
2.6.6 Cloração	24
2.7 SISTEMAS DE TRATAMENTO APROVADOS - IMO E USCG	24
2.8 SISTEMAS DE TRATAMENTO UTILIZADOS EM NAVIOS	25
3. METODOLOGIA.....	28
3.1 COLETA DA ÁGUA	28
3.2 PROCESSOS FÍSICOS E QUÍMICOS.....	29
3.2.1 Processo de Filtração.....	29
3.2.2 Processo Químico de Cloração	30
3.2.3 Processo Físico de Tratamento Térmico	30
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA.....	30
3.3.1 Determinação da Turbidez	30
3.3.2 Análise microbiológica	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 PROCESSO DE FILTRAÇÃO	32
4.2 PROCESSO DE CLORAÇÃO.....	36

4.3 PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO	36
4.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA.....	36
5. CONCLUSÃO.....	38
6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	39
REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

O transporte marítimo é caracterizado como um dos modais mais utilizados no Brasil, uma vez que sua importância está diretamente ligada à geração de empregos e a economia, movimentando mais de 350 milhões de toneladas de mercadoria por ano (CECCATO, 2018). Para tanto, as embarcações sofreram diversas mudanças ao longo dos anos, entre as quais, o uso da água do mar como lastro para garantir a estabilidade do navio e também oferecer melhor manobrabilidade.

Antigamente, o lastro se dava pelo uso de materiais pesados como madeira, rochas e areia. A partir do século XX, a água de oceanos, rios e lagos passou a ser utilizada como lastro pelas embarcações devido à flexibilidade em relação aos outros materiais, visto que está sempre disponível nos locais de operação dos navios e também por evitar a demora no carregamento de materiais (PEREIRA, N., 2018).

É estimado que aproximadamente 10 milhões de toneladas de água de lastro são transportadas entre locais diferentes a cada ano, fazendo com que cerca de 3000 espécies de plantas e animais sejam levadas para fora de seu habitat natural, contribuindo para a bioinvasão, um dos maiores problemas ambientais enfrentados nos mares (PEREIRA, N., 2018).

Como tentativa de conter esse problema, a Organização Marítima Internacional (IMO), em 2004, formulou a Convenção Internacional de Controle e Gerenciamento de Água de Lastro e Sedimentos de Navios (Convenção BWM), com a finalidade de prevenir, minimizar e eliminar os riscos provocados por espécies invasoras que são transportadas na água de lastro (IMO, 2004).

Porém, devido à dificuldade de todos os armadores no mundo aderirem à Convenção BWM e instalarem um sistema de tratamento a bordo, o prazo para a adesão foi prorrogado de 2017 para 2019. No que diz respeito às novas embarcações, a regra entra em vigor a partir do início de operação, o que gera a expectativa de que todos os navios cumpram a regra até 2024 (PEREIRA, T., 2018).

Os Estados Unidos, após serem afetados por espécies invasoras, criaram sua própria legislação para o tratamento de água de lastro, estabelecida pela USCG (United States Coast Guard) em 2004. Para a viabilidade de navegação em águas americanas, é necessário o cumprimento das normas da Convenção BWM e também da USCG (FORTE, 2019).

No Brasil, a primeira regulamentação específica para lidar com os problemas da água de lastro foi denominada Normas da Autoridade Marítima para o Gerenciamento da Água de

Lastro de Navio (NORMAM-20) (MARINHA DO BRASIL, 2019). Ao ser emitida em 2005, a norma estabeleceu que todos os navios devem realizar a troca da água de lastro antes de entrar em um porto brasileiro, seguindo os mesmos parâmetros estabelecidos pela BWM (PEREIRA; BRINATI; BOTTER, 2009).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo analisar a utilização de processos químicos e físicos na redução de contaminantes provenientes da água utilizada para o lastreamento de embarcações no porto de São Francisco do Sul.

1.1. OBJETIVOS

Para resolver a problemática de contaminação dos ambientes aquáticos marítimos devido ao lançamento de impurezas e microrganismos exóticos pela troca de água de lastro de navios em portos brasileiros, propõem-se neste trabalho os seguintes objetivos.

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a utilização dos processos de filtração, cloração e tratamento térmico no tratamento de água para lastro de navios buscando a eliminação de impurezas e microrganismos bioinvasores.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Verificar a eficiência do processo de filtração na remoção de material suspenso em uma água coletada em uma Baía;
- Determinar a efetividade do tratamento por cloração na redução de impurezas e bioinvasões em água para lastro de navios;
- Avaliar a utilização do tratamento térmico na redução e eliminação de contaminantes em água para lastro;
- Analisar microbiologicamente a eficiência dos tratamentos químicos e físicos realizados na purificação da água para lastro de navios.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

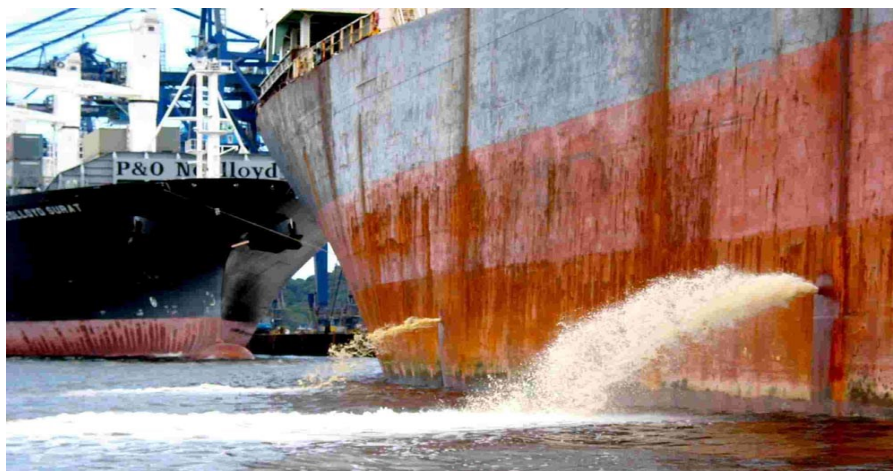
2.1 ÁGUA DE LASTRO

A partir do crescimento do comércio internacional, fez-se necessário o desenvolvimento do transporte marítimo, onde as embarcações são utilizadas para realizar o transporte de diversos tipos de cargas em grandes quantidades, correspondendo a cerca de 80% do comércio de cargas em todo o mundo. Com isso, existem requisitos operacionais que devem ser respeitados pelos navios, como a estabilidade, condições de manobra, segurança e calado. Para garantir o cumprimento desses requisitos, um dos procedimentos utilizados é o lastreamento (PEREIRA; BRINATI; BOTTER, 2009).

O lastro consiste em qualquer material utilizado para manter o equilíbrio de uma embarcação. Antigamente, era comum o uso de pedras, madeira e areia nos porões dos navios para servirem de lastro. Entretanto, os materiais sólidos promoviam instabilidade aos navios, principalmente com os movimentos de embarque e desembarque de carga nos portos (LAMONICA; SANTOS, 2008). Para evitar essa instabilidade, a água dos mares, rios e lagos passou a ser utilizada como lastro nos navios a partir do início do século XX por serem mais flexíveis e de mais fácil acesso quando comparados aos materiais sólidos (FORTE, 2019).

A água é mantida nos tanques de lastro com o objetivo de manter a segurança, regular a altura do calado e compensar as perdas de peso da embarcação. Os processos de lastreamento e deslastreamento ocorrem, na maioria das vezes, antes dos navios migrarem de um porto para outro, conforme mostrado na Figura 1. Porém, o lastro também pode ser ajustado no trajeto de navegação (PEREIRA, 2018).

Figura 1 - Navio despejando água de lastro na Baía de Paranaguá, no Paraná



Fonte: Observatório Justiça e Conservação (2020).

