

Organizador:  
NEWTON NARCISO PEREIRA

# ÁGUA DE LASTRO

GESTÃO E CONTROLE



Blucher Open Access

**Finep**  
50 anos

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

# ÁGUA DE LASTRO: GESTÃO E CONTROLE

2018

**Blucher**

*Água de lastro: gestão e controle*

© 2018 Newton Narciso Pereira

Editora Edgard Blücher Ltda.

# Blucher

---

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar  
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel 55 11 3078-5366

**contato@blucher.com.br**

**www.blucher.com.br**

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.  
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,  
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por  
quaisquer meios, sem autorização escrita da Editora.

---

Todos os direitos reservados pela Editora  
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

---

Água de lastro : gestão e controle / organizado por  
Newton Narciso Pereira. --São Paulo : Blucher, 2018.

236 p. : il., color.

#### Bibliografia

ISBN 978-85-8039-305-7 (impresso)

ISBN 978-85-8039-306-4 (e-book)

1. Água de lastro – Aspectos ambientais 2. Descarga de  
água de lastro I. Título II. Pereira, Newton Narciso

18-0049

CDD 577.7

---

Índices para catálogo sistemático:  
1. Água de lastro – Aspectos ambientais

# ÁGUA DE LASTRO: GESTÃO E CONTROLE

*Organização:*

**NEWTON NARCISO PEREIRA**



# AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas e instituições que direta ou indiretamente proporcionaram elementos para a criação de deste livro. Este livro é fruto da interação do organizador com os autores, bem como, com diversos professores, pesquisadores e técnicos do meio acadêmico, empresarial e estudantes que sempre contribuem significativamente para o nosso crescimento intelectual na área em questão.

Agradeço aos autores deste livro que trouxeram suas contribuições para que este projeto pudesse se concretizar.

Aos amigos da Universidade de São Paulo pelas discussões e participações em projetos, cujo objetivo é melhorar o gerenciamento e controle de água de lastro. Em especial aos professores Hernani Luis Brinati e Rubens Lopes que apoiaram a realização desta obra.

Aos amigos da Universidade Federal do Maranhão que nos acolhe durante os cursos de especialização em Engenharia Portuária e Gestão Portuária. Aos professores, alunos e colaboradores dos cursos de pós-graduação da UFMA, bem como, das empresas locais que nos convidaram diversas vezes para falarmos sobre o assunto.

Aos alunos da Universidade Federal Fluminense pesquisadores do Centro de Estudos Para Sistemas Sustentáveis – CESS que estão estudando o assunto e dando continuidade nesta linha de pesquisa.

À Faculdade de Tecnologia de Jahu pelos convites para ministrar palestras sobre água de lastro e sustentabilidade marinha para os tecnólogos navais que contribuem para o transporte marítimo e fluvial do Brasil.

Aos professores e estudantes brasileiros e estrangeiros que tem interesse sobre a temática de água de lastro que nos contataram ao longo dos anos para troca de experiência.

Ao engenheiro naval Geert J. Prange pelas valiosas contribuições, sugestões e esforço em proposições de melhorias para o controle da água de lastro.

À Marinha do Brasil pelos convites para participar dos seminários de água de lastro realizados pelo IEAPM – Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, bem como, pelas oportunidades de discutirmos essa temática em algumas ocasiões.

Agradeço também a Norsul Companhia de Navegação Brasileira que forneceu apoio no desenvolvimento de uma pesquisa sobre monitoramento remoto da água de lastro no Brasil.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a FINEP pelo apoio financeiro concedido a realização do projeto “Desenvolvimento de sistemas de monitoramento da água de lastro com avaliação de forçantes hidrodinâmicas, operacionais e biológicas” de investigação na área de água de lastro, bem como, pelo suporte para elaboração desta obra.

Por fim, agradeço a Ana Carolina e Matheus Henrique pela paciência durante minhas ausências para elaboração desta obra.

**PROF. DR. NEWTON NARCISO PEREIRA**

# PREFÁCIO

Sendo o Panamá o país com o maior número de embarcações com bandeiras, é impossível que os panamenses não se preocupem com o papel que nossas embarcações têm na poluição marítima. A situação é de fato séria, já que nos últimos anos temos sido vistos como o país do Grande Canal, facilitador do Mercado mundial, e nos tornamos assunto nas conversas de todas as conferências de mudanças climáticas. A razão é simples: sendo o país com mais navios com bandeira, somos um dos maiores contribuidores da poluição marinha. Isso nos leva a perguntar se é viável ou não continuar nesta liderança mundial e a decisão de continuar, quais passos devemos tomar para evitar que sejamos os responsáveis por uma situação que poderia envolver compensação financeira, à qual não estamos preparados e nem temos recursos.

Como país, devemos nos preparar, então é necessário criar capacidade para ajudar tomadores de decisão na definição de novas políticas a serem colocadas em prática para reduzir o impacto negativa do nosso país neste problema global.

Uma das principais fontes de poluição dos mares constitui-se na água de lastro. O que é conhecido como um mal necessário, agora é visto como de grande preocupação, reconhecida por sua ameaça aos diferentes atores da indústria marítima. Nosso país não está longe disso e já deu os primeiros passos em direção do desenvolvimento de uma política mais ativa. No entanto, como país estamos restritos devido à falta de informação técnica e científica para ilustrar e complementar o conhecimento da água de lastro e seus efeitos.

Considero este livro uma ferramenta que estivemos esperando por vários anos. Este texto contém as informações básicas necessárias não apenas para entender o efeito da água de lastro na poluição marinha, mas também ajudar a entender melhor como podemos cooperar, como sociedade, para reduzir o impacto negativa da água de lastro. As ferramentas encontradas neste livro serão de grande ajuda para aqueles interessados em preservar mares mantendo a sustentabilidade do planeta Terra.

**PROF. DR. ADAN VEGA**

*Presidente do Instituto Panamericano  
de Engenharia Naval*





# PREFÁCIO

A troca da água de lastro de grandes embarcações em áreas interiores tem despertado a preocupação das autoridades brasileiras fiscalizadoras de toda a costa nacional. Na Amazônia, essa questão é grave, em função dos inúmeros navios estrangeiros que ingressam em águas brasileiras realizando a troca dessa água de lastro, colocando em risco a fauna e a flora marítimo-fluviais brasileiras, em virtude da possibilidade de invasão de organismos vivos externos indevidos, dentro do ecossistema regional.

Vários professores e pesquisadores das mais diversas áreas do conhecimento, no Brasil e no mundo, têm se preocupado em estudar este processo de deslastre realizado pelos navios que aportam em águas brasileiras. Com esse intuito, foi desenvolvida a dissertação intitulada “Gerenciamento e controle da água de lastro e a responsabilidade civil dos operadores do sistema” (Fábio José Ibrahim, autor), orientada dentro do Programa de Pós-Graduação em Direito Ambiental e Políticas Públicas (PPGDAPP) da Universidade Federal do Amapá (Nicolau Eládio Bassalo Crispino, orientador), defendida no ano de 2012. Essa dissertação foi publicada pela Editora Almedina, Coimbra, Portugal, no ano de 2013.

Nesse trabalho, demonstra-se a precariedade na atual fiscalização da troca da água de lastro, atestando a sua insuficiência em evitar danos ambientais em virtude de um deslastre indevido.

Dentro desse objetivo, desenvolveu-se uma análise da gestão na utilização e troca dessa água de lastro em território brasileiro, mais precisamente, naquelas embarcações que adentram a Amazônia brasileira, pelo Canal Norte, na margem esquerda da foz do Rio Amazonas, em frente da cidade de Macapá, Estado do Amapá, nos fundeadouros da Fazendinha e de Macapá, no lado setentrional da Ilha do Marajó, indicando, pormenorizadamente, a atribuição de cada um dos integrantes desse sistema de gerenciamento.

Mesmo sendo um trabalho realizado em cima de um problema, aparentemente local, houve a tentativa de contribuição para todo o sistema brasileiro de fiscalização da troca de Água de Lastro, apresentando propostas concretas de mudança nessa fiscalização. A principal delas corresponde à proposição de mudança na regra de fiscalização, exigindo-se que o primeiro teste físico-químico da água, realizado pelas autoridades locais com o intuito de detectar a salinidade da água utilizada para o lastro, seja feito ainda quando o tanque estiver com água oceânica, antes da segunda troca com a água doce do Rio Amazonas.

Com essa visão de analisar o problema da água de lastro, o livro que ora se apresenta, procura trazer verdadeira contribuição para se buscar uma melhor atuação de todos os atores na gestão desse controle, procurando novas ideias para o desenvolvimento desse sistema.

Este livro representa uma obra coletiva com diversas matérias em várias áreas do conhecimento. Contudo, todos os assuntos nele contidos, convergem para um interesse comum: buscar soluções na identificação e no combate da possível poluição de águas internas, em virtude de ingresso indevido de organismos vivos externos com a troca de água de lastro.

A troca da água de lastro é uma questão que pode colocar em risco o ambiente marítimo-fluvial de um país ou de uma região, causando reflexos inimagináveis para o meio ambiente que se vive. Por isso, esse assunto deve ser objeto de preocupação, não somente das autoridades que trabalham diretamente com a fiscalização e controle das águas internas de um país, mas de todas as autoridades que atuam na busca de um meio ambiente digno e sadio para as gerações atuais e futuras.

Julho de 2015.

**FÁBIO JOSÉ IBRAHIM  
NICOLAU ELÁDIO BASSALO CRISPINO**

# APRESENTAÇÃO

Esta obra é o resultado de anos de pesquisas sobre o tema de água de lastro. Recordo-me que desde a minha graduação em Tecnologia Naval na Faculdade de Tecnologia de Jahu – UNESP ouvíamos falar sobre o problema da água de lastro, mas de uma maneira muito superficial. Após a defesa de minha dissertação de mestrado em março de 2007, fui apresentar as conclusões da minha pesquisa em Barcelona na Universidade da Catalunha.

Durante um congresso de engenharia naval realizado na universidade da Catalunha, uma pesquisadora espanhola formada em engenharia química apresentou os resultados de sua pesquisa, em que estava estudando os mecanismos de reprodução de organismos em tanques de água de lastro de navios. Ao longo de sua apresentação ela mostrou uma coisa muito intrigante. Quando os microrganismos eram expostos a radiação ultravioleta em pequenas dosagens, mesmo com as mutações em seus DNAs, eles continuam sobrevivendo e rapidamente aumentavam sua população dentro dos tanques de água de lastro. Ela nos mostrou um vídeo com o comportamento dos organismos dentro dos tanques e na ocasião afirmou que dos diversos testes que tinha realizado em várias dosagens seria muito difícil eliminar as diversas espécies dentro dos tanques dos navios.

Ao término de sua palestra fui conversar com a pesquisadora que me forneceu mais informações sobre o problema. Foi então que tinha acabado de encontrar um tema para o desenvolvimento do meu doutorado. A partir desta data iniciei os estudos sobre gestão e controle de água de lastro em navios. O tema é realmente apaixonante, pois estamos diante de um problema difícil de ser resolvido no curto prazo que é controlar a transferência de espécies exóticas por meio da água de lastro de navios. Fundamos a Água de Lastro Brasil que entre o período de 2009 à 2012 teve um papel importante na difusão de material de pesquisa sobre água de lastro. Em 2009, criamos a primeira cartilha educativa sobre água de lastro e seus riscos ambientais, que distribuída gratuitamente pela internet.

Em 2012, defendi minha tese de doutorado sobre esta temática, completei meu pós-doutorado também sobre o tema de água de lastro. Ao término do meu doutorado publiquei um artigo intitulado “Onshore ballast water treatment: a viable option for major ports” na revista *Marine Pollution Bulletin*.

Neste mesmo ano, em conjunto com um grupo de pesquisadores da Universidade de São Paulo (Engenharia Naval e Oceânica, Engenharia Civil, Engenharia de Sistemas Eletrônicos e Instituto Oceanográfico) foi obtido um financiamento

por meio de um edital FINEP intitulado “Desenvolvimento de sistemas de monitoramento da água de lastro com avaliação de forçantes hidrodinâmicas, operacionais e biológicas”. Com o aporte de recursos foi possível expandir as pesquisas nesta temática, bem como, participar de várias atividades nacionais e internacionais focadas na compreensão do problema e busca de soluções.

Visitei vários portos brasileiros, bem como, instituições fora do Brasil para discutir e propor soluções técnicas sobre água de lastro. Tive a oportunidade de interagir com pessoas de várias áreas da engenharia, biologia, administradores portuários, ambientalistas que estudam e buscam implementar mecanismos para controle de água de lastro em portos e navios.

Neste contexto, em 2013 tive a oportunidade de participar da banca de mestrado de José Pinheiro Fragoso Neto Pereira orientado do Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha da Universidade Federal do Amapá. Juntos desenvolvemos um estudo sobre impacto da água de lastro nos portos amazônicos que resultou na publicação do artigo intitulado “Ballast water: A threat to the Amazon Basin”, na *Marine Pollution Bulletin* em 2014.

Estive a bordo de navios verificando procedimentos aplicados à gestão da água de lastro, coletamos amostras de água de lastro, analisamos os resultados das análises laboratoriais. Conversei com as tripulações de navios visitados e busquei compreender a dificuldade para realizar o controle a bordo dos navios, diante das adversidades do dia a dia da operação dos navios.

Em 2014, em conjunto com os pesquisadores do Departamento de Sistemas Eletrônicos instalamos um sistema de verificação da qualidade de água de lastro no navio M/V Norsul Crateus da Companhia de Navegação Norsul, em que remotamente conseguimos verificar a qualidade da água de lastro, por meio da avaliação dos parâmetros físico químicos da água, através de um conjunto de sensores instalados no tanque de lastro.

Ou seja, nós tivemos um longo trabalho para buscar entender um pouco da dinâmica dentro de um tanque de água de lastro de navios mercantes. O resultado deste projeto culminou na publicação do artigo “Challenges to implementing a ballast water remote monitoring system” na revista *Coastal & Ocean Management* em 2016.

Em maio de 2016, tive a oportunidade de estar em Baltimore nos Estados Unidos pela segunda vez visitando a estação de testes de sistemas de água de lastro em Maryland intitulada Maritime Environmental Resource Center (MERC) durante a participação do 16th Ballast Water Conference.

Nesta ocasião estive reunido com outros pesquisadores discutindo a temática da água de lastro. Todos concordaram a respeito da dificuldade de monitorar e identificar os riscos de transferência de espécies exóticas por meio da água de lastro.

Após, mais de 8 anos de estudo e contatos com diversos pesquisadores nacionais e de várias partes do mundo de grande renome, entendo que ainda teremos um longo caminho a percorrer para encontrar uma ou mais soluções para o problema da água de lastro despejada em portos que seja eficiente e atenda a todos os interesses.

Em 8 de setembro de 2016 foi atingido a participação necessária de países em termos de tonelagem bruta para permitir que a Convenção Internacional Para o Controle e Gerenciamento de Água de Lastro de Navios e Sedimentos “Ballast Water Management Convention” – BWMC entrasse em vigor.

A BWMC foi proposta em 2004 pela Organização Marítima Internacional – IMO e entrou em vigor em 7 de setembro de 2017. Ou seja, mais de 12 anos foram necessários para houvesse um consenso entre os estados membros, sobre as alternativas existentes para gerenciar o problema da transferência de espécies exóticas, por meio da água de lastro e sedimentos despejados por navios.

Deste modo, nesta obra nós queremos proporcionar um ambiente de consulta sobre a temática da água de lastro nos seus diversos capítulos. Aspectos técnicos são apresentados relativos a utilização da água de lastro pelos navios e seus requisitos operacionais. Considerações relativas aos seus impactos ao meio ambiente, bem como, as medidas de controle também são discutidas, em função do que foi aprendido até o momento. São apresentadas também alternativas convencionais ou não para o tratamento da água de lastro na primeira seção do livro que foram adaptadas e atualizadas da minha tese de doutorado.

Na segunda seção são apresentados casos particulares sobre os tópicos específicos sobre gestão e controle de água de lastro desenvolvidos por diversos pesquisadores nacionais. Por fim, apresentamos o fechamento do livro por meio de conclusões gerais extraídas dos conteúdos apresentados ao longo dos capítulos.

**PROF. DR. NEWTON NARCISO PEREIRA**

*Professor Adjunto da Universidade Federal Fluminense  
lotado na Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica  
de Volta Redonda (EEIMVR) junto ao Departamento  
de Engenharia de Produção  
Coordenador do Centro de Estudos para Sistemas  
Sustentáveis – CESS-UFF  
Coordenador do Curso de Engenharia de Produção  
da EEIMVR  
Professor do curso de mestrado profissional  
em Engenharia de Produção da EEIMVR*



# AUTORES

## **ALAN CAVALCANTI DA CUNHA**

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará, especialista em Educação Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de São Carlos (USP-CRHEA), especialista em Controle da Poluição das Águas em Países Sulamericanos (JICA – Japão), mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo e doutor em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (EESC-USP). Pós-Doutor em Engenharia pela (American World University). Pós-Doutorado em análise isotópica estável e suas aplicações na quantificação de fluxos hidrológicos entre ecossistemas terrestres e aquáticos tropicais (Departamento de Biologia da Universidade de Miami (UM/EUA). Atualmente é Professor Associado II do Curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá, professor permanente dos Programas de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical (PPGBio – UNIFAP/IEPA/EMBRAPA-AP/CI) e Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA). É também docente colaborador no PPG Rede Bionorte (BIONORTE-MCT). Atua nas áreas de Ciências Ambientais: Modelagem de Sistemas Ambientais, Hidráulica e Saneamento, Fenômenos de Transporte, Clima e Recursos Hídricos, Limnologia, Estatística Aplicada à Ecologia.

## **FABIO KENJI MOTEZUKI**

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo. Atualmente é colaborador no Tanque de Provas Numérico (TPN) da Universidade de São Paulo no desenvolvimento do simulador baseado no método Moving Particle Simulation (MPS). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Sistemas de Suporte ao Projeto e Modelagem Computacional, atuando principalmente nos seguintes temas: Dinâmica de fluidos computacional (CFD), Métodos de partículas, Modelagem de fluidos não-newtonianos, Modelagem de escoamentos turbulentos e de escoamentos com efeito da temperatura.

## **GABRIEL HENRIQUE DE SOUZA RIBEIRO**

Graduado em engenharia mecânica pela Escola Politécnica da USP em 2012. Realizou pesquisa de Iniciação Científica na área de tribologia, focado na área de ensaios mecânicos com bolsa da CNPq/PIBIC. Foi estagiário na empresa Diebold desenvolvimento trabalho na área de modelagem mecânica de impressoras matriciais e térmicas; e trabalhou na empresa Prysmian, na área de Pesquisa e Desenvolvimento, onde atuou no desenvolvimento e melhoria dos produtos. Atualmente é mestrando em engenharia naval pela mesma instituição, com pesquisa desenvolvida na área de mecânica dos fluidos computacional e professor voluntário no cursinho pré-vestibular popular Emancipa.



**HERNANI LUIZ BRINATI**

Graduado em Engenharia Naval pela Universidade de São Paulo (1966), mestrado em Engenharia Naval e Oceânica pela Universidade de São Paulo (1971), mestrado em Engenharia Mecânica – Massachusetts Institute Of Technology (1973) e doutorado em Engenharia Naval e Oceânica pela Universidade de São Paulo (1976). Atualmente é professor titular da Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia Naval e Oceânica, com ênfase em Máquinas Marítimas, atuando principalmente nos seguintes temas: controle, instalação propulsora, projeto, posicionamento dinâmico e projeto de navio. Tem-se dedicado nos últimos anos ao estudo de novas técnicas de aprendizado. É o coordenador da disciplina de Introdução à Engenharia na EPUSP, que trabalha com essas técnicas.

**JALILA ANDRÉA SAMPAIO BITTENCOURT**

Graduada no curso superior de tecnologia em petróleo e gás pela universidade Ceuma desde 2014.1, especialista em logística portuária pela universidade federal do maranhão desde 2016.2, graduanda no curso de nutrição bacharelado pela Universidade Federal do Maranhão desde 2014.2. desenvolveu projeto tecnológico de catálise para biodiesel, desenvolveu projeto tecnológico de fármaco para tratamento de câncer, participa de liga acadêmica sobre segurança e contaminação alimentar, participa do programa pet-saúde de nutrição nas unidades básicas de saúde do bairro do coroadinho e da liberdade.

**JOSÉ PINHEIRO FRAGOSO NETO PEREIRA**

Graduado em Química Tecnológica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1998), mestrado em Direito Ambiental e Políticas Públicas pela Universidade Federal do Amapá (2013). Atualmente é professor do Colegiado de Química da Universidade do Estado do Amapá (UEAP). No ano de 2015 iniciou seu Doutorado pela Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal (Rede BIONORTE). Tem experiência na área de Hidroecologia, com ênfase em Análise de Traços e Química Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: Portos Brasileiros, Portos da Amazônia Legal, Formulários de Água de Lastro, Tratamento de Água de Lastro, Bacia Amazônica e Bioinvasão.

**LIANG-YEE CHENG**

Graduado pela Escola Politécnica da USP em 1989. Obteve título de Mestre (1992) e Doutor (1995) em Engenharia pela Yokohama National University (YNU), Japão, na área de Planejamento e Construção (que agrega Arquitetura, Engenharia Civil, Naval e Oceânica) com bolsa de estudo do governo japonês. Foi trainee no Dept. of Fluid and Combustion, Tokyo Research Institute da Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co. (IHI) com bolsa da Association for Oversea Technical Scholarship (AOTS). Atualmente é Professor Assistente Doutor no Departamento da Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. Atuando principalmente na linha de modelagem e simulação computacional, foi coordenador do grupo de ensino, pesquisa e extensão em Tecnologia Computacional Aplicada à Construção Civil até 2014. Desde 2009 é pesquisador sênior e membro da comissão de coordenação do Laboratório de Tanque de

Provas Numérico da USP, no qual coordena o grupo de pesquisa MPS, que é dedicado no desenvolvimento de um sistema avançado de simulação baseado num método de partículas. É Visiting Associate Professor do Institute of Advanced Sciences (IAS) da YNU, Japão, no triênio 2015-2018, membro da diretoria da Associação Brasileira de Métodos Computacionais em Engenharia (ABMEC) eleita para gestão 2016-2018.

#### **LUCAS SOARES PEREIRA**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2016), durante a qual realizou intercâmbio com duração de um ano pelo programa Ciências Sem Fronteiras na Universidade Técnica de Dresden na Alemanha. Medalhista da 5ª Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas (OBMEP 2009), como prêmio da OBMEP realizou Iniciação Científica durante dois anos no Instituto de Matemática e Estatística na Universidade de São Paulo sobre Cadeias de Markov. Atualmente realiza mestrado pela Universidade de São Paulo com bolsa de estudos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), com pesquisa na área de dinâmica de fluídos computacional.

#### **NEWTON NARCISO PEREIRA**

Professor Adjunto da Universidade Federal Fluminense lotado no Departamento de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR). É coordenador do Centro de Estudos para Sistemas Sustentáveis – CESS-UFF – EEIMVR. É coordenador do curso de graduação de Engenharia de Produção da EEIMVR. Finalizou seu pós-doutorado junto ao Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Universidade de São Paulo em 2013. É inventor da patente intitulada “Sistema de monitoramento da troca da água de lastro e da qualidade da água de lastro e método para obtenção de dados relacionados à água de lastro” sob registro de BR 10 2013 000136-8 DE 03.01.2013.

É doutor em Engenharia Naval e Oceânica, Mestre em Engenharia Naval e Oceânica pelo Departamento de Engenharia Naval da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Engenheiro de Produção pela Universidade Guarulhos e Tecnólogo Fluvial/Naval pela Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – Faculdade de Tecnologia de Jahu. Tem-se dedicado a pesquisas na área de impacto ambiental portuário, transporte, logística, operação portuária e descomissionamento de embarcações e plataformas offshore. É um dos ganhadores do prêmio ANTAQ Sustentabilidade Portuária – 2017, na categoria artigo científico. Foi responsável pelo desenvolvimento do referencial técnico para Certificação da Alta Qualidade Ambiental Portuária AQUA-PORTOS em conjunto com a Fundação Vanzolini. Participou da elaboração dos dossiês para certificação do projeto conceitual do Terminal Itaoca Offshore localizado no Espírito Santo. Tem interesse em pesquisas na área de logística e sistemas de transporte, operação portuária, avaliação de impacto ambiental, portos verdes, sustentabilidade marítima e portuária, reciclagem de navios, descomissionamento de plataformas offshore e gestão da produção industrial.

**PEDRO HENRIQUE SAGGIORATTO OSELLO**

Graduando em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP/USP). Desenvolveu pesquisas de iniciação científica com bolsa do Programa Unificado de Bolsas da USP (PUB/PRP/USP) e da Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) sobre modelagem e simulação de sistemas de esgoto prediais e remoção de sedimentos em tanques de lastro e foi contemplado com prêmios de melhor apresentação, na Semana Temática de Engenharia Civil e Ambiental e no evento simpósio internacional CIB W062-2016. Atualmente é aluno de duplo diploma na École Spéciale des Travaux Publics, du bâtiment et de l'Industrie.

**SOLANGE LESSA NUNES**

Bacharel em Ciências Biológicas (Modalidade Médica) (1994); Mestrado em Microbiologia e Imunologia UNIFESP (2000). Doutorado em Ciências ICB-USP (2007) tema de pesquisa voltado para o diagnóstico microbiológico de áreas portuárias, pesquisa de bioindicadores de contaminação de origem fecal, total e de microrganismos patogênicos e bioinvasores da fauna marinha. Especialização junto ao Departamento de Avaliação de Impactos Ambientais da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) vinculada à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA) junto à Capacitação Gerencial de Apoio à Implantação de Novos Processos (2009); professora convidada da Faculdade Oswaldo Cruz (2010) para ministrar o módulo "Tópicos Analíticos em Biologia Molecular" dentro do curso de Pós Graduação em Biotecnologia de Alimentos, Biocombustíveis, Biofármacos e Meio Ambiente. Atualmente, visando complementar minha formação acadêmica e trilhar essa carreira, estou participando do programa de pós-doutoramento no Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQUSP) em projetos de linha de pesquisa em Epidemiologia Molecular do *Trypanosoma cruzi*, voltada para o tema da quimioterapia para a doença de Chagas.