O lastreamento de um navio é responsabilidade da tripulação, que deve ter conhecimento necessário para realizar a manutenção do trim e da estabilidade da embarcação durante a navegação. A função de garantir que todas as operações sejam realizadas de forma segura é delegada ao comandante do navio. Essa não é uma tarefa simples pois, se não for executada de maneira correta, pode agravar acidentes e gerar grandes prejuízos. Existem relatos de acidentes envolvendo erros em operações de lastro. Como exemplo pode-se citar o navio MV Cougar Ace em 2006 nos Estados Unidos que, devido a uma falha no controle de volume dos tanques durante a troca da água de lastro, causou o emborcamento do navio (Figura 2) (PEREIRA, N., 2018).

Figura 2 - Navio MV Cougar Ace



Fonte: Pereira, N. (2018).

Os arranjos dos tanques de lastro são diferentes entre si, sendo configurados de acordo com as características de cada embarcação. Especialistas afirmam que um navio parcialmente carregado dispõe em seus tanques de quantidade mínima de lastro necessária para garantir a segurança da navegação até o próximo porto, uma vez que o uso de lastro em maiores quantidades implica no aumento de potência necessária e de custos com combustível (PEREIRA, N., 2018).

A Tabela 1 apresenta a capacidade de água de lastro em diferentes tipos de embarcações, onde em condições normais corresponde de 30 a 40% de seu porte bruto e, em condições de lastro pesado, de 38 a 57% (KIM, 2013).

Tabela 1 - Capacidade de lastro de diversos tipos de embarcações

Tipo de Navio	DWT ¹	Condição de Lastro			
		Normal [t]	% de DWT	Pesado [t]	% de DWT
Graneleiro	250000	75000	30	113000	45
Graneleiro	150000	45000	30	67000	45
Graneleiro	70000	25000	36	40000	57
Graneleiro	35000	10000	30	71000	49
Tanque	10000	40000	40	45000	45
Tanque	40000	12000	0	15000	38
Conteiner	40000	12000	30	15000	38
Conteiner	15000	5000	30	n/a ³	-
Carga Geral	17000	6000	35	n/a	-
Carga Geral	8000	3000	38	n/a	-
Passageiro/RORO ²	3000	1000	33	n/a	-

¹ DWT – *deadweight (porte bruto do navio)*; ² RORO – *Roll on-Roll off*; ³ n/a – *não aplicável*

Fonte: adaptado de Kim (2013).

Junto com toda a quantidade de água de lastro descarregada ao redor do mundo pelos navios, microrganismos e espécies de fauna e flora também são transportados para regiões diferentes de seus habitats naturais, podendo causar problemas ecológicos, como a bioinvasão, econômicos e também à saúde (COLLYER, 2007).

2.2 BIOINVASÃO

A chegada de determinadas espécies em um novo habitat pode se caracterizar como um risco ambiental e econômico, uma vez que essas espécies podem se multiplicar e formar colônias quando se estabelecem em condições ambientais favoráveis e livres de predadores naturais. Entre os fatores determinantes para o estabelecimento de espécies pode-se citar o clima, o número de indivíduos introduzidos, as características biológicas das espécies e as condições do meio ambiente onde elas estão sendo introduzidas. Além disso, locais de descarga como portos são mais passíveis de sucesso da colonização dessas espécies (NOGUEIRA, 2013).

De acordo com Collyer (2007), a presença de microrganismos é muito mais acentuada na água da zona portuária em relação ao que é coletado em alto mar, o que faz com

que o risco da inserção de organismos perigosos seja consideravelmente alto. Apesar de boa parte desses organismos não sobreviverem ao transporte, outras espécies se multiplicam e ocasionam problemas ecológicos nas regiões em que são despejadas.

Como maior exemplo de espécie invasora no Brasil pode-se citar o mexilhão-dourado, oriundo da China e do sudeste Asiático, que hoje se encontra em diversas regiões brasileiras. Além de ser responsável pela interferência na reprodução de espécies nativas e causar desequilíbrio ecológico nos ambientes em que se instala, também está associado a enormes prejuízos econômicos. Na Usina Hidroelétrica de Itaipu, os mexilhões obstruíram as turbinas e alteraram sua rotina de manutenção, gerando prejuízos de quase US\$ 1 milhão a cada dia de paralisação (Figura 3) (COLLYER, 2007).

Figura 3 - Invasão do mexilhão-dourado na Usina Hidroelétrica de Itaipu



Fonte: Santos (2017).

Outro exemplo de espécie invasora é o mexilhão-zebra. Encontrado na costa dos Estados Unidos e trazido por navios dos mares Cáspio e Negro, esse invasor é o que mais preocupa os americanos, pois além de se proliferarem rapidamente, também se instalam em encanamentos e passagens de água, gerando prejuízos econômicos (COLLYER, 2007).

Somado à esses problemas, invasores como as bactérias *Vibrio cholerae*, *Enterococcus faecalis* e *Escherichia coli*, que ameaçam a saúde com doenças como cólera, pneumonia e infecções intestinais, também são encontrados em águas de lastro (FORTE, 2019). Com isso, torna-se cada vez mais necessário o tratamento da água de lastro nos navios para evitar que ocorram danos ambientais, propagação de doenças e prejuízos econômicos ao redor do mundo.

2.3 CONVENÇÃO BWM

Apesar da água de lastro ser essencial às operações de uma embarcação, problemas sérios como a bioinvasão devem ser levados em consideração para serem resolvidos. A partir dessa premissa, a IMO, em 2004, durante a Conferência Internacional sobre Gestão de Água de Lastro para Navios ocorrida em Londres, adotou a Convenção Internacional para Controle e Gerenciamento da Água de Lastro e Sedimentos de Navios (Convenção BWM), que tem como finalidade a prevenção dos efeitos da dispersão de microrganismos contidos na água de lastro.

Pelo que ficou acordado, a Convenção BWM entraria em vigor 12 meses após a adesão de pelo menos 30 países membros que, juntos, corresponderem a 35% da arqueação bruta mundial. Com isso, após a adesão da Finlândia como 52º país, correspondendo a 35,14% da arqueação bruta mundial, a Convenção entrou em vigor em setembro de 2017 (FORTE, 2019).

Entre os principais requisitos da Convenção para o gerenciamento da água de lastro pode-se citar a disposição a bordo de um plano de gerenciamento de água de lastro, com procedimentos adequados para evitar a captação ou descarga de espécies invasoras nos mares. Segundo a IMO (2004), toda embarcação deve conter o Livro de Registro de Água de Lastro, indicando hora, local e a quantidade de operações. Além disso, as embarcações são obrigadas a possuir um Certificado Internacional de Gerenciamento de Água de Lastro, indicando que fazem parte da Convenção BWM e seguem os termos impostos por ela.

Quanto aos métodos de gerenciamento da água de lastro, a Convenção BWM estabeleceu uma norma para a troca da água de lastro (Regra D-1) e uma norma para o desempenho da água de lastro (Regra D-2), onde a Regra D-1 estabelece que toda embarcação deve realizar a troca de 95% de seu volume de água de lastro a, no mínimo, 200 milhas náuticas da costa e a 200 metros de profundidade (IMO, 2004).

Já a Regra D-2, segundo Kim (2013), é destinada aos padrões biológicos e possui critérios detalhados para seu cumprimento. Para isso, é necessário que a embarcação possua a bordo um sistema de tratamento de água de lastro para poder atingir esse padrão imposto pela Convenção, que é mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Requisitos da água de lastro (Regra D-2)

Organismos	Tamanho	Critério para descarga
Organismos viáveis (plancton)	Tamanho $\geq 50 \mu\text{m}$ $10 \mu\text{m} \leq \text{Tamanho} < 50 \mu\text{m}$	< 10 organismos por m^3 < 10 organismos por ml
<i>Vibrio cholera</i>		< 1 UFC por 100 ml < 1 UFC por 1 g de amostras de zooplâncton
<i>Escherichia coli</i>		< 250 UFC por 100 ml
<i>Enterococcus faecalis</i>		< 100 UFC por 100 ml

UFC: unidade formadora de colônia

Fonte: Adaptado de Kim (2013).

A Convenção BWM estabelecia que até 2016 as embarcações deveriam providenciar a troca da água de lastro (Regra D-1) ou satisfazer o requisito da água de lastro (Regra D-2). Porém, após 2016 a Regra D-2 seria o único requisito a ser cumprido após a instalação do sistema de gerenciamento de água de lastro uma vez que a Regra D-1 foi vetada devido à incerteza da eficácia dos métodos utilizados.