# SUMÁRIO

## SEÇÃO 1 CONCEITUAÇÃO ELEMENTAR

CAPÍTULO 1	
<b>Uso da água de lastro pelos navios.....</b>	<b>23</b>
<i>Newton Narciso Pereira, Hernani Luiz Brinati</i>	
CAPÍTULO 2	
<b>Impactos da água de lastro no ambiente .....</b>	<b>33</b>
<i>Newton Narciso Pereira, Hernani Luiz Brinati</i>	
CAPÍTULO 3	
<b>Alternativas de tratamentos para água de lastro a bordo dos navios .....</b>	<b>43</b>
<i>Newton Narciso Pereira, Hernani Luiz Brinati</i>	
CAPÍTULO 4	
<b>Tratamento da água de lastro no porto .....</b>	<b>89</b>
<i>Newton Narciso Pereira, Hernani Luiz Brinati</i>	
CAPÍTULO 5	
<b>Aspectos institucionais e regulatórios da água de lastro .....</b>	<b>105</b>
<i>Newton Narciso Pereira, Hernani Brinati</i>	

## SEÇÃO 2 CASOS PARTICULARES

CAPÍTULO 6	
<b>Transporte de microrganismos de risco para saúde pública via tanque de lastro e suas implicações .....</b>	<b>125</b>
<i>Solange Lessa Nunes</i>	
CAPÍTULO 7	
<b>Estudo experimental e numérico sobre remoção de sedimentos num tanque de lastro .....</b>	<b>149</b>
<i>Liang-Yee Cheng, Pedro Henrique Saggioratto Osello, Lucas Soares Pereira, Gabriel Henrique de Souza Ribeiro, Fabio Kenji Motezuki</i>	

CAPÍTULO 8

**Monitoramento da qualidade da água de lastro como suporte à gestão no Porto de Santana-AP – Amazônia Estuarina/Brasil ..... 171**

*José Pinheiro Fragoso Neto Pereira, Newton Narciso Pereira, Alan Cavalcanti da Cunha*

CAPÍTULO 9

**Desafios para monitorar a qualidade da água de lastro no Complexo Portuário do Itaqui – Estudo de caso ..... 199**

*Jalila Andréa Sampaio Bittencourt*

CAPÍTULO 10

**Desafios para o monitoramento da qualidade da água de lastro..... 213**

*Newton Narciso Pereira*

CAPÍTULO 11

**Conclusões ..... 233**

# **SEÇÃO 1**

## CONCEITUAÇÃO ELEMENTAR



# USO DA ÁGUA DE LASTRO PELOS NAVIOS

**NEWTON NARCISO PEREIRA, HERNANI LUIZ BRINATI**

## **1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES**

Antes de comentarmos sobre as consequências propriamente ditas do uso da água de lastro em navios mercantes iremos apresentar a origem da necessidade da utilização do lastro em navio. A operação eficiente e segura dos navios sempre exigiu o uso de algum tipo de lastro. Por milênios, embarcações carregaram o lastro continuamente sob a forma de rochas, areia, telhas e muitos outros materiais pesados (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996). No início do século 20, as embarcações passaram a utilizar a água de oceanos, rios e lagos como lastro. A água oferece maior flexibilidade que os outros tipos de materiais utilizados neste processo, pois está sempre disponível onde o navio está operando, inclusive durante as viagens. Além disso, evita-se o carregamento demorado de materiais e as instabilidades perigosas para a embarcação, causadas pelo movimento do lastro sólido.

Atualmente, praticamente todas as embarcações marítimas utilizam a água de lastro em suas operações, sendo que esta pode ser armazenada em uma grande variedade de tanques. A complexidade relativa das operações de lastro depende do tamanho, da configuração, das exigências do navio, bem como de seu sistema



de bombeamento e tubulações. A capacidade de lastro pode variar de dezenas de metros cúbicos para barcos de pesca e lazer, à centenas de milhares de metros cúbicos em grandes navios de carga. Os grandes petroleiros podem carregar até 200.000 m<sup>3</sup> de água de lastro, incluindo tanques e porões de carga e as taxas de bombeamento do lastro podem atingir de 15.000 m<sup>3</sup>/h a 20.000 m<sup>3</sup>/h (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996). Navios graneleiros podem carregar até 120.000 m<sup>3</sup> de água de lastro em seus tanques, mantendo a relação de aproximadamente 30% da capacidade de lastro em função do DWT<sup>1</sup> (COHEN, 1998). Além disso, mais recentemente, a nova geração de navios de contêineres produzidas pela Maersk, os chamados Triple E, com capacidade de transportar 18.000 TEUS<sup>2</sup> são capazes de armazenar aproximadamente 60.000 m<sup>3</sup> de água de lastro a bordo de seus tanques. Existe uma tendência de nos próximos anos maiores navios de contêineres serem construídos com capacidade de até 21.000 TEUS, transportando maior quantidade de água de lastro.

## 1.2 CRITÉRIOS GERAIS DE PROJETO DE NAVIOS

É importante ressaltar que, como critério básico de projeto, a distribuição dos tanques de lastro deve garantir que em todas as condições de operação sejam consideradas:

- a) adequada estabilidade transversal e longitudinal da embarcação;
- b) integridade estrutural, evitando que a distribuição de cargas comprometa sua resistência estrutural;
- c) a imersão adequada do hélice, de modo que o sistema propulsor opere com eficiência e segurança.

Por outro lado, o planejamento das operações de lastro ou deslastro do navio, concomitantemente com as operações de descarregamento ou carregamento, deve também contemplar os itens (a) e (b).

O comandante do navio prepara o plano de carga, em que se estabelece as quantidades de cargas em cada porão e a sequência de deslastro em função do carregamento do navio.

Outra condição que deve ser observada refere-se ao volume de água de lastro nos tanques. Os volumes contidos nestes tanques variam de acordo com a dura-

---

<sup>1</sup> Dead Weight Tonnage – DWT – Também conhecido como o peso morto do navio, ou seja, que representa a capacidade de carga que um navio é capaz de transportar considerando além da carga o peso dos viveres e consumíveis a bordo do navio.

<sup>2</sup> Twenty Feet Equivalent Unit – TEU – é uma medida que refere-se a capacidade de carga de um contêiner.

ção da viagem. Os tanques de lastro, bem como alguns tanques de combustível e tanques contendo a água fresca para o uso doméstico, que podem estar parcialmente cheios durante a viagem, são usados para controlar o trim<sup>3</sup> dependendo das exigências de estabilidade do navio. Em geral, busca-se navegar sempre que possível com os tanques completamente cheios ou inteiramente vazios. Quando um tanque não estiver completamente cheio, pode ocorrer o efeito de superfície livre do líquido, que desloca o centro de gravidade do líquido no tanque, podendo assim reduzir a estabilidade transversal do navio.

Enquanto o combustível é consumido durante uma viagem, o calado e o trim do navio mudam. Durante uma viagem longa, milhares de toneladas de combustível são consumidas. Assim, para manter o casco imerso corretamente, é frequentemente necessário colocar lastro adicional à medida que a viagem progride. A capacidade e a posição do lastro durante uma determinada viagem são estabelecidas, considerando a estimativa do combustível que será consumido, condições meteorológicas esperadas, o calado e o trim exigidos para o porto de chegada. Em algumas condições o lastro é despejado durante a entrada no canal do porto, devido às restrições físicas impostas pelo canal de acesso (COHEN, 1998).

Não é incomum navios saírem ou entrarem em um determinado canal de acesso portuário sem o seu calado de projeto e completarem o lastro longe da costa, devido às restrições de entrada e saída. Isso deve-se às características dos navios, bem como, às limitações de canal de acesso portuário, além dos equipamentos utilizados na operação de carga e/ou descarga do navio.

### **1.3 PROBLEMAS COM OPERAÇÃO DE LASTRO**

#### **1.3.1 Perda de estabilidade transversal e longitudinal**

A água de lastro é captada a bordo das embarcações para garantir condições seguras de funcionamento exigidas durante uma determinada viagem. Assim, o lastro e o deslastro do navio buscam garantir que durante todo o tempo de viagem o navio atenda às exigências técnicas para sua operação de maneira segura. O processo de lastreamento é de responsabilidade da tripulação, ou seja, dos oficiais do navio, que conhecem os requisitos necessários para a manutenção apropriada do trim e da estabilidade da embarcação no mar. O comandante do navio é responsável por garantir que todas as operações sejam executadas de maneira segura (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996).

---

<sup>3</sup> TRIM: é a inclinação longitudinal do casco do navio. Quando o navio não está alinhando tanto a popa quanto a proa dizemos que ele está com um trim para um dos lados.

Existem vários relatos de acidentes envolvendo navios durante as operações de lastro. Esta não é uma tarefa fácil e requer um controle apurado do processo, caso contrário pode ocorrer acidentes, semelhantes ao acontecido com o navio MV Cougar Ace no porto de Portland nos Estados Unidos, em 2006. No momento da troca da água de lastro ocorreu uma falha no controle do volume dos tanques, ocasionando o emborcamento do navio, conforme mostrado na Figura 1. Observa-se neste caso que o problema ocorrido estava associado à estabilidade do navio, que foi prejudicada devido à falha ocorrida.



**Figura 1** Navio MV Cougar Ace

*Crédito da imagem:* Kevin Bell – <http://www.chesapeakequarterly.net/V08N2/main1/>

### 1.3.2 Comprometimento da integridade estrutural

O controle da água de lastro dentro dos tanques dos navios visa garantir a integridade estrutural das embarcações, evitando que a distribuição de cargas comprometa sua resistência estrutural. Qualquer falha neste processo pode resultar na ruptura do casco do navio.

A experiência dos autores resultante de visitas a diversos terminais portuários mostram que em algumas ocasiões é necessário interromper o carregamento do navio e, esperar até que a água de lastro seja descarregada para retomar a operação, pois o sistema de deslastro não é capaz de acompanhar a velocidade do sistema de carregamento.

### 1.3.3 Imersão inadequada do hélice

Quando o navio opera em carga parcial ou em condição de lastro o hélice pode não ficar completamente submerso. Em consequência, quando o hélice está propelindo o navio, ocorra diferença de pressão muito grande entre uma pá que

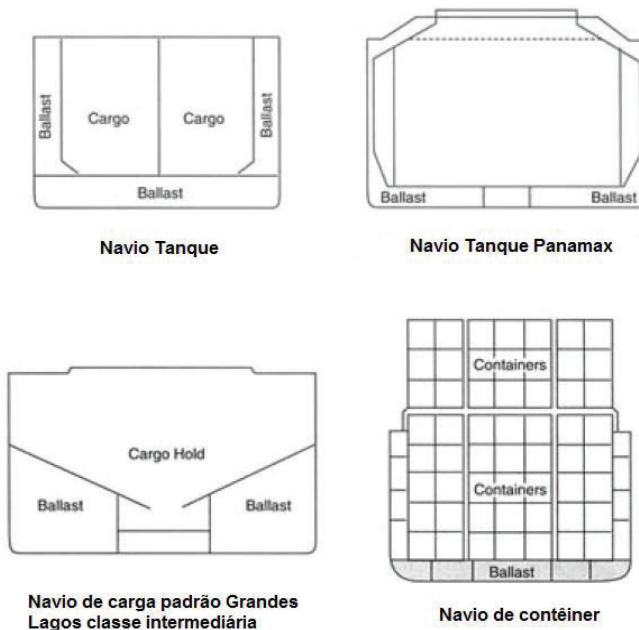
está dentro d'água e outra pá que está fora, gerando cavitação, vibração de eixo, ruído, podendo até romper o eixo do propulsor.

Assim, para uma operação eficiente do hélice, exige-se que ele esteja sempre imerso, mesmo em águas rasas. Nos casos em que o peso da praça de máquinas, junto com a carga, não seja suficiente para manter o hélice imerso torna-se necessário o emprego de lastro.

Além disso, se o calado de popa não for suficiente em condições mais severas de mar, o hélice do navio irá acelerar, isto é, aumentam suas rotações por minuto quando emergir da água e retardam quando reentrar na água. Isto pode causar problemas no controle do motor e aumentar o carregamento no seu eixo. Aumentar o calado de popa reduz a tendência do hélice emergir e, reduz-se assim aceleração. Consequentemente, a operação segura do navio sob mau tempo exige a adição de lastro (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996).

#### 1.4 PROJETO DO SISTEMA DE LASTRO

Há diferentes arranjos para os tanques de lastro. Cada configuração é mais adequada a um determinado tipo de navio em função das suas características operacionais. A Figura 2 mostra os tipos de configuração de tanques mais encontrados em navios de carga.



**Figura 2** Configurações típicas de tanques de lastro para navios mercantes

Fonte: Adaptado de NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996)

As tubulações são feitas sob medida, de modo que as velocidades de escoamento estejam na faixa de 2,6 m/s à 3 m/s; as bombas de lastro têm capacidade de até 5.000 m<sup>3</sup>/h (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996). Não há nenhuma unidade de medida internacional padrão para o lastro; as quantidades são variáveis anotadas em toneladas métricas e ou metros cúbicos. As taxas de bombeamento para diferentes tipos de navio estão apresentadas na.

Obviamente, a capacidade, localização, tipo de bomba e todo detalhamento do sistema de lastro são definidos no projeto de navio. Considerações sobre calado e trim requeridos, limitações de carregamento do casco, e posição vertical exigida do centro de gravidade estabelecem o volume e a posição dos tanques de lastro.

Geralmente, os armadores procuram otimizar a utilização do navio, buscando sempre que possível dispor de carga, tanto na viagem de ida quanto na volta do navio. Entretanto, em muitas viagens o navio a realiza num trecho sem carga, isto é, operando na condição de peso leve. Nesta condição utiliza-se água de lastro como elemento estabilizador do navio.

**Tabela 1** Necessidade de lastro e taxas de bombeio

<b>Lastro necessário</b>	<b>Tipos de embarcação</b>	<b>Taxa de bombeamento(m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>Lastro para reposição de carga</b> Lastro necessário em grandes quantidades, essencialmente para retorno de viagens	Navios de granel seco	5000-10000
	Navios de minério	10000
	Tanquers	5000-20000
	Navios de gás liquefeito Petroleiros	5000-10000 10000-15000
<b>Lastro para controle de embarcação</b> Lastro necessário na maioria das condições de carregamento para controle de estabilidade, trim e heel.	Navio de containeres	1000-2000
	Balsa	200-500
	Navio de passageiros	1000-2000
	Navios Roll-on,roll-off	200-500
	Navios de carga geral	1000-2000
	Pesqueiros	50
	Pesqueiros industriais Navios militares	500 50-100
<b>Lastro para carregamento e descarregamento de operação</b> Lastro adquirido na localidade em grandes volumes e descarregamento no mesmo local	Navios float-on, float-off	10000-15000
	Navio semi submersível	5000
	Navios militares anfíbios de assalto	5000
	Barca de carregador	1000-2000

Fonte: Adaptado de NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996)

A experiência dos autores mostra que quando o navio está parcialmente carregado, utiliza-se a quantidade mínima de água de lastro necessária para garantir sua segurança até chegar ao próximo porto. O uso de maior quantidade de lastro

implica em aumento de calado com conseqüente aumento de potência e de gastos com combustível, o que geralmente é evitado.

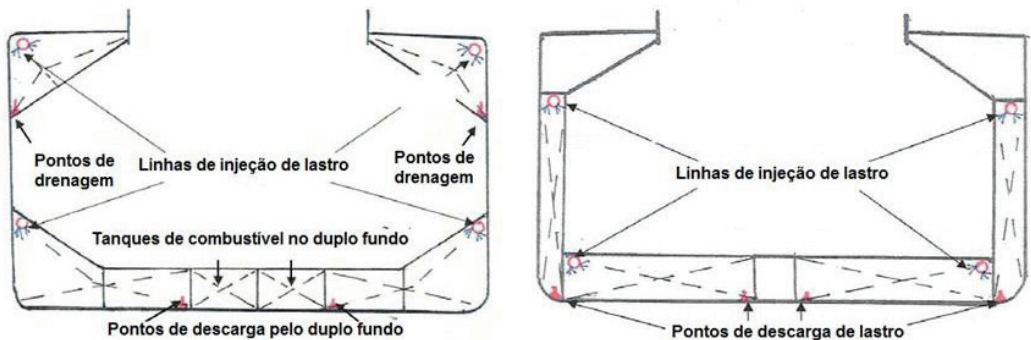
Algumas embarcações controlam o movimento de emborcamento através de tubulações que permitem mover a água de lastro entre os tanques para manter a embarcação dentro de uma tolerância do jogo do vertical (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996).

O sistema de lastro é formado por numerosas tubulações, bombas e válvulas ligadas aos tanques de lastro dos navios. Os sistemas podem ser individualizados ou integrados e o controle é realizado na praça de máquinas. As válvulas geralmente são operadas remotamente através de sistemas hidráulicos.

Atualmente, não é incomum encontrar modernos navios graneleiros projetados com sistema de lastro totalmente conectado, tanto para os tanques de asas quanto com os tanques do duplo fundo e costado. Resulta, então, um sistema de drenagem dos tanques, totalmente integrado, eliminando a necessidade da existência de um sistema de tubulação separado para os tanques superiores. Em arranjos convencionais, os tanques do duplo fundo são completamente separados e podem ser acessados apenas através de aberturas dos tanques de carga. Assim, a entrada para inspeção, manutenção ou limpeza é apenas possível quando a área de acesso está próxima ao tanque de carga (JOHENGEN *et al.*, 2005).

A água de lastro é captada a bordo através das caixas de mar conectadas às bombas ou perto de um sistema de alimentação por gravidade. As caixas de mar podem ser posicionadas no fundo do navio ou no costado geralmente em ambos os lados da embarcação.

O carregamento da água lastro e as operações de descarregamento são geralmente controladas de uma estação central de monitoração/controle, em que a água pode ser lançada para fora de um tanque ou bombeada de dentro para fora, ou através da combinação dos métodos, mostrado na Figura 3.



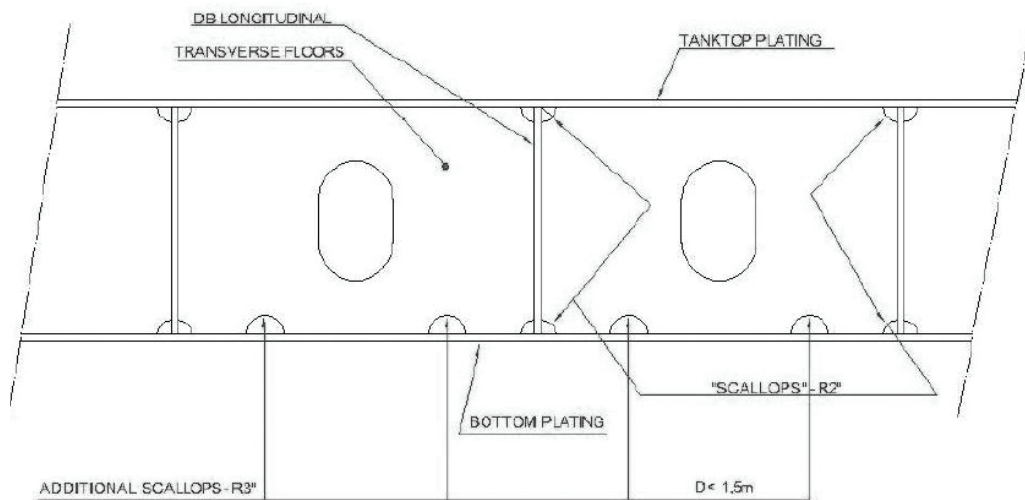
**Figura 3** Localização dos pontos de captação e despejo da água de lastro e pontos de captação e despejo da água de lastro

Fonte: Adaptado de Johengen *et al.* (2005)

As bombas conseguem remover boa parte da água dos tanques. Em alguns casos o trim de proa do navio pode ser usado para ajudar na remoção do lastro. Embora se utilize destes meios, alguma quantidade de água e de sedimento sempre se acumula no interior dos tanques (BOLCH e HALLEGRAEFF, 1993).

A entrada da caixa de mar é coberta com uma grelha ou uma placa formando um filtro com pequenos furos colocado junto ao casco e no interior da caixa de mar, onde são geralmente colocados os filtros de sucção. A finalidade preliminar das grelhas e dos filtros é proteger o sistema de bombeamento dos objetos estranhos que estão sendo sugados pelas bombas de lastro. O uso adicional de telas portáteis, para impedir a entrada de organismos não desejados, tem baixa viabilidade em embarcações existentes, mas poderia ser opção atrativa se incorporado em projetos de navio novos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996).

Uma questão importante refere-se à manutenção e fiscalização dos equipamentos de lastro do navio. O controle efetivo dos equipamentos que compõem o sistema de lastro é uma tarefa muito importante para garantir o correto funcionamento. Tubulações, válvulas e sistema de drenagem "scallops" geralmente apresentam problemas de entupimentos por areia e sedimentos que ficam retidos no fundo dos tanques. Inspeções regulares nos tanques podem indicar problemas relativos ao revestimento, estrutura e componentes do sistema de lastro que podem reduzir sua eficiência, conforme mostrado na Figura 4.



**Figura 4** Sistema de drenagem no fundo do tanque utilizando-se dos "scallops"

Fonte: Prange e Pereira (2013)

O sedimento se acumula frequentemente na parte inferior e em muitas superfícies horizontais dos tanques de lastro. O sedimento pode ser lama e argila cap-

tada em um porto. De 343 embarcações de carga que chegaram em 18 portos australianos, pelo menos 65% continham um volume significativo de sedimento na parte inferior do tanque (HALLEGRAEFF e BOLCH, 1992). O sedimento é removido tipicamente a cada três ou cinco anos quando a embarcação é submetida à docagem para inspeção.

Johengen *et al.* (2005) examinaram 103 navios estrangeiros que atracaram nos portos do EUA e Canadá entre 2000 e 2002 e identificaram que aproximadamente 68% deles tinham resíduos de lastro nos tanques. Aproximadamente 60% destes navios tinham 10 t de resíduos e alguns chegavam a totalizar 200 t. Durante a visita dos autores junto à alguns navios que atracaram no porto de Santos foi possível identificar uma grande quantidade de sedimentos depositados nos fundos dos tanques de água de lastro. Praticamente, a quantidade de areia depositada alcançava altura próxima ao joelho.

Pode-se observar que, quanto maior é a capacidade de lastro do navio, maior é a quantidade residual de lastro que fica retida dentro dos tanques. Sendo assim, deve ser dada uma atenção especial para esta questão que está intimamente ligada com o processo de transferência de espécies exóticas.

Assim, para os novos navios, deve-se projetar os sistemas de captação de água do fundo dos tanques de maneira eficiente, buscando reduzir o volume residual. Johengen *et al.* (2005) sugere que sejam instaladas duas bombas centrífugas nos tanques, uma para retirada da maior parte da água de lastro e outra de menor capacidade rente ao fundo para retirar o lastro residual. Prange e Pereira (2013) propuseram pequenas alterações nos tanques de lastro dos navios que podem facilitar a retirada do sedimento dos tanques durante o deslastro. Basicamente, deve-se aumentar em 50% o diâmetro das aberturas “scallops” e desenvolver um sistema de reinjeção de água no fundo dos tanques para suspender o sedimento. Iremos apresentar este estudo nas seções seguintes deste livro.

Neste contexto, deve-se considerar o desenvolvimento de algum sistema que possibilite suspender o sedimento utilizando, por exemplo, jatos d'água, para que a quantidade depositada no fundo dos tanques seja retirada junto com a água de lastro no momento do deslastro. Outra opção seria dotar o navio com um sistema coletor de sedimentos, por exemplo, um sistema de filtragem que destine os sedimentos para um tanque específico e depois separá-lo a bordo do próprio navio para ser descartado no porto.

O sedimento no fundo do tanque é um problema sério para gestão da água de lastro, pois além dos problemas de aumento de peso do navio, ele abriga muitas espécies de micro-organismos que podem ser potencialmente invasores em um novo ambiente (DRAKE *et al.*, 2005).



## 1.5 REFERÊNCIAS

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) MARINE BOARD. Stemming the Tide: Controlling Introductions of Nonindigenous Species by Ships' Ballast Water. Committee on Ships' Ballast Operations, Marine Board, Commission on Engineering and Technical Systems, NRC. National Academy Press, Washington, D.C. 1996.

COHEN, A.N. Ships' Ballast Water and the Introduction of Exotic Organisms into the San Francisco Estuary: Current Problem Status and Management Options. Report for California Bay Delta Authority, Sacramento, CA. San Francisco Estuary Institute, Richmond, CA. 1998.

COHEN, A.N. Ships' Ballast Water and the Introduction of Exotic Organisms into the San Francisco Estuary: Current Problem Status and Management Options. Report for California Bay Delta Authority, Sacramento, CA. San Francisco Estuary Institute, Richmond, CA. 1998.

JOHNGEN, T. *et al.* A Final Report for the Project: Assessment of Transoceanic NO-BOB Vessels and Low-Salinity Ballast Water as Vectors for Non-indigenous Species Introductions to the Great Lakes. National Oceanic and Atmospheric Administration, Great Lakes Environmental Research Laboratory, and University of Michigan, Cooperative Institute for Limnology and Ecosystems Research, Ann Arbor. 2005. 287 p.