2.4 GERENCIAMENTO DE ÁGUA DE LASTRO DA USCG

Após anos sendo afetados por espécies invasoras descarregadas pela água de lastro de navios, a Guarda Costeira dos Estados Unidos (USCG), em 2004, determinou regras para o controle de descarga de organismos vivos provenientes dessa água, que só entraram em vigor em junho de 2012. Diferente da Convenção BWM da IMO, que possui abrangência internacional, as regras da USCG devem ser seguidas apenas por embarcações que fazem escala em portos dos EUA e planejam descarregar água de lastro em território americano (CAMPARA, 2019).

A norma da USCG possui alguns padrões de descarga iguais aos da Convenção BWM, como a quantidade de organismos e bactérias que devem conter na água de lastro que será descarregada. Entretanto, a Convenção da IMO tem como exigência a medição de organismos viáveis, isto é, que consigam se reproduzir em um novo ambiente, enquanto a USCG define os organismos como vivos ou mortos, exigindo a medição de organismos vivos. Com isso, a norma da USCG se torna mais rigorosa quando comparada à norma da IMO. O Quadro 2 apresenta uma comparação entre as normas da Convenção BWM e da USCG.

Quadro 2 - Exigências impostas para a água de lastro pela Convenção BWM e pela USCG

Tamanho	Regra D-2 da IMO	Norma USCG
Tamanho $\geq 50\mu\text{m}$	< 10 organismos viáveis por m^3	< 10 organismos vivos por m^3
$10 \leq \text{Tamanho} < 50 \mu\text{m}$	< 10 organismos viáveis por ml	< 10 organismos vivos por ml
<i>Vibrio cholera</i>	< 1 UFC por 100 ml	< 1 UFC por 100 ml
<i>Escherichia coli</i>	< 250 UFC por 100 ml	< 250 UFC por 100 ml
<i>Enterococcus faecalis</i>	< 100 UFC por 100 ml	< 100 UFC por 100 ml

UFC: unidade formadora de colônia

Fonte: Forte (2019).

2.5 NORMAM-20

No Brasil, a norma responsável por regular o gerenciamento da água de lastro é a NORMAM-20. Essa norma é aplicada a todas as embarcações, nacionais ou internacionais, que utilizam a água do mar nos processos de lastreamento e navegam em Águas Jurisdicionais Brasileiras, caracterizadas pelos espaços marítimos em que o Brasil exerce jurisdição. Os espaços marítimos se estendem a “200 milhas marítimas contadas a partir da linha de base, acrescida das águas sobrejacentes à extensão da Plataforma Continental além das 200 milhas marítimas, onde ela ocorrer” (NORMAM-20, 2019).

Segundo a norma, o descarte da água de lastro segue os padrões da Regra D-1 da Convenção BWM, onde as embarcações devem realizar a troca da água de lastro pelos métodos sequencial, fluxo contínuo ou diluição (FORTE, 2019). O método sequencial consiste no esvaziamento dos tanques de lastro, seguido pelo enchimento com a água do oceano. O método de fluxo contínuo ocorre por meio do bombeamento de água, promovendo o enchimento e esvaziamento dos tanques de lastro de forma simultânea. Por outro lado, o método da diluição ocorre com o nível de água dos tanques constante devido ao enchimento do topo do tanque e ao esvaziamento do fundo de forma simultânea (PORTO, 2018).

Em competentes, não são obrigadas a realizar a troca da água de lastro nos moldes contrapartida, as embarcações que dispõem a bordo de um sistema de tratamento de água de lastro para cumprir com a Regra D-2 da Convenção BWM, devidamente certificados pelas autoridades estabelecidos pela Regra D-1 (NORMAM-20, 2019).

2.6 MÉTODOS DE TRATAMENTO

A partir da necessidade das embarcações de possuírem a bordo um sistema de tratamento para a água de lastro, diversas técnicas foram desenvolvidas para este fim. Entre elas, pode-se citar exemplos como a tratamento térmico, filtração, irradiação por raios ultravioleta e cloração (GOMES, 2017).

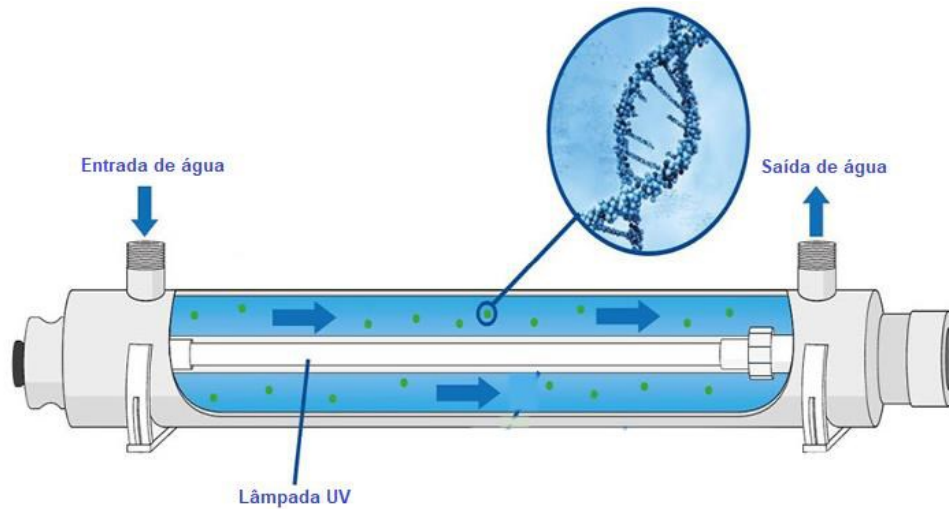
2.6.1 Filtração

Esse sistema consiste no impedimento da entrada de organismos maiores nos tanques de lastro, como zooplânctons, algas do fitoplâncton e coliformes. Para isso, são utilizadas membranas filtrantes com poros que variam de 0,22 a 0,45 μm . Entretanto, não é eficaz na redução significativa de microrganismos menores. No geral, o sistema de filtração possui eficiência inferior a 70% quando utilizado isoladamente, portanto, esse sistema tem sido testado em combinação com outras alternativas de tratamento de água de lastro (PEREIRA N., 2018).

2.6.2 Radiação ultravioleta

Apesar de serem irradiados pelo sol, os raios UV também podem ser emitidos por lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Essas lâmpadas são utilizadas para irradiar a luz ultravioleta na água de lastro captada pela embarcação, fazendo com que a luz UV promova mudanças maléficas ao DNA dos microrganismos, levando-os à morte. Entretanto, esse processo não tem eficácia contra organismos maiores, por isso, geralmente é combinado com outros processos, como a filtração (PEREIRA; BRINATI; BOTTER, 2009). Sua utilização nas embarcações se dá pela instalação de tubos de Teflon com as lâmpadas emissoras de raios UV fixadas em suas extremidades (Figura 4) (FORTE, 2019). Um ponto negativo desse sistema de tratamento é o dano causado à estrutura do navio, como a corrosão de metais, revestimento e juntas (MESBAHI, 2004).

Figura 4 - Tratamento de água por radiação ultravioleta

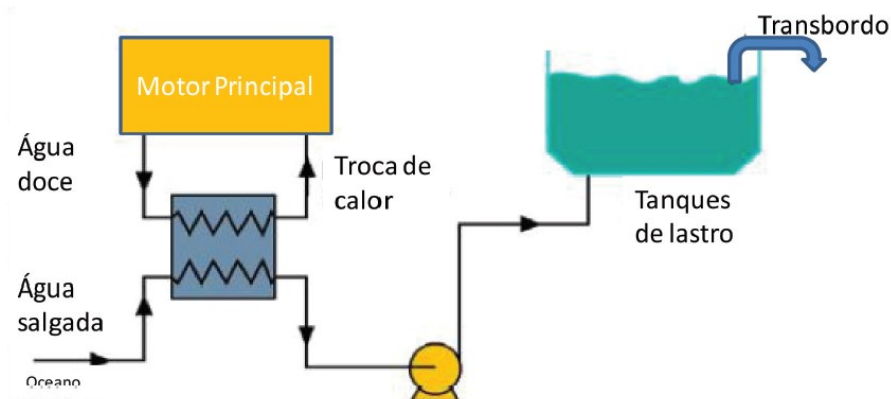


Fonte: Forte (2019).

2.6.3 Tratamento térmico

Amplamente testado, este tratamento consiste na captação do calor gerado pelas máquinas do navio, visando aquecer a água de lastro a uma temperatura que elimine os microrganismos (Figura 5). Segundo Pereira (2018), o tratamento térmico é atrativo, uma vez que produtos secundários e resíduos químicos não são descarregados, além de que o calor do motor do navio pode ser uma fonte de energia para aquecer a água de lastro. Como ponto negativo desse processo pode-se citar a expansão causada pelo aquecimento, que, por se estender além de sua área de atuação, pode causar estresses à estrutura das embarcações. Para viabilizar este processo, torna-se necessária a modificação da engenharia dos navios (Gomes, 2017).

Figura 5 - Esquemática do sistema de tratamento térmico



Fonte: Pereira (2018).

2.6.4 Ozonização

O ozônio é caracterizado como um agente poderoso, pois elimina vírus e bactérias quando utilizado em tratamentos de águas convencionais como desinfetante. É obtido através de uma descarga elétrica que transforma a molécula de oxigênio (O_2) em ozônio (O_3) e seu efeito na água depende de sua concentração e do tempo de exposição (PEREIRA; BRINATI; BOTTER, 2009).

Além de ter um custo elevado, o uso desse método como tratamento de água de lastro é conveniente em água doce, uma vez que, em águas salgadas, provoca a reação com o cloro da água do mar, produzindo diversas substâncias corrosivas (ARAÚJO, 2012).

2.6.5 Eletrólise

Consiste em um sistema que utiliza a energia elétrica no tratamento da água de lastro, onde a porcentagem de esterilização é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica (PEREIRA N., 2018). Apesar de ser um método de tratamento testado com êxito, é utilizado apenas por embarcações que operam em água doce (ARAÚJO, 2012).

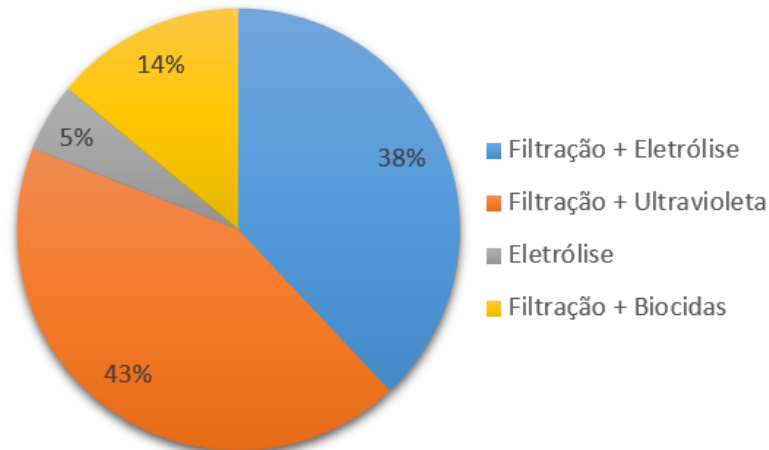
2.6.6 Cloração

Entre todos os agentes biocidas, o cloro é o mais utilizado para o tratamento de água devido à sua eficácia já comprovada em água doce. No que diz respeito ao tratamento da água de lastro, este método é apontado como um método de baixo custo, fácil aplicação e capaz de tratar elevados volumes de água. Todavia, o cloro em concentrações elevadas forma substâncias tóxicas e prejudiciais ao ambiente marinho (PEREIRA N., 2018).

2.7 SISTEMAS DE TRATAMENTO APROVADOS - IMO E USCG

As embarcações atuais possuem a bordo sistemas de tratamento de água de lastro devidamente certificados e aprovados pela IMO e pela USCG. Esses sistemas, principalmente os de filtração, são combinados com outros métodos de tratamento para a obtenção de resultados satisfatórios. Como mostrado na Figura 6, os métodos de tratamento mais utilizados em combinação com a filtração são ultravioleta, eletrólise e biocida, respectivamente (FORTE, 2019).

Figura 6 - Métodos de tratamento de água de lastro aprovados pela USCG



Fonte: Adaptado de USCG (2019).

Os requisitos da USCG são mais rigorosos em comparação à Convenção BWM da IMO. Com isso, os sistemas aprovados pela USCG também são aprovados pela IMO, permitindo que os armadores possam escolher sistemas que operam seguindo ambas as normas (FORTE, 2019).

2.8 SISTEMAS DE TRATAMENTO UTILIZADOS EM NAVIOS

A IMO, a partir da Convenção BWM, estabeleceu que toda embarcação que utilizar água do mar em seu lastreamento terá a obrigação possuir a bordo um sistema de tratamento para a mesma. Com isso, diversos métodos de tratamento para a água de lastro foram desenvolvidos e estudados ao longo do tempo.

Segundo Pereira, N (2018), os métodos de tratamento químico, físico e biológicos não garantem a retirada total dos organismos invasores presentes na água de lastro, principalmente quando utilizados de forma isolada. Uma forma de aumentar a eficiência dos métodos é a partir de suas combinações, como os armadores têm feito em seus navios nos últimos anos. Os métodos de cloração, radiação ultravioleta e eletrólise, por exemplo, costumam ser utilizados após o processo de filtração. O Quadro 3 apresenta alguns armadores e os sistemas de tratamento utilizados em seus navios.

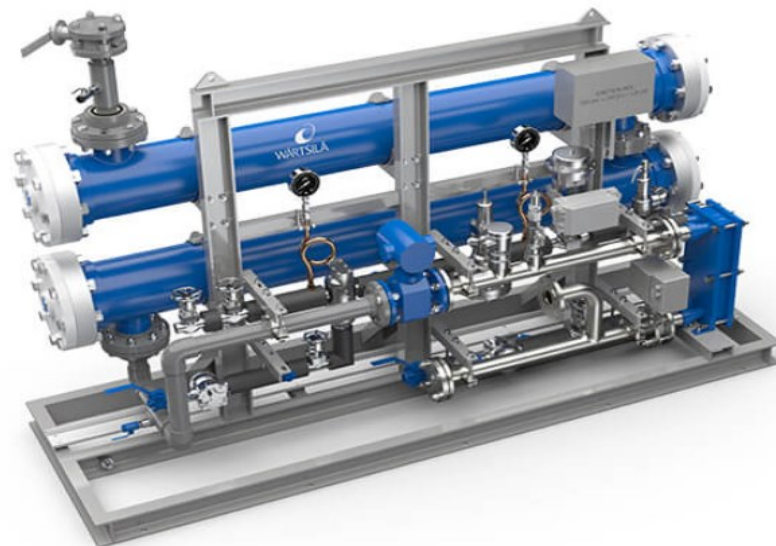
Quadro 3 - Tipos de sistema utilizados pelas empresas

Empresa	Tipo de sistema utilizado
A.P. Møller – Mærsk A/S	Filtração + Eletrólise
CMA CGM Group	Filtração + Radiação Ultravioleta
COSCO Group	Filtração + Eletrólise
Evergreen Line	Filtração + Radiação Ultravioleta
Hapag-Lloyd	Filtração + Radiação Ultravioleta
NYK – One (Ocean Network Express)	Filtração + agentes químicos

Fonte: Adaptado de Forte (2019).

No que diz respeito às empresas que fornecem os equipamentos utilizados no mercado para sistemas de gerenciamento de água de lastro, pode-se citar a empresa finlandesa *Wärtsilä*, que fabrica o sistema *Aquarius Electro Chlorination (EC)*, utilizado pela COSCO Group (WÄRTSILÄ, 2015). Para tratar um grande volume de água de lastro, o processo combinado de filtração e eletrocloração fornecido pelo EC, mostrado na Figura 7, é mais eficiente em relação ao processo de Radiação Ultravioleta (DNV, 2019).