BOLCH, C.J.; HALLEGRAEFF, G.M. Chemical and physical treatment options to kill toxic dinoflagellate cysts in ships' ballast water. *Journal of Marine Environmental Engineering* 1: 1993. 23–29 p.

HALLEGRAEFF, G.M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologica* 32. 1993. 79–99 p.

PEREIRA N.N, PRANGE, G.J., Ship Ballast Tank Sediment Reduction Methods. *Naval Engineers Journal*. 2013.

DRAKE, J.M. *et al.* Theory and preliminary analysis of species invasions from ballast water: controlling discharge volume and location. *American Midland Naturalist* 154. 2005. 459-470 p.

# IMPACTOS DA ÁGUA DE LASTRO NO AMBIENTE

**NEWTON NARCISO PEREIRA, HERNANI LUIZ BRINATI**

## **2.1 ESPÉCIES INVASORAS**

Espécies introduzidas em locais diferentes de sua origem são conhecidas como espécies invasoras, alienígenas, exóticas, estrangeiras, não nativas e não indígenas (MEDEIROS, 2004). Deste modo, uma espécie invasora pode ser definida como aquela que foi transferida de um local para outro e conseguiu se estabelecer no novo habitat. Existem diversos mecanismos para a transferência de espécies, tais como veículos, animais, ação da natureza, entre outros. Assim, muitas espécies são diariamente importadas e exportadas de um local para outro, sendo que em alguns casos ocorre o estabelecimento destas espécies (CARLTON *et al.*, 1995).

Para uma espécie se estabelecer em um novo local ela deve encontrar condições similares ao seu local de origem. Muitas vezes a transferência de uma espécie não nativa pode gerar uma série de problemas para o ecossistema local. Assim, pode-se transferir um predador voraz que poderá dizimar uma espécie nativa e se estabelecer, sem que haja para o invasor um predador natural.

A liberação das espécies não nativas em um ambiente novo constitui uma inoculação, mas sua introdução pode não ser necessariamente bem sucedida (CARLTON *et al.*, 1995). Não se sabe por quanto tempo a maioria dos indivíduos

inoculados sobrevive. Indivíduos mais velhos, isolados das espécies não nativas, são encontrados ocasionalmente, o que indica que certo número cresce até a fase adulta (COHEN e CARLTON, 1995).

Embora o processo de introdução seja de difícil equacionamento, devido ao número de variáveis envolvidas, tanto físico-químicas quanto ambientais, são inúmeros os registros de invasões de espécies exóticas no mundo.

Onde e quando uma nova espécie vai se estabelecer é o principal problema gerado pelas milhares de espécies exóticas transportadas diariamente nos tanques de lastro dos navios. Organismos que sobrevivem às condições adversas de uma viagem, no interior de um tanque de lastro ou fixada no seu casco, bem como em outros elementos do navio como tubulações, correntes, ancoras e hélices, são considerados espécies resistentes (MEDEIROS, 2004).

Obviamente não se pode atribuir que toda bioinvasão proveniente dos navios seja oriunda somente da água de lastro, mas ela carrega a maior parte das espécies. Estimou-se que nos anos 90, mais de 3.000 espécies de animais e plantas foram transportadas diariamente ao redor do mundo dentro dos tanques de lastro dos navios (GLOBALLAST, 2003). Há consenso de que o número de espécies introduzidas mediante a água de lastro está crescendo continuamente (GOLLASCH, 2007).

A European Maritime Safety Agency explica que o número de espécies transportadas diariamente pode chegar a cerca de 10 mil indivíduos das mais variadas espécies. Somente, nos EUA mais de 40 espécies apareceram nos Grandes Lagos desde 1960 e mais de 50 na Baía de São Francisco desde 1970 (RUIZ *et al.*, 2000). Nos Estados Unidos, identificou-se o mexilhão Zebra, oriundo de água de lastro, pela primeira vez na década de 80, quando se proliferou pelas águas dos rios rapidamente, causando sérios danos ao ecossistema (CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2002).

As três introduções mais notáveis de que se tem registro são o mexilhão-zebra nos EUA, os dinoflagelados (algas unicelulares) na Austrália, e a água-viva carnívora nos EUA, que resultaram em prejuízos da ordem de US\$ 10 bilhões e tiveram profundas e amplas repercussões ecológicas nos últimos anos (BOLCH e HALLEGRAEFF, 1993). Mais recentemente, Pimentel *et al.* (2004) e Oliveira (2008) apresentaram os resultados de um levantamento dos custos gerados pela bioinvasão no mundo, estimando-se que o valor gasto anualmente seja da ordem de 100 bilhões de dólares, incluindo todas as formas de bioinvasão.

Por outro lado, no Brasil, embora não existam informações relativas ao custo da bioinvasão, dispõe-se os registros de algumas novas espécies estabelecidas no litoral brasileiro provenientes da água de lastro. O caso mais notável é o mexilhão dourado "*Limnoperna fortunei*". Esta é uma espécie nativa de rios e arroios chineses e do sudeste asiático e, apenas recentemente, por razões desconhecidas, vem

expandindo sua distribuição em todo o mundo (MANSUR *et al.* 2003; CARMO, 2006). Provavelmente, essa proliferação de espécies nativas da China, deve-se ao desenvolvimento econômico, que elevou a frequência de visita de navios em seus portos coletando cada vez mais água de lastro. Um exemplo disso é o aumento das exportações de minério de ferro para a China nos últimos anos.

Pestana *et al.* (2002) *apud* Darrigran (2002) explicam que do estuário da Bacia do rio Prata foi o local que o mexilhão dourado invadiu pela primeira vez na América do Sul, onde ele se expandiu rapidamente para os trechos superiores da Bacia do rio Paraná, invadindo principalmente os grandes rios, numa velocidade de cerca de 240 km/ano. Pestana *et al.* (2002) *apud* Oliveira *et al.* (2004) esclarecem que, em 2001, sua presença foi reportada na Usina de Itaipu e, em 2002, foi encontrado nas usinas hidrelétricas (Porto Primavera e Sérgio Motta) à jusante do Rio Paraná, em São Paulo. A entrada da espécie neste sistema de rios deve ter ocorrido através da intensa navegação e transposição de barcos utilizados na pesca esportiva.

O impacto do mexilhão dourado no Brasil tem sido grande e tem causado problemas de saúde pública, de entupimento de tubulações, de filtros de usinas hidrelétricas e de bombas de aspirações de água, a degradação das espécies nativas e problemas relacionados com a pesca (RESENDE, 2007).

Resende (2007) analisou o efeito da fixação do mexilhão dourado nas paredes e nas grades de tomadas d'água em usinas hidrelétricas. Verificou-se que estes elementos aderidos provocam uma perda de carga do sistema diminuindo o rendimento da usina e aumentando o impacto do fluxo de água sobre a grade, podendo no limite ocasionar um rompimento do sistema. As consequências deste problema e os custos que ele tem gerado para o sistema brasileiro são:

- Redução na eficiência das bombas e conseqüentemente aumento no consumo de energia para conseguir um funcionamento normal dos sistemas.
- Aumento da corrosão de encanamentos pela proliferação de outros agentes biológicos indesejáveis (bactérias, fungos etc.).
- Paralisação do sistema para limpeza ou substituição de tubulações, válvulas, filtros etc.

Em função destes efeitos prejudiciais, muitas hidrelétricas brasileiras estão tendo que fazer investimentos em sistemas de proteção e ajustes nos projetos. Para compensar a perda de carga, causada pela presença do mexilhão dourado nas tubulações, é necessário aumentar a carga nas bombas para atingir a mesma vazão de projeto e, conseqüentemente, em muitos casos ocorre aumento no consumo de energia. Contudo, o autor explica que ainda são necessários estudos para quantificar os custos reais deste processo.

Mansur *et al.* (2003) examinaram junto ao Clube Náutico de Porto Alegre, os efeitos do mexilhão Zebra nas embarcações de turismo. Em apenas três meses após o lançamento de uma embarcação na água pode ocorrer avaria ou baixo rendimento do motor, devido ao entupimento de encanamentos de refrigeração, além do aumento de resistência do casco pelo efeito de incrustação. Observe-se ainda que o mexilhão dourado ataca outros seres vivos como conchas e também juncos.

Uma das principais características do mexilhão dourado é sua resistência às condições ambientais e sua alta fecundidade, sendo capaz de colonizar uma grande variedade de habitats. Suas colônias atingem densidades de mais de 150.000 indivíduos por metro quadrado (BELZ, 2006). Outra característica deste molusco é sua capacidade de sobrevivência em água doce. Geralmente, associam-se esses indivíduos a ambientes marinhos, mas ele expandiu-se por vários rios do sul do Brasil (ITAIPU, 2012).

Um dos principais receios dos pesquisadores na área é que o mexilhão dourado chegue às bacias amazônicas. A pesquisadora da Embrapa Márcia Divina de Oliveira comenta que a boa oferta de alimento e condições ambientais adequadas, como salinidade, temperatura, pH e disponibilidade de cálcio da água favorecem a proliferação do molusco. “Nos rios de águas ácidas, com pH abaixo de 5, o mexilhão tem baixo potencial de se estabelecer, mas nos demais rios onde o pH é acima de 6, as condições são muito favoráveis”, segundo o site portalamazonia. Os rios da Amazônia podem ser separados em rios de água preta, rios de água branca e rios de água clara. O molusco não encontraria um ambiente favorável em rios de água preta, como o Rio Negro, onde o pH varia entre 3,5 e 4,0. Nem tanto em rios de águas claras como Xingu, Tapajós e Tocantins, onde o pH é de 4,0 a 7,0. No entanto, em rios de água branca como os rios Amazonas, Branco, Madeira, Juruá e Purus, que possuem pH 6,5 entre 7,0, o cenário seria favorável. Deste modo, o controle do despejo de água de lastro nesta região deve ser efetivo, para evitar a proliferação desta espécie invasora na região. Pereira *et al.* 2014 mostraram os riscos associados à qualidade da água despejada na bacia do rio Amazonas. Ainda neste livro iremos apresentar uma seção que irá tratar especificamente deste assunto.

Outro problema, detectado por empresas de aquacultura se deve ao ataque de algas tóxicas lançadas, juntamente com a água de lastro, em áreas próximas ao cultivo (COHEN, 1998). Os cistos de dinoflagelados, encontrando condições favoráveis, germinam e se reproduzem de forma intensa e formam manchas coloridas, denominadas marés vermelhas (BRASIL. SITUAÇÃO NACIONAL, 2007). As toxinas produzidas contaminam os organismos cultivados, que além de morrerem, tornam-se impróprios para o consumo humano por certo período, o que

causa grande prejuízo ao aquacultor. Seeliger e Costa (2003) afirmam que água de lastro e a incrustação nos cascos de mais de 3.500 embarcações que circulam na baía Patos-Mirim (RS) são responsáveis pela proliferação de algas que podem contribuir para o aparecimento de marés vermelhas.

Collyer (2007) explica que outra espécie exótica é o siri *Charybdis hellerii*, originário dos oceanos Índico e Pacífico, que chegou ao Brasil provavelmente na água de lastro colhida no Caribe. Hoje ele está presente na Baía de Todos os Santos (BA), e nas Baías de Sepetiba e Guanabara (RJ). Este siri, sem valor comercial, está substituindo as populações de caranguejos que têm importância pesqueira e vem causando prejuízos à comunidade de pescadores.

Por outro lado, a aquacultura pode ser uma grande porta aberta para entrada de espécies exóticas. A experiência mostra que os animais cultivados escapam para os ambientes naturais, mesmo quando confinados em sistemas fechados com todas as medidas de segurança e controle conhecidas (PERES e KLIPPEL, 2003). Embora os escapes tenham contribuído para parte dessas introduções, a maioria delas foi causada pela liberação intencional e massiva de indivíduos em corpos d'água naturais e seus barramentos, por programas de repovoamento de reservatórios e de aumento de estoque pesqueiro, também conhecidos por “peixamentos”. Cerca de vinte espécies exóticas ou invasoras de peixes foram liberadas em reservatórios das Bacias do sul e sudeste. Apenas na Bacia do Rio São Francisco, o governo federal liberou 38,7 milhões de peixes, entre 1995 e 1997 (VIEIRA e POMPEU, 2001).

Farrapeira *et al.* (2007) examinaram os cascos de 32 das 491 embarcações que atracaram no porto de Recife em 2006, oriundos de várias partes do mundo, para identificar possíveis espécies exóticas. Os autores analisaram os seguintes tipos de navios: pesqueiros, rebocadores, cargueiros, dragas e escola. Foram encontradas 60 espécies diferentes, sendo que algumas nunca tinham sido catalogadas anteriormente e apresentam alto risco de invasão.

Contudo, há poucos dados dos impactos de espécies exóticas sobre a biodiversidade do Brasil. Segundo Collyer (2007) já foram identificadas cerca de 30 espécies aquáticas invasoras, tendo a água de lastro como vetor principal. Os esparsos registros disponíveis indicam a eliminação ou redução de espécies nativas por competição e predação, a introdução de parasitas, e a alteração de processos do ecossistema.