Figura 7 - Sistema de tratamento Wärtsilä Aquarius EC



Fonte: DNV (2019).

Além do sistema *Aquarius Electro Chlorination*, também pode ser citado o *BIO-SEA*, mostrado na Figura 8, que consiste em um sistema de tratamento de água de lastro utilizado pela empresa CMA CGM Group. Esse sistema atende as normas da BWM, reduzindo o número de organismos invasores pela combinação dos métodos de filtração e radiação ultravioleta.

Figura 8 - Sistema de tratamento BIO-SEA

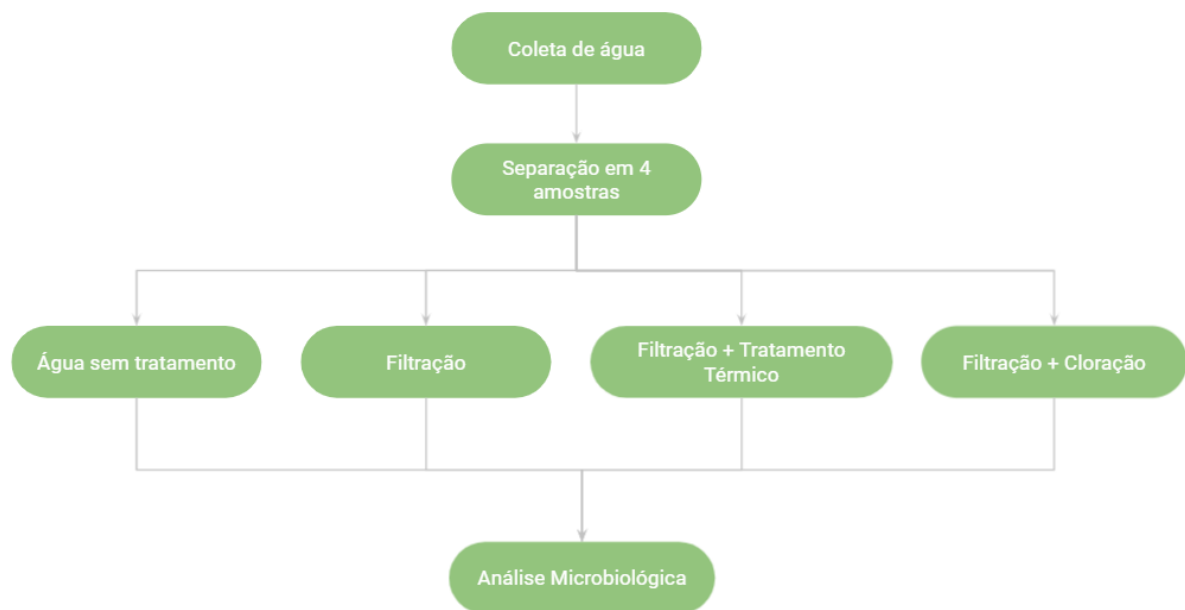


Fonte: Forte (2019).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os processos, materiais e métodos utilizados ao longo do desenvolvimento do trabalho. Água da baía da Babitonga foi coletada e tratada utilizando processos físicos e químicos para verificar, através de análises microbiológicas, a eficácia da redução de coliformes termotolerantes e coliformes totais. A Figura 9 apresenta um fluxograma das etapas realizadas neste trabalho.

Figura 9 - Fluxograma com as etapas realizadas



Fonte: O autor (2021).

3.1 COLETA DA ÁGUA

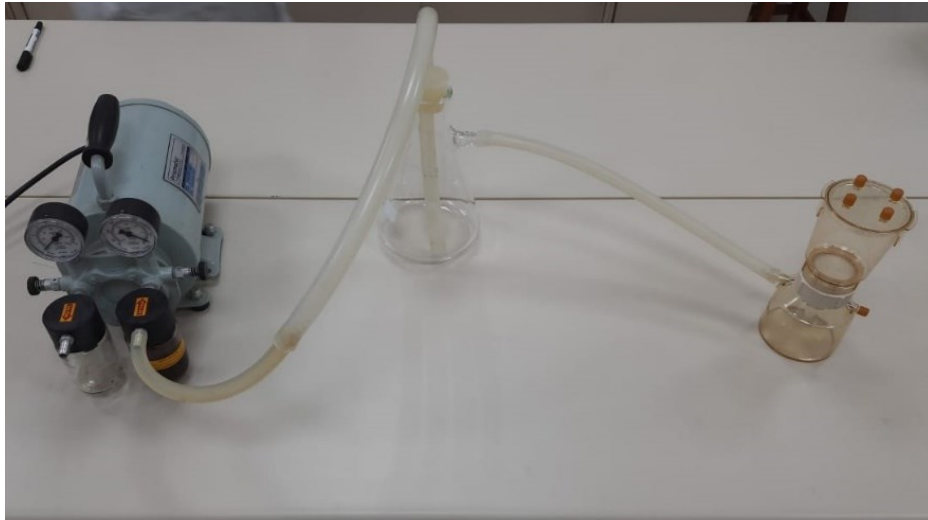
O primeiro passo para a realização dos objetivos do trabalho foi a coleta de água da baía da Babitonga, em uma localização próxima ao Porto de São Francisco do Sul, onde são movimentados diversos tipos de embarcações. Para isso, foi introduzido na água um galão com capacidade de cinco litros. Após o completo enchimento, o galão foi fechado ainda dentro da água para evitar a entrada de oxigênio e, conseqüentemente, possíveis alterações nos resultados. A água coletada foi armazenada sob refrigeração durante 24 horas.

3.2 PROCESSOS FÍSICOS E QUÍMICOS

3.2.1 Processo de Filtração

O processo de filtração foi realizado no Laboratório de Polímeros e Materiais Compósitos da Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Joinville. A filtração foi realizada utilizando o aparato de filtração à vácuo apresentado na Figura 10, composto por uma bomba de vácuo, um kitasato (utilizado como *trap*) e um sistema de filtração Millipore. Para a filtração foi utilizada uma membrana de acetato de celulose da empresa Millipore™, com porosidade de 0,45 μm e diâmetro de 47 mm.

Figura 10 - Equipamentos utilizados no processo de filtração



Fonte: O autor (2021).

A água foi agitada previamente para homogeneizar antes de dividir em três amostras. Foram realizadas três filtrações, sendo que em cada uma foram filtrados 250 mL da água coletada. Após cada filtração, o permeado foi transferido para recipientes de vidro e armazenados sob refrigeração para a realização das etapas seguintes do trabalho.

As membranas utilizadas foram transferidas para uma placa de Petri e colocadas em estufa à 50° C para secagem e posterior determinação da massa de material retido por gravimetria.

As amostras de água obtidas no processo de filtração foram nomeadas de A1 até A3. Foi também armazenada uma amostra da água coletada para a determinação das condições iniciais, sendo esta nomeada A0.

3.2.2 Processo Químico de Cloração

Para realizar o processo de cloração foi utilizada uma solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) com 2,5% p/p de cloro ativo para testar o efeito desinfetante do cloro. A quantidade de solução de hipoclorito de sódio adicionada à água foi de 1,5 mL. A amostra A2 após a diluição da solução desinfetante foi agitada durante 1 minuto. Após isso, a amostra foi mantida em ambiente refrigerado.

3.2.3 Processo Físico de Tratamento Térmico

Para a amostra A3, o processo de filtração foi combinado com o tratamento por tratamento térmico, em que a água foi transferida para um recipiente metálico e aquecida até a sua fervura. O aquecimento aconteceu utilizando gás. Após resfriada, a amostra foi armazenada em ambiente refrigerado para posterior análise.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

3.3.1 Determinação da Turbidez

A turbidez pode ser definida como a presença de partículas em suspensão ou coloidais presentes em uma água. É uma medida utilizada como padrão de potabilidade de uma água, descrita pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

A turbidez pode ser entendida como a medida do espalhamento de luz produzido pela presença das partículas presentes no meio e pode ser determinada por equipamentos (turbidímetro, espectrofotômetro) que usam uma fonte de luz que é fracionada por um prisma em seus diferentes comprimentos de onda. O comprimento de onda selecionado é direcionado para a solução de água contida em uma cubeta de quartzo. A redução da intensidade luminosa é medida por um detector (KASVI, 2018). A Figura 11 esquematiza os componentes de um espectrofotômetro.

Neste trabalho foi realizada a determinação da turbidez relativa da água *in natura* e das amostras de água após o processo de filtração utilizando membranas de 0,45 µm. Aliquotas das amostras foram transferidas para cubetas de quartzo e lidas em espectrofotômetro (BEL S05) em um comprimento de onda de 600 nm. A leitura não foi utilizada como indicativo da turbidez das amostras, uma vez que não foi preparada uma curva de calibração para determinação utilizando espectrofotômetro.

Figura 11 - Componentes do espectrofotômetro



Fonte: KASVI (2018).

3.3.2 Análise microbiológica

As amostras A0, A1, A2 e A3 foram encaminhadas ao laboratório EnryLab para a realização de uma análise microbiológica, com o objetivo de verificar se os métodos de tratamento utilizados foram eficazes na redução de coliformes termotolerantes e coliformes totais. A metodologia utilizada para a análise foi baseada na *American Public Health Association – APHA* (KORNACKI; JOHNSON, 2001) descrito na Seção 9221 do *Standard Methods form Examination of Water and Wastewater* (HUNT; RICE, 2001).

A análise microbiológica utiliza a técnica dos múltiplos tubos, onde 15 tubos de ensaio contendo caldo Lauril Triptose e um tubo de Durham foram utilizados. Posteriormente, a água da amostra foi dividida entre cada tubo e, em seguida, incubada em uma estufa à aproximadamente 35 °C no período de 24 horas. Para detectar a presença de coliformes termotolerantes, as amostras que apresentavam gás no tubo de Durham foram movidas para um tubo com caldo para *Escherichia coli* em seu interior. Para os coliformes totais, as amostras foram movidas para um tubo com caldo Verde-Brilhante. Após isso, durante um período de 24 horas, os tubos com *Escherichia coli* foram incubados em banho-maria à aproximadamente 44,5 °C, enquanto os tubos com caldo Verde-Brilhante foram incubados em estufa à aproximadamente 35 °C.

O número de coliformes foi calculado com base na Tabela de Número Mais Provável (NMP), segundo o *Bacteriological Analytical Manual* (BLODGETT, 2006) e expresso na unidade de NMP/100 mL.

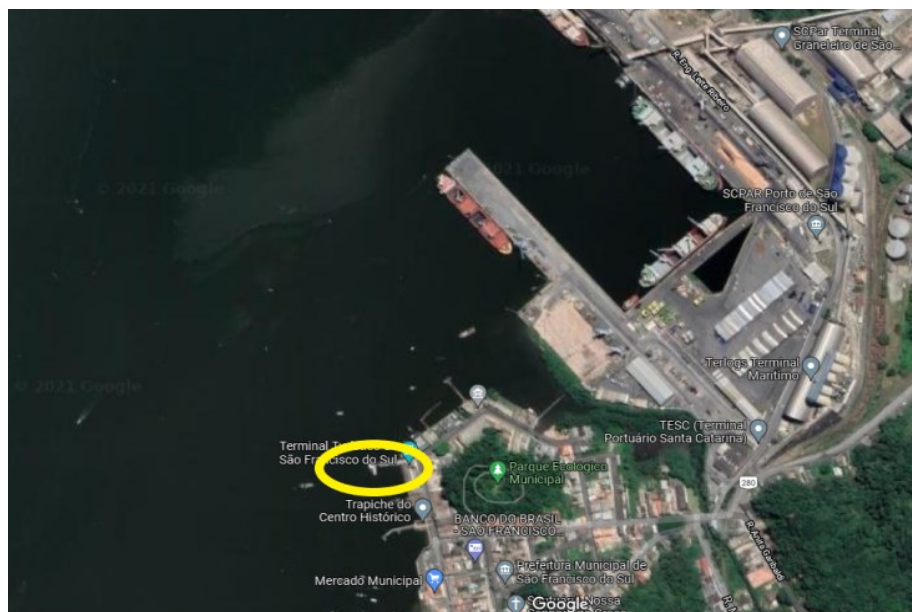
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água utilizada como lastro, apesar da sua importância para a estabilidade dos navios, pode ser um importante vetor de disseminação de organismos que, uma vez inseridos em um ambiente, podem impactar consideravelmente a fauna e a flora de uma região portuária. Este trabalho analisa o emprego de processos físicos e químicos que estão sendo utilizados para a diminuição dos problemas relacionados à utilização da água como lastro em navios.

4.1 PROCESSO DE FILTRAÇÃO

A água utilizada neste trabalho foi coletada na Baía da Babitonga em uma região próxima ao Porto de São Francisco do Sul, indicada na Figura 12, estando as águas da Baía pouco agitadas. Como o local de coleta é próximo ao Porto, pode-se considerar que a água coletada possui as mesmas condições físicas, químicas e microbiológicas das águas utilizadas como lastro pelos navios, buscando assim a estabilidade necessária para a sua operação.

Figura 12 - Local de coleta da água da Baía da Babitonga



Fonte: O autor (2021).

O processo de filtração foi inicialmente utilizado para diminuir a quantidade de material suspenso presente na água. A Figura 13 apresenta a célula de filtração utilizada durante a filtragem da água proveniente da Baía da Babitonga, enquanto a Figura 14 apresenta a água coletada (A0) e as amostras resultantes do processo de filtração (A1, A2 e A3).

Figura 13 - Processo de filtração da água coletada na Baía da Babitonga



Fonte: O autor (2021).

Figura 14 - Comparação visual entre as amostras



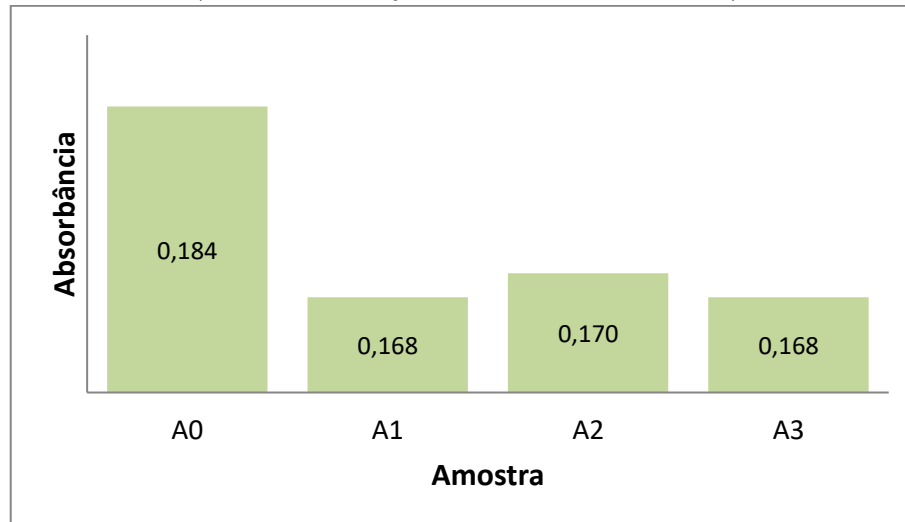
Fonte: O autor (2021).

Observando a Figura 14, pode-se perceber uma pequena redução na turbidez da água permeada nos três ensaios de filtração (Amostras A1, A2 e A3) em relação à amostra A0. Esta pequena diferença está relacionada a baixa turbidez da água coletada na Baía da Babitonga que acabou não provocando grande diferença nas amostras filtradas.

Para melhor analisar os resultados do processo de filtração nas propriedades físicas da água, foi determinada a absorvância das amostras A0 a A3 e a massa das membranas utilizadas na filtração das amostras A1 a A3.

A Figura 15 apresenta a absorvância obtida utilizando um comprimento de onda de 660 nm das amostras de água de lastro sem filtração e depois de filtradas.