Por exemplo, os EUA dispõem de um banco de dados de espécies invasoras disponível na internet denominado National Ballast Information Clearinghouse (NBIC), em que se pode fazer um acompanhamento da situação no país.

Os EUA desenvolveram sistemas de monitoramento e controle de espécies exóticas que permitem um acompanhamento de todo o processo da bioinvasão. Com base nestas informações podem ser adotadas medidas de controle para

inibir a proliferação ou até a erradicação das espécies invasoras. Registros de espécies invasoras oriundas da água de lastro erradicadas no mundo estão apresentados em (HEWITT e CAMPBELL, 2007).

Lopes (2009) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente – MMA publicou o Informe sobre as Espécies Exóticas Invasoras Marinhas no Brasil, catalogando 58 espécies no Brasil. Entre elas encontram-se fitoplâncton (5%), zooplâncton (10%), fibentos (9%), zoobentos (69%) e peixes (7%). A origem é variada sendo oriundas do Indo Pacífico (30%), Pacífico Oriental (14%), Pacífico Ocidental/Caribe (10% cada), Atlântico Oriental (8%), Europa (5%), Índico e Leste da África (2% cada). Este material é disponibilizado gratuitamente pelo MMA.

## 2.2 PRINCIPAIS CONTAMINANTES CONTIDOS NA ÁGUA DE LASTRO

As espécies contidas na água e no sedimento dos tanques de lastro dos navios podem sobreviver durante viagens transoceânicas. Uma grande quantidade de organismos de grupos taxonômicos<sup>1</sup> distintos (vírus, bactérias, protistas, larvas/ovos de invertebrados e de peixes), capturados com a água de lastro no porto de origem pode ser descarregada no porto de destino (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996).

A escala máxima do tamanho dos organismos que podem ser pegos em um navio depende do tamanho das telas de entrada localizadas na caixa de mar do navio. A água bombeada para os tanques de lastro carrega organismos através dos impulsores da bomba, que podem matar alguns desses organismos. No sistema de captação de água que está esquematizado na Figura 5, existem as telas externas e internas para proteção, através das quais os organismos maiores geralmente não podem passar. Entretanto, exceções podem ocorrer, permitindo o transporte desses organismos maiores, tais como peixes.

Entre as plantas transportadas, as microalgas do fitoplânctons<sup>2</sup> foram comumente encontradas na água do lastro (CARLTON e GELLER, 1993; HALLE-GRAEFF, 1993).

Entre os animais, o zooplâncton pode ser diverso e denso na água do lastro. Estão incluídos aqui organismos planctônicos<sup>3</sup> que passam a maior parte ou todo

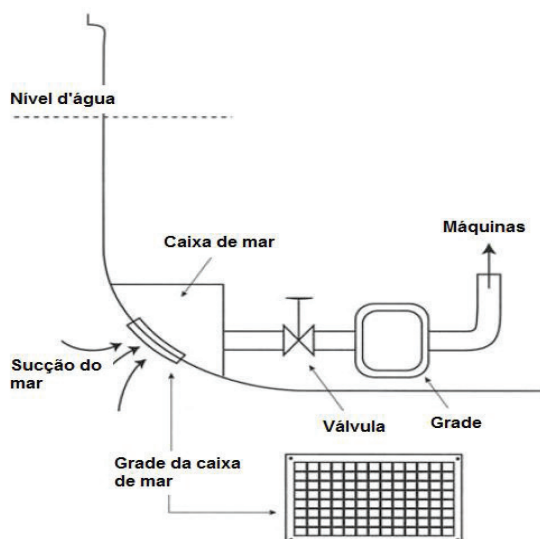
---

<sup>1</sup> Taxonomia: A taxonomia é a área da biologia que trata da nomenclatura, identificação e classificação dos organismos.

<sup>2</sup> Fitoplâncton é o organismo vegetal que, como o plâncton, vive em suspensão na água do mar e é arrastado pelo movimento da água.

<sup>3</sup> Organismos planctônicos é conjunto de organismos, principalmente microscópicos, que flutuam em águas salgadas ou doces.

seu ciclo de vida na água, tal como muitos tipos de protozoários, copépodos, camarão – gambá, lesma-seta (chaetognathos) e peixes. O zooplâncton também inclui aqueles animais planctônicos que passam somente uma parcela de suas vidas na coluna de água (meroplâncton), em particular as larvas de muitos invertebrados bentônicos, incluindo anêmonas do mar, corais, hidras, moluscos (caracóis, mexilhões, moluscos, ostras, e bivalves), crustáceos (cracas, camarão, lagostas, caranguejos, caranguejos-eremita), vermes marinhos poliquetas, equinodermos (estrelas-do-mar, estrelas frágeis, ouriços-do-mar, pepinos do mar), tunicados (Ascídias) e as larvas de peixes (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996).



**Figura 5** Esquema do sistema captação da água de lastro do mar

Fonte: NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996)

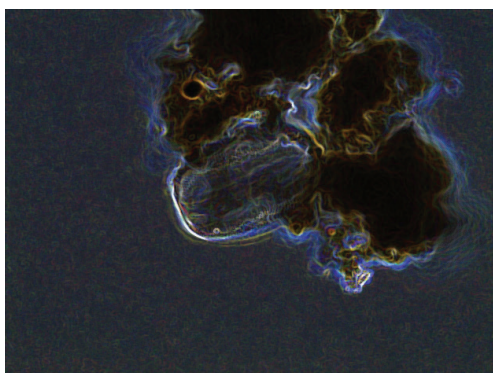
A biota, ou seja, conjunto dos seres organismos (animais e vegetais, além de micro-organismos) pertencentes ao sedimento contido nos tanques dos navios não é totalmente conhecida, devido à variabilidade dos locais de coleta da água de lastro. Williams *et al.* (1988) relataram que as embarcações que chegavam na Austrália continham diversos e abundantes invertebrados que poderiam ser liberados quando o sedimento é descarregado. Hallegraeff e Bolch (1992) afirmaram que o sedimento dos tanques de lastro pode conter numerosos cistos e que a biota do sedimento nos tanques de lastro também não é totalmente conhecida. A Figura 6 mostra que no fundo dos tanques existe uma quantidade de água e de sedimentos que geralmente não são bombeados para fora dos tanques e oferecem condições propícias para proliferação de comunidades exóticas no local.



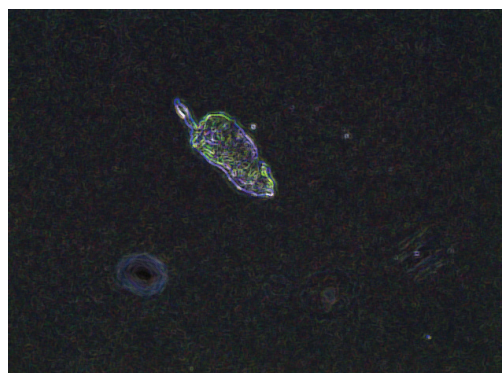


**Figura 6** Acúmulo de sedimentos no fundo e na parede dos tanques

A Figura 7 e Figura 8 mostram os resultados de uma análise biológica realizada na água de lastro coletada dentro de um tanque de água de lastro de um navio atracado no porto de Santos. A água foi analisada em laboratório por meio de um microscópio e foram identificados os seguintes indivíduos vivos dentro do tanque. Cabe salientar, que água foi coletada e análise foi conduzida 10 dias após e os organismos ainda estavam vivos.



**Figura 7** Dinoflagelado não identificado



**Figura 8** Matéria orgânica

Neste contexto, o comitê responsável pela elaboração do NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996) observou sedimentos estabelecidos na parte inferior de um tanque de lastro de uma embarcação que, quando a água de lastro já tinha sido esgotada, ainda retinha um lastro não bombeado, formando uma coluna d'água que variava de 15 a 30 cm.

Junto com o sedimento existiam vermes, camarões, hidras e outras espécies estabelecidas no fundo do tanque. Estes organismos podiam liberar larvas planctônicas na água sobrejacente do lastro, que poderia subsequentemente ser descarregada, mantendo ainda uma comunidade adulta residente na parte inferior do tanque (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996). Deste modo, quando

uma nova quantidade de água fosse captada, ela seria provavelmente impactada com os elementos que ficaram retidos no interior dos tanques.

Esses são indicativos importantes para que sejam desenvolvidas alternativas de gestão, monitoramento constante e tratamento do sedimento retido no fundo dos tanques de lastro dos navios. Deste modo, a atenção deve ser voltada não somente à água de lastro, mas ao sedimento que também é parte importante no processo de gestão ambiental.

### 1.3 REFERÊNCIAS

BELZ, C.E. Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do Rio Iguaçu, Paraná. Tese (doutorado) Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Zoologia. Defesa: Curitiba, 2006.

BOLCH, C.J.; HALLEGRAEFF, G.M. Chemical and physical treatment options to kill toxic dinoflagellate cysts in ships' ballast water. *Journal of Marine Environmental Engineering*: 1993. 23–29 p.

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – CAPA. Evaluation of Ballast Water Treatment Technology for Control of 14 Nonindigenous Aquatic Organisms. State Water Resources Control Board, Sacramento, CA. 2002. 70 p.

CARLTON, J.T. *et al.* Shipping Study. The Role of Shipping in 31 the Introduction of Nonindigenous Aquatic Organisms to the Coastal Waters of the United States 32 (other than the Great Lakes) and an Analysis of Control Options. Report No. CG-D-11-95, U. S. 33 Coast Guard, Groton CT and U. S. Dept. of Transportation, Washington DC. 1995.

CARLTON, J.T. *et al.* Transoceanic and inter-oceanic dispersal of coastal marine organisms: The biology of ballast water. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, v.23. 1995.

CARLTON, J.T.; GELLER, J.B. Ecological roulette: the global transport and invasion of nonindigenous marine organisms. *Science*, 261: 1993. 78-82 p.

CARMO, M.C. Água de lastro. Ministério da defesa exército brasileiro Secretaria de ciência e tecnologia instituto militar de engenharia. 2006 Pestana *et al.* (2002) *apud* Darrigran (2002)

COHEN, A.N. Ships' Ballast Water and the Introduction of Exotic Organisms into the San Francisco Estuary: Current Problem Status and Management Options. Report for California Bay Delta Authority, Sacramento, CA. San Francisco Estuary Institute, Richmond, CA. 1998.

COHEN, A.N., and James T. Carlton. "Nonindigenous aquatic species in a United States estuary." (1995).

COLLYER, W. Água de lastro, bioinvasão e resposta internacional. *Revista Jurídica*. Presidencia da Republica. 2007.

FARRAPEIRA, C. M.R. *et al.* “Ship hull fouling in the Port of Recife, Pernambuco.” *Brazilian Journal of Oceanography* 55.3 (2007): 207-221.

GLOBALLAST WATER MANAGEMENT PROGRAMME, On guidelines and standards for ballast water sampling. Monograph. 2003.

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

HALLEGRAEFF, G.M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologica* 32. 1993. 79–99 p.

HALLEGRAEFF, G.M.; BOLCH, C.J. Transport of diatom a dinoflagellate resting spores in ships’ ballast water: Implications for plankton biogeography and aquaculture. *Journal of Plankton Research* 14: 1992. 1067–1084p.

HEWITT, C.L.; CAMPBELL, M.L. “Mechanisms for the prevention of marine bioinvasions for better biosecurity.” *Marine Pollution Bulletin* 55.7 (2007): 395-401.

LOPES, R. Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2009.

MANSUR, C.D. *et al.* *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), molusco bivalve invasor, na bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul. 2003.

MANSUR, C.D. *et al.* *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), molusco bivalve invasor, na bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul. 2003.

MEDEIROS, D. de Sá. Avaliação de risco da introdução de espécies marinhas exóticas por meio de água de lastro no Terminal Portuário de Ponta Ubu (ES). IPT. 2004.

OLIVEIRA, U.C. Gerenciamento de água de lastro nos portos. III Congresso de Oceanografia. 2008.

PIMENTEL, D. *et al.* Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*. 2004.

REZENDE, M.F. Variação das características hidráulicas em condutos forçados devido à infestação pelo *Limnoperna fortunei*. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2007.

SEELIGER, U.; COSTA, C. S. B. Alterações de Hábitats. Devido às Atividades Antrópicas na Costa Sul do Brasil. Anais do VI Congresso de Ecologia do Brasil (CEB, Fortaleza-CE). 2003.

VIEIRA, F.; POMPEU, P.S. Peixamentos: uma ferramenta para conservação da ictiofauna nativa?. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 175, 2001. 28-33 p.

WILLIAMS, R.J. Cargo vessel ballast water as a vector for the transport of nonindigenous marine species. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 26. 1988. 409–420 p.