Figura 15 - Absorbância a 660 nm das amostras de água para lastro (A0 - sem filtração; A1, A2, A3 - filtradas)

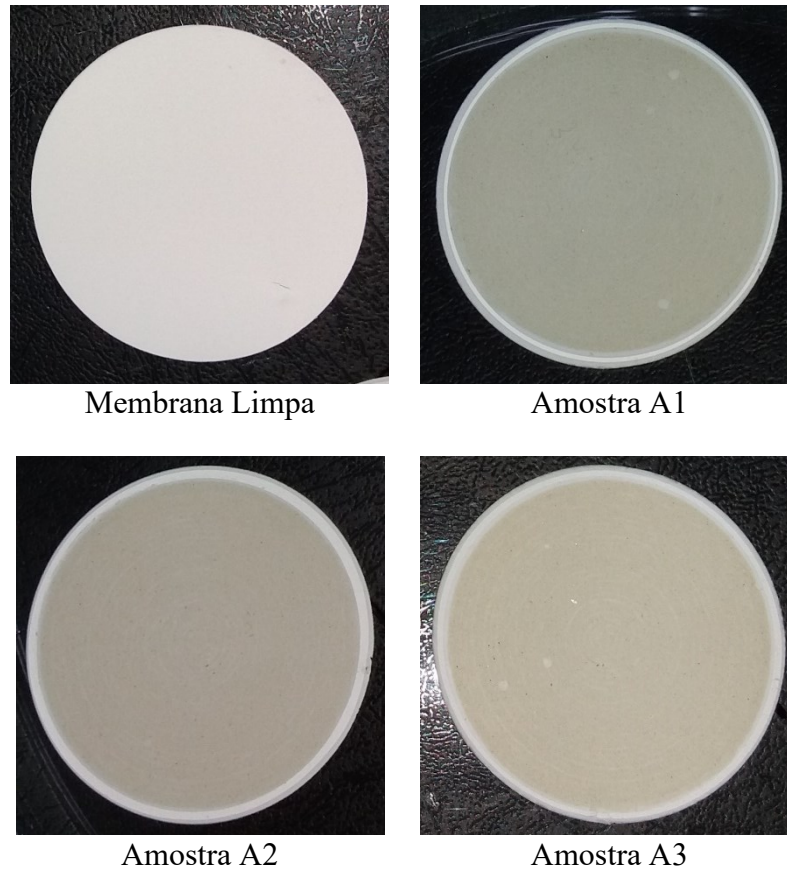


Fonte: O autor (2021).

Analisando a Figura 15 observa-se uma diminuição na absorbância de 0,184 para a amostra não filtrada para em média 0,168 nas amostras filtradas, demonstrando que o processo de filtração retirou parte do material presente na água coletada na Baía da Babitonga. Assim, os resultados obtidos apresentam que ocorreu uma redução na concentração de compostos presentes nas soluções A1, A2 e A3, quando comparada com a amostra de água não tratada, A0, evidenciando que a filtração teve efeito na redução de resíduos. É importante ressaltar que não é possível correlacionar os valores da absorbância lidos com a turbidez das amostras por não ter sido utilizado um turbidímetro.

Uma segunda análise para determinar a eficiência do processo utilizado foi a determinação da quantidade de material retido no processo de filtração. Após a filtração das amostras A1, A2 e A3, as membranas filtrantes utilizadas em cada procedimento foram secas em estufa para a determinação por gravimetria da massa do retentado. A Figura 16 mostra as membranas utilizadas no processo de filtração das amostras, enquanto a Tabela 2 apresenta a massa determinada para as membranas utilizadas nas filtrações das amostras A1, A2 e A3.

Figura 16 - Membranas utilizadas no processo de filtração (Membrana não utilizada e Amostras A1, A2 e A3)



Fonte: O autor (2021).

Tabela 2 - Massas das membranas após a filtração

Amostra	Massa (g)
Membrana limpa	0,0954
A1	0,1113
A2	0,1095
A3	0,1084

Fonte: O autor (2021).

Observando a Figura 16 nota-se que há uma diferença na coloração das membranas. A membrana não utilizada apresenta-se branca, enquanto as membranas utilizadas nos processos de filtração das amostras A1, A2 e A3 apresentam uma coloração mais escura, demonstrando a presença do material retido na filtração. Os resultados estão de acordo com o esperado, uma vez que a água coletada na Baía da Babitonga não apresentava elevada turbidez, portanto, não era esperada uma grande quantidade de resíduos retidos pelas membranas filtradoras.

A determinação das massas das membranas secas (Tabela 2) apresentou valores baixos, compatíveis com a quantidade de resíduos presentes nas amostras de água filtradas. A membrana da amostra A1 reteve 0,0159 g de resíduos, enquanto a membrana utilizada para a filtração da Amostra A2 reteve 0,0141 g de resíduos. Já a membrana da amostra A3, por sua vez, reteve 0,0130 g dos resíduos presentes na água da Baía da Babitonga.

4.2 PROCESSO DE CLORAÇÃO

Na tentativa de reduzir ainda mais o número de organismos presentes na água anteriormente filtrada, a amostra A2 foi submetida ao processo de cloração, onde uma solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) com 2,5% p/p de cloro ativo foi misturada na água já filtrada da amostra A2.

Após a solução ser misturada na água durante 1 minuto, não foi possível observar diferenças visuais na água contida na amostra. Por fim, a amostra A2 foi armazenada em ambiente refrigerado. Para saber a eficácia dos métodos de filtração e cloração combinados, fez-se necessária uma análise microbiológica posteriormente.

4.3 PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO

Outro método utilizado foi a combinação dos processos de filtração com o tratamento térmico, onde a água filtrada da amostra A3 foi colocada em um recipiente metálico e aquecida utilizando gás. A água foi aquecida até o momento em que começou a borbulhar. Em seguida, após resfriada, a água foi colocada de volta em seu recipiente original e armazenada sob refrigeração. Como não foi possível notar mudanças visualmente, a amostra A3 também foi submetida à análise microbiológica posteriormente para melhor definição dos resultados.

4.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Os processos físicos e químicos utilizados neste trabalho estão relacionados aos Sistemas de Tratamento de Água de Lastro implantados nos últimos anos nos navios de acordo com a Regra D-2 da convenção BWB, que determina a quantidade de organismos vivos/viáveis presentes na água de lastro de navios.

Buscando determinar a eficiência dos tratamentos empregados neste trabalho foi realizada a análise microbiológica da água coletada da Baía da Babitonga (Amostra A0), da

água coletada no processo de filtração (Amostra A1) e das águas provenientes dos processos combinados de filtração + cloração (Amostra A2) e filtração + tratamento térmico (Amostra A3).

As análises microbiológicas foram realizadas em um laboratório particular para determinar Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes utilizando a Metodologia 9221 do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23ª Ed.), descrita no item 3.3.2 da Metodologia. A Tabela 3 apresenta os resultados das análises realizadas.

Tabela 3 - Resultados da análise microbiológica

Parâmetros	Resultados				Unidade
	A0	A1	A2	A3	
Coliformes Termotolerantes	270	< 20	< 20	< 20	NMP/100mL
Coliformes Totais	2800	< 20	< 20	< 20	NMP/100mL

Fonte: O autor (2021).

A partir dos resultados da análise microbiológica das amostras apresentados na Tabela 3 é possível observar a redução do número de Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais presentes nas amostras A1, A2 e A3 após os processos de filtração, filtração + cloração e filtração + tratamento térmico ao compará-las com a amostra de água em condições iniciais, A0.

Os métodos utilizados para o tratamento de água mostraram-se eficazes na eliminação desses grupos de coliformes, uma vez que os Coliformes Termotolerantes apresentaram uma redução de 92,6% e os Coliformes Totais reduziram em 99,3% quando comparados à amostra inicial de água coletada na Baía da Babitonga. Sendo assim, os números de coliformes se enquadram nos padrões exigidos pela Regra D-2 da IMO e pela norma da Guarda Costeira Americana, USCG (Quadro 1 e Quadro 2).