# 3

## CAPÍTULO

# ALTERNATIVAS DE TRATAMENTOS PARA ÁGUA DE LASTRO A BORDO DOS NAVIOS

**NEWTON NARCISO PEREIRA, HERNANI LUIZ BRINATI**

## **3.1 NECESSIDADE DE TRATAMENTO**

Demoraram mais de 12 anos para que a Convenção Internacional sobre Controle e Gestão da Água de Lastro e Sedimentos de Navios (BWMC) entrasse em vigor. Em 8 de setembro de 2016, cerca de 45 países representando 35,76% de toda tonelagem bruta mundial ratificaram a BWMC. Mesmo diante de toda a problemática associada ao impacto da água de lastro de navios observa-se que a indústria marítima internacional, bem como, a Organização Marítima Internacional – IMO não tinham conseguido convencer grande parte dos países sobre os problemas oriundos da água de lastro, mesmo sabendo que a BWMC entraria em vigor em 7 de setembro de 2017.

É notório que muitas espécies contidas nos tanques de lastro podem ser potencialmente invasoras. O tratamento da água de lastro para livrá-la de uma potencial espécie invasora constitui um grande desafio que ainda precisa ser devidamente equacionado. Um único tratamento preventivo pode não ser eficaz. Por isso, em muitos casos, pode ser necessário o uso conjunto de dois ou mais tipos de tratamento para tentar aniquilar o maior número de organismos de uma só vez.

A dificuldade de conjugar a eliminação dos organismos com um tratamento totalmente efetivo recomendado pela IMO, abre uma grande fronteira para pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos. Contudo, recomenda-se aos armadores e comandantes das embarcações utilizar os procedimentos operacionais recomendados pela IMO para remediar o problema. Para isso, é necessário conseguir o comprometimento da tripulação para execução de tais procedimentos, que é outro desafio a ser solucionado.

Basicamente, um sistema de tratamento deve ser capaz de erradicar uma ampla variedade de organismos presentes na água de lastro e a sua operação não deve alterar a qualidade da água recebida e descartada. Testes dessas tecnologias devem ser conduzidos para avaliar seu impacto sobre o meio ambiente. Por isso, o desenvolvimento e a obtenção da aprovação de sistemas de tratamento requerem uma série de testes. O desempenho desse sistema depende das variedades de navios existentes, rotas, condições climáticas, posição geográfica e legislação internacional e local; tudo isto toma muito tempo. Duas linhas de tratamento estão atualmente sendo discutidas em âmbito internacional: tratamento a bordo e tratamento executado em unidades em terra (no porto<sup>1</sup>) (IMO, 2004).

O tratamento a bordo contempla as operações de troca e tratamento da água que podem ser empregadas na embarcação. Este tipo de tratamento pode ocorrer durante as operações do navio no mar. Assim, o navio pode tratar e descarregar a água de lastro em trânsito e não necessita aguardar a chegada ao porto para fazê-lo, como no caso do uso de uma unidade em terra. O tratamento em unidades na costa deve ser executado assim que o navio atraca no berço. Para tal, são conectados dutos aos tanques de lastro que retiram a água e armazenam em reservatórios para depois ser aplicado o tratamento. Este assunto será abordado no próximo capítulo.

Os navios podem viajar grandes distâncias entre portos ou visitar muitos portos durante todo o curso de uma viagem. Limitações substanciais de espaço em navios, junto com as preocupações de segurança para a embarcação e sua tripulação, tornam as opções de tratamento a bordo complexas. Ter espaço a bordo, principalmente na praça de máquinas, oferece uma vantagem para instalação de sistemas de tratamento.

---

<sup>1</sup> O tratamento da água de lastro no porto não é mandatário segundo a Convenção Internacional para o Controle e Gerenciamento de Água de Lastro de Navios e Sedimentos, mas os portos podem avaliar sua viabilidade e uso (Gollasch *et al.* 2007).

Contudo, a maior parte dos navios dispõe de espaços confinados e limitados que não proporcionam flexibilidade para instalação de sistemas que não foram previstos no projeto original. Além disso, o problema da idade da frota pode afetar diretamente o desenvolvimento das alternativas de tratamento. Por dois motivos principais: (1) característica do navio que talvez precise de grandes modificações na condição original; (2) o custo destas alternativas que pode ser um fator impeditivo para que os armadores optem em instalar em seus navios. Isso se deve, principalmente, pela relação custo de investimentos versus custo do m<sup>3</sup> tratado. Ou seja, quanto maior for a idade do navio maior será o custo do tratamento, pois existe o problema do retorno do investimento realizado sobre o tempo de uso do sistema de tratamento.

Outro aspecto importante, segundo o NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996) é que a qualidade da água de navegação em lagos e rios contém grandes quantidades de minerais, mas baixas concentrações do íon cloreto. O pH e a salinidade da água do mar são mantidas relativamente constantes por um equilíbrio complexo de elementos químicos naturais.

A mistura da água do oceano e de água fresca nos estuários, baías de maré baixa e os braços de mar, onde as principais facilidades portuárias são encontradas, tende a criar uma zona rica em nutrientes e vida marinha propícia aos organismos exógenos. Uma curta lista de parâmetros da qualidade da água que devem ser mensurados para avaliar a eficácia dos sistemas de tratamento de água de lastro considera a temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos e componentes biológicos da água do mar captada (MESBAHI, 2004; KAZUMI, 2007). Como a variabilidade destes parâmetros é ampla, ainda há sérias restrições conceituais para se definir os padrões-chave de qualidade da água de lastro eficazes para definir métodos genéricos de tratamento, o que requer estudo e validação.

Os tanques de lastro e os tanques de carga/lastro representam um desafio original para tratar a água, devido às elevadas taxas de fluxo, grandes volumes, diversidade de organismos e tempo de residência da água de lastro.

A maior parte da água de lastro é coletada nas áreas litorâneas e estuarinas que tendem a conter altos níveis de sólidos em suspensão. Em consequência, a água de lastro com concentrações elevadas de material suspenso é, frequentemente, bombeada para o interior do navio. O sedimento se acumula nos tanques de lastro em grandes quantidades (centenas de metros cúbicos) e possui um custo alto de remoção e transporte. O sedimento suspenso também interfere na maioria dos sistemas de tratamento, se eles forem processos físicos de separação ou processos avançados de oxidação (MESBAHI, 2004).

No primeiro caso, o sedimento suspenso tende a obstruir rapidamente os sistemas de rede de captação e os scallops dos tanques de água de lastro, por onde a água passa pelas anteparas dos tanques (PRANGE e PEREIRA, 2013). No segundo caso, o material suspenso pode proteger as espécies alvo de algum processo de tratamento, uma vez que aumenta a turbidez da água (TSOLAKI & DIAMADOPOULOS, 2010). Assim, a eficácia do tratamento definido nos termos de inativação do organismo alvo pode ser limitada severamente pela presença de sólidos suspensos. Isso mostra que, com a tecnologia atualmente disponível, um cenário de tratamento a bordo não será eficaz para todas as embarcações que carregam água de lastro entre várias regiões do mundo.

Devido às dificuldades de encontrar soluções aplicáveis para todos os navios em operação é que o desenvolvimento de um processo de tratamento de água de lastro deve contemplar os passos mostrados na Figura 9. Cada etapa deste processo deve ser minuciosamente avaliada para garantia da eficácia do tratamento.



**Figura 9** Processo de coleta e tratamento da água de lastro

Fonte: Adaptado de Brown e Caldwell (2007)

A tarefa mais complicada de ser executada após a implantação de um sistema de tratamento é garantir sua eficácia. O sistema de tratamento, que precisa ser monitorado em todas suas etapas, deve atender aos seguintes requisitos:

1. Ser seguro (para o navio e sua tripulação);
2. Ser ambientalmente aceitável (não pode causar outros impactos ambientais);
3. Ser exequível (compatível com o projeto do navio e sua forma de operação);
4. ser biologicamente efetivo (em termos de remoção e destruição dos elementos contidos);
5. ser economicamente viável (possível de ser construído em escala comercial).

Atendidos estes requisitos, para que um sistema de tratamento seja incorporado pela comunidade marítima internacional, primeiramente ele deve ser homologado pela IMO. Assim, existem alguns passos que devem ser seguidos para obtenção da aprovação conforme mostra a Figura 10.



**Figura 10** Procedimento para aprovação de sistema de tratamento de água de lastro

Fonte: Figura adaptada de Dobroski *et al.* (2007)

Como o processo de aprovação de qualquer sistema de tratamento a ser instalado a bordo dos navios demora muito tempo e o problema da bioinvasão precisa ser remediado, prioritariamente, sugere-se que os navios cumpram os procedimentos operacionais definidos pela IMO. Em conjunto com os procedimentos operacionais deve-se buscar alguma tecnologia de tratamento disponível, tanto a bordo quanto em terra, para inibir a contaminação pela água de lastro.

Em 2013, visitamos o Prof. Mario Tamburri da Universidade de Baltimore nos Estados Unidos que desenvolveu um sistema de testes de sistema de tratamento a bordo de água de lastro dos navios. Basicamente, foi desenvolvida uma barcaça adaptada com diversos sistemas de captação de água, armazenamento, tubulações diversas e laboratório de testes para avaliar a eficiência de sistema de tratamento de água de lastro. A vantagem de se utilizar uma barcaça deve-se ao fato de poder navegar e poder coletar água em outros pontos da baía de Chesapeake para avaliar os equipamentos. Durante nossa estada pudemos acompanhar os testes de sistema de filtros aplicados a esses sistemas. Os testes em terra duram em torno de 10 dias para avaliar a eficiência do sistema. Após isso, é fornecido um relatório detalhado com os resultados da eficiência do sistema, conforme mostrado na Figura 11.





**Figura 11** Barcaça de testes em terra e ou móvel instalada em Baltimore (Estados Unidos)<sup>2</sup>

Neste mesmo período, nós visitamos o Northeast-Midwest Institute em Washington. Fomos recebidos pela bióloga Allegra Cangelosi que nos apresentou a proposta do instituto. Basicamente, eles têm uma estação de testes de sistemas de água de lastro localizada em Duluth-Superior Harbor. Nesta estação são realizados testes com os sistemas de tratamento de água de lastro, em que são identificadas suas eficiências. Basicamente, o procedimento é similar ao realizado em Baltimore. Existem atualmente, no mundo além dessas duas estações de testes, mais três localizadas na Holanda, sendo a Royal NIOZ, Institute Nacional Oceanografico e MEA-nl B.V. Por meio dessas estações os sistemas são testados e os fabricantes podem solicitar sua homologação junto a IMO.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> A estação de teste da MERC paralisou suas atividades de testes de BWMS em dezembro de 2017, devido a incertezas sobre a qualidade e valores realizados nos testes para certificação de BMWS. Isso foi devido ao fato dos testes ignorarem a presença de larvas vivas de mexilhões Zebra e outros moluscos, ovos e várias outras espécies, além de células de algas que frequentemente não podem mover-se por si mesmas e, de acordo com os regulamentos atuais, podiam ser presumidas como mortas. Entretanto, existem métodos científicos que podem comprovar que os organismos imóveis podem estar vivos e viáveis dentro dos tanques, sendo portanto uma ameaça a novas introduções mesmo utilizando BWMS certificados. Diante destas evidências as atividades de certificação foram suspensas, segundo as informações prestadas pelo diretor Mario Tamburri.

<sup>3</sup> Outra estação de testes de BWMS foi fechada em Cingapura em janeiro de 2018. A DHI anunciou o fechamento das atividades, devido a dificuldades em testar os equipamentos nas águas tropicais, representadas pelo ambiente marinho de Cingapura. Isso deve-se à quantidade de

Cabe salientar que não existe nenhuma infraestrutura semelhante para analisar o funcionamento destes sistemas de tratamento de água de lastro onboard na América do Central e Sul. Deste modo, os sistemas serão sempre testados nas condições em que poderão eliminar os organismos existentes onde estas estações estão instaladas, mas nunca saberemos se são eficientes para eliminar os organismos que vivem nas águas brasileiras.

### 3.2 TRATAMENTO POR SUBSTITUIÇÃO DA ÁGUA

A IMO por meio da BWMC recomendou alguns procedimentos operacionais que os comandantes devem aplicar durante a viagem, enquanto não surge uma técnica eficaz para resolver o problema da bioinvasão. Basicamente, as normas exigem que seja feita a substituição oceânica da água de lastro.

A troca oceânica consiste no procedimento de troca de toda a água contida nos tanques de lastro do navio, entre o local de captação e um ponto situado a, no mínimo, 200 milhas (370,4 Km) da costa onde se localizam os portos em que o navio irá descarregar a água de lastro. O princípio preventivo deste procedimento se fundamenta no fato de que as espécies oceânicas não sobrevivem em ambientes de regiões costeiras e vice-versa. Basicamente, considera-se que os organismos oriundos de portos tropicais não devem sobreviver e nem se reproduzir em águas geladas, temperadas e polares, devido à diferença de similaridade ambiental. Contudo, isso não é uma regra e ocorre que algumas espécies de invertebrados e algas oriundos de regiões tropicais já foram encontradas em regiões polares (SILVA *et al.*, 2004).