Entretanto, devido à limitação da análise microbiológica, não foi possível determinar o número exato de coliformes presentes nas amostras A1, A2 e A3, impedindo assim uma análise conclusiva em relação à eficiência dos processos empregados, quais foram, processo de filtração e processos combinados de filtração + cloração e filtração + tratamento térmico. Entende-se que novos estudos devem ser realizados buscando uma metodologia que permita uma análise mais conclusiva em relação a quantificação de microrganismos nas amostras resultantes dos processos de tratamento de água para lastro e de lastro.

5. CONCLUSÃO

A água de lastro é fundamental para a segurança das embarcações, principalmente quando não estão transportando carga. Porém, o gerenciamento incorreto da água de lastro pode acarretar problemas irreversíveis ao ambiente marinho, além de questões sanitárias, quando organismos invasores são levados para outros habitats. Somado a isso, graves prejuízos financeiros também foram causados pelo mau gerenciamento da água de lastro.

O Porto de São Francisco do Sul possui uma grande movimentação de navios, ocorrendo diariamente a troca da água de lastro destas embarcações. Assim, o volume dos tanques de lastro são modificados quando ocorre o descarregamento da carga de uma embarcação, sendo necessário realizar o lastreamento do navio para manter a sua estabilidade. Neste trabalho, processos físicos (filtração e tratamento térmico) e químicos (cloração) foram realizados em uma água proveniente da Baía da Babitonga buscando analisar o atendimento as normas da Convenção BWM, da USCG e da NORMAM-20 quanto aos padrões microbiológicos para uma água de lastro.

No processo físico de filtração, apesar da água em estado inicial não apresentar grande quantidade de material suspenso, certa quantidade de material ficou retida nas membranas em todas as amostras filtradas, sendo possível observar leve diferença na turbidez da água filtrada em relação à água da Baía. Ao analisar as amostras com o auxílio do espectrofotômetro, foi possível notar a diminuição na concentração de compostos presentes na água da Baía da Babitonga após o processo de filtração.

Após os processos de cloração e tratamento térmico realizados nas amostras provenientes do processo de filtração, as amostras não apresentaram mudanças visuais significativas.

A análise microbiológica apresentou uma redução significativa de Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais em todas as amostras analisadas. Porém, devido à limitação dessa análise, não foi possível determinar o número exato de coliformes em cada amostra, o que impossibilitou uma análise conclusiva ao comparar os métodos físicos e químicos utilizados neste trabalho.

Portanto, os resultados obtidos apresentaram-se satisfatórios, uma vez que os métodos utilizados reduziram os organismos contaminantes e o número de coliformes termotolerantes e coliformes totais se enquadram nos padrões exigidos pela Regra D-2 da IMO e pela norma da Guarda Costeira Americana, USCG.

6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Após a Convenção BWM entrar em vigor, todas as embarcações devem possuir a bordo um Sistema de Gerenciamento de Água de Lastro capaz de reduzir os organismos contaminantes da água de acordo com os padrões exigidos. Com isso, diversos métodos de tratamento foram estudados a fim de atender esses padrões. Portanto, sugere-se que seja feita uma análise mais conclusiva sobre quais métodos apresentam maior eficácia na redução de organismos invasores. Sugere-se também uma pesquisa para determinar quais métodos de tratamento apresentam mais vantagem na relação entre custo x benefício.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, T. C. **Estudo do sistema de tratamento de água de lastro: viabilidade técnica do sistema portuário**. 2012. 74 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- BRANDÃO, M. L. L. et al. **Comparação das técnicas do número mais provável (NMP) e de filtração em membrana na avaliação da qualidade microbiológica de água mineral natural**. Revista do Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 32-39, 2012.
- CAMPARA, Leo et al. **Overview and Comparison of the IMO and the US Maritime Administration Ballast Water Management Regulations**. Journal Of Marine Science And Engineering. Dubrovnik, Croácia, p. 1-19. 22 ago. 2019.
- CECATTO, C. **A Importância do transporte marítimo no Brasil**. Disponível em: http://www.ecivilnet.com/artigos/transporte_maritimo_importancia.htm. Acesso em: 17 abr. 2021.
- COLLYER, W. **Água de lastro, bioinvasão e resposta internacional**. Revista Jurídica, Brasília, v. 9, n. 84, p.145-160, abr./maio, 2007.
- FORTE, R. C. **A gestão de água de lastro nas frotas dos principais armadores do mundo**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2019.
- GOMES, F. S. **Fotocatálise heterogênea usando nanocompósito celulose/tio2 para redução de impurezas e bioinvasões da água de lastro**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.
- KASVI. **Espectrofotometria: Análise da concentração de soluções**. 2018. Disponível em: <https://kasvi.com.br/espectrofotometria-analise-concentracao-solucoes/>. Acesso em: 10 set. 2021.
- KIM, M. K. **A study of the implications of the ballast water management convention for flag states**. 2013. Master Thesis Maritime Affairs, World Maritime University, Republic Of Korea, 2013.
- LAMONICA, M. N. SANTOS, Julio Gustavo da Silva. **Água de lastro e bioinvasão: introdução de espécies exóticas associada ao processo de mundialização**. Revista Vértices, Campos dos Goytacazes, vol. 10, nº1, 2008. Disponível em: Acesso em: 27 out. 2017.
- MARINHA DO BRASIL. **Normas da Autoridade Marítima para o Gerenciamento da Água de Lastro de Navio**. 2. rev. 2019. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/dpc/sites/www.marinha.mil.br/dpc/files/NORMAM-20_REV2_MOD1.pdf. Acesso em: 23 abr. 2021.

MESBAHI, E. **Latest results from testing seven different Technologies under the EU MARTOB project- Where do we stand now?** In: Matheickal JT, Raaymakers S (eds), Second International Symposium on Ballast Water Treatment. International Marine Organization, London, UK, 2004.210-130p.

MMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sqa/projeto/lastro/problem.html>. Acesso em: 03 jul. 2021.

NOGUEIRA, R. N. **Gerenciamento de água de lastro e sedimentos de navios**. 2013. Monografia (Bacharel em Ciências Náuticas Náutica/Máquinas da Marinha Mercante) - Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Marinha do Brasil. 2013.

OBSERVATÓRIO JUSTIÇA E CONSERVAÇÃO. **Os perigos da água de lastro. Como os navios podem levar ou trazer contaminações dentro dos cascos?** Disponível em: <https://www.justicaeco.com.br/os-perigos-da-agua-de-lastro-como-os-navios-podem-levar-ou-trazer-contaminacoes-dentro-dos-cascos/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

ORGANIZAÇÃO MARÍTIMA INTERNACIONAL. **Convenção internacional para o controle e gerenciamento da água de lastro e sedimentos de navios**. CONVENÇÃO BWM, 2004. Disponível em: Acesso em: 23 abr. 2021.

PEREIRA, N. N. **Água de lastro: gestão e controle**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2018.

PEREIRA, T. **Microplásticos e a convenção para o controle e gestão da água de lastro em navios (convenção BWM)**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

PORTO, B. **Gestão da água de lastro e sedimentos de navios com base na Convenção BWM: um estudo de caso aplicado aos portos de Imbituba e Paranaguá**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

SANTOS, I. **Mexilhão Dourado ameaça rios da Amazônia**. 2017. Disponível em: <https://medium.com/izabel-santos/mexilh%C3%A3o-dourado-amea%C3%A7a-rios-da-amaz%C3%B4nia-860802178ce4>. Acesso em: 03 jul. 2021.

USCG (UNITED STATES COAST GUARD). **57: Standards for Living Organisms in Ships' Ballast Water Discharged in U.S. Waters**. Washington: Marine Safety Center, 2012. 68 p.

WÄRTSILÄ (Finlândia). **Wärtsilä and COSCO sign manufacturing license agreement for Ballast Water Management Systems**. 2015. Disponível em: <https://www.wartsila.com/media/news/01-06-2015-wartsila-and-cosco-sign-manufacturing-license-agreement-for-ballast-water-management-systems>. Acesso em: 14 set. 2021.