Assim, os procedimentos estabelecidos para serem aplicados em âmbito global são (BWMC, 2004):

- Como regra geral, as embarcações deverão realizar a troca da água de lastro em alto mar a, pelo menos, 200 milhas náuticas da costa e em águas com, pelo menos, 200 metros de profundidade;
- Nos casos em que o navio não puder realizar a troca da água de lastro em conformidade com o parágrafo acima, a troca deverá ser realizada o mais distante possível da costa e em todos os casos a pelo menos 50 milhas náuticas e em águas com pelo menos 200 metros de profundidade ou em zonas determinadas pelo Agente do Estado Porto. Neste caso, informações ambientais e sanitárias existentes subsidiarão o Agente da Autoridade;

---

organismos presentes na água, menor que 10 microns, bem como à temperatura local que impacta na sobrevivência dos organismos nos tanques de controle.

- Será aceita a troca de água de lastro por qualquer dos métodos aprovados pela IMO: sequencial, fluxo contínuo e diluição, que serão descritos adiante;

Contudo, a BWMC deixou em aberto o caso dos navios de cabotagem, que navegam ao longo da costa e que podem transportar espécies exóticas de diferentes ambientes, como é o caso dos portos de baixa salinidade. Por esta razão, a NORMAM 20/DCP data de 2005 tinha recomendado sua realização, a pelo menos, 50 milhas náuticas e em águas com profundidade mínima de 200 metros. Contudo, a eficiência desse processo demanda fiscalização dos navios que navegam em águas costeiras brasileiras.

Além disso, era recomendado que, no caso da Amazônia, a água de lastro dos navios fosse duplamente trocada. A primeira troca (50 milhas da costa) é para prevenir os impactos ambientais pela bioinvasão e a segunda, mais próxima da foz do rio Amazonas, é para prevenir os impactos ambientais em função do deslastramento de água salgada num ambiente de água doce, como o caso do Rio Amazonas.

A importância desta medida adotada pela marinha brasileira referia-se à “similaridade” ambiental entre os portos brasileiros. Medeiros (2004) e Leal Neto (2007) mostraram que os portos brasileiros apresentam alto grau de similaridade, ou seja, os parâmetros físicos e químicos da água são muito similares, entre vários portos brasileiros, o que pode propiciar a bioinvasão entre portos da mesma área de influência, considerando principalmente a temperatura e a salinidade.

No entanto, em janeiro de 2014, a nova versão da NORMAM 20, retirou a obrigatoriedade dos navios realizarem troca da água de lastro na navegação de cabotagem, além de retirar a necessidade da segunda troca da água de lastro para acessar a região amazônica. Adicionalmente, os navios agora podem entregar os formulários de água de lastro em até 2 horas após sua atracação. A questão principal é que essas mudanças na legislação brasileira enfraquecem o processo de controle e gestão da água de lastro. Deste modo, fica uma pergunta simples, a partir do momento que o navio atracou num determinado porto e enviar seu formulário de água de lastro para autoridade responsável e seja identificado algum problema de preenchimento e validade nas informações, o mesmo será obrigado a deixar o porto? Dependendo do volume de água de lastro a bordo, bem como, da vazão das bombas em 2 horas, muita água já foi despejada pelo navio no porto brasileiro.

Infelizmente, essas mudanças nos colocam na contra mão da gestão e controle de água lastro, visto que países como Austrália e nova Zelândia exigem que os navios enviem seus formulários com cerca de 48 horas de antecedência de sua chegada no porto. Nos portos americanos os navios devem enviar os formulários

com pelo menos 24 horas de antecedência de sua chegada. Além disso, nos Estados Unidos 100% dos navios que acessam a região dos Grandes Lagos são vistoriados para identificar a salinidade da água de lastro.

### 3.2.1 Troca Oceânica

A troca oceânica consiste da substituição da água de lastro captada pelo navio na região portuária pela água do oceano. O método mais simples de troca oceânica é o sequencial, pois na prática os tanques são esvaziados sequencialmente, normalmente aos pares, para evitar problemas de estabilidade do navio. Geralmente, durante o processo consegue-se trocar aproximadamente 95% da água contida nos tanques de lastro dos navios (SILVA *et al.*, 2004).

Ainda no intuito de zelar pela vida da tripulação e pelo navio, a IMO recomenda que, em condições adversas de clima, a troca oceânica seja suspensa até que existam condições favoráveis para realizar o procedimento. Contudo, cabe frisar que as normas não descartam a realização do procedimento nestes casos.

Neste sentido, cada país pode determinar qual é o nível mínimo de exigência para a eficiência do processo. Por exemplo, para navios que utilizam este procedimento na Austrália, exige-se que eles cumpram os seguintes critérios (AUSTRALIAN BALLAST WATER MANAGEMENT REQUIREMENTS – ABWMR, 2008):

- Navios com peak tanque de vante com capacidade de 2.000 m<sup>3</sup> devem chegar ao porto com somente 1.000 m<sup>3</sup> de água. Quando a água contida no tanque for originária de países de alto risco, por exemplo, a China<sup>4</sup>, deve-se restringir a manter apenas 5% do volume do tanque com água trocada, devido ao risco de contaminação da água trocada.
- Para os outros tanques do navio a troca deve ser realizada considerando 95% do volume total do tanque.
- Navios que tenham tanques com capacidade de até 6.000 m<sup>3</sup> devem entrar no porto com apenas 2.000 m<sup>3</sup> de água nos tanques. Para garantir eficácia no processo, sugere-se que o navio descarregue água até 250 m<sup>3</sup> e depois preencha o tanque com 5.000 m<sup>3</sup> e depois esvazie novamente até 2.000 m<sup>3</sup>, ou esvazie o tanque até 100 m<sup>3</sup> e depois preencher até 2.000 m<sup>3</sup>.

---

<sup>4</sup> A China é considerada um país de risco para Austrália devido ao elevado número de espécies estabelecidas em várias localidades serem oriundas desse país. Durante a participação do autor junto ao Congresso Internacional de Água de Lastro realizado em Cingapura em 2008, ficou muito claro a preocupação dos diversos países em relação a qualidade da água recebida oriunda dos portos chineses.

- O cálculo da eficácia da troca sequencial, ou seja, do potencial de troca da água de lastro dentro dos tanques é calculada por:

$$TS = \left( \frac{P \times T}{V} \right) \times 100 \quad 3.1$$

em que:

- TS é a eficácia da troca sequencial (%);
- P é a capacidade da bomba (m<sup>3</sup>/h);
- T é o tempo de operação da bomba (h);
- V é o volume de água de lastro existente no tanque.

Neste caso, para que a troca sequencial seja eficiente é necessário que TS seja maior ou igual a 95%. Isso se deve ao fato do volume residual de água e sedimento que sobram dentro do tanque ter potencial de contaminação. Contudo, estudos sugerem que os valores mais realistas de eficiência estejam na ordem de 70% a 90% (DAMES *et al.*, 1999).

### 3.2.2 Método do fluxo contínuo

O método do fluxo contínuo consiste em trocar a água de deslastro sem esvaziar os tanques, enchendo-os ao mesmo tempo com a água do mar captada no oceano numa quantidade três vezes maior que o volume do tanque (TSOLAKI & DIAMADOPOULOS, 2010).

Assim, no mínimo 300% (da capacidade máxima dos tanques) de água limpa de áreas oceânicas profundas devem ser bombeadas para dentro de cada tanque de lastro até atingir o nível mínimo de 95% de troca volumétrica. O controle do processo é feito pela tripulação que deve monitorar o volume introduzido nos tanques, através da razão volume do tanque pela capacidade da bomba. Entretanto, esta não é uma tarefa trivial. Mesmo que, ao iniciar a operação de escoamento dos tanques, um tanque esteja parcialmente cheio de água de lastro de alto risco, este deve ser bombeado a 300% de sua capacidade máxima. A vazão de 300% começa a ser medida quando a água limpa de áreas oceânicas profundas começa a entrar no tanque e não quando o tanque começa a derramar. Pode-se determinar o tempo necessário (E) para que as bombas cheguem a 300% da troca de água de lastro pela expressão:

$$E = \left( \frac{V_T \times 3}{P} \right) \quad 3.2$$

onde:

- E é tempo necessário troca da água de lastro;

- $V_t$  é o volume total do tanque de lastro ( $m^3$ );
- $P$  é a capacidade da bomba ( $m^3/h$ ).

De acordo com Silva *et al.* (2004) este método é mais eficaz que o método da troca sequencial, já que o navio não fica exposto aos riscos de segurança, pois são mantidas constantes a saída e a entrada de água. Entretanto, Arai *et al.*, (2002 e 2004) *apud* ITCC (2004) e Nakamura (2001) explicam que através de um método numérico de simulação foi possível constatar que os aspectos de segurança como esforços longitudinais, estabilidade, imersão do hélice e visibilidade da ponte não podem ser alcançados simultaneamente quando o navio realiza este procedimento de troca contínua. Outra questão importante refere-se aos esforços no fundo do casco durante a execução da troca através do método de fluxo contínuo, que poderia comprometer seriamente a estrutura do navio, uma vez que os navios construídos antes de 2009, não foram projetados para operar nessas condições. Em função das imposições de troca de água de lastro pela IMO é possível que os novos navios já sejam projetados para resistir a tais esforços. Contudo, isso também impacta no custo final de construção devido à necessidade de aumentar a resistência estrutural.

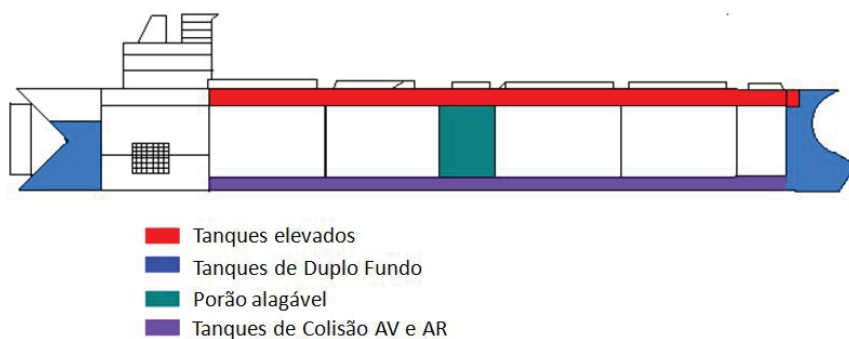
Ainda nesta linha, Shinoda (2003) examinou por meio de um modelo de simulação, a taxa de troca de água durante o método de fluxo contínuo. De acordo com resultados do modelo, existem indicativos de uma forte influência no arranjo dos dutos e das válvulas para atingir um volume de troca de 95% da água de lastro contida no tanque. Isso sugere que, mesmo aplicando este método, se a eficiência reduzir de 95% para 90%, o procedimento fica seriamente comprometido e aumentam-se os riscos para o ambiente.

Para atingir este nível de eficiência (95%), a AUSTRALIAN BALLAST WATER MANAGEMENT REQUIREMENTS – ABWMR(2008) estabelece que os navios que adotam este método de tratamento deverão:

- realizar a troca apenas em pares de tanques simultaneamente;
- considerar que o tempo de bombeamento para realização das 3 trocas consecutivas deve ser calculado admitindo que a capacidade de bombeamento permita que o navio chegue à costa com toda água trocada. Além disso, deve considerar a eficiência do equipamento de bombeamento em função de sua idade.

Admite-se, que a maquinaria de lastro de um navio tenha uma perda de 20% de sua capacidade inicial depois de dez anos de uso. Se um navio tinha capacidade de 2500  $m^3/h$  quando as bombas foram instaladas, após dez anos sua capacidade será reduzida para 2000  $m^3/h$  (ABWMR, 2008).

A título de ilustração, considere-se um “Capesize” com 150.000 DWT, com nove tanques de carga e com diversos tanques de lastro, conforme mostrado na Figura 12.

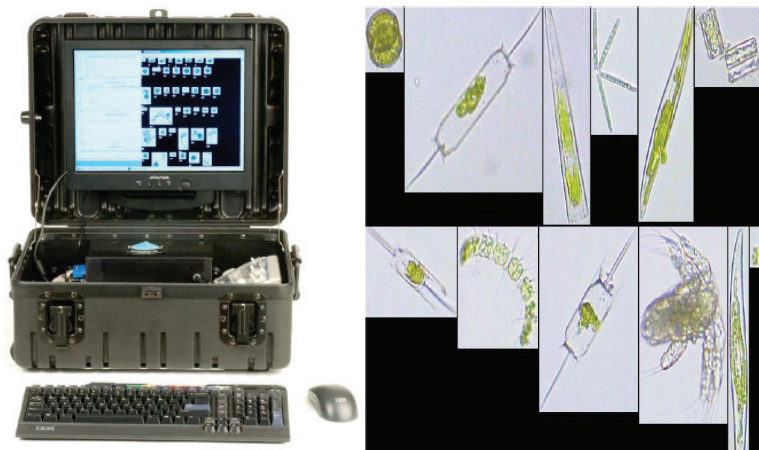


**Figura 12** Esquema do arranjo de tanques de navio graneleiro

Fonte: Medeiros (2004)

Considerando a operação com apenas uma bomba, o tempo total de troca do lastro do navio seria de 71 horas, mas admitindo uma operação simultânea com duas bombas e dois tanques, conforme preconizado pela ABWMR, o tempo total de operação é de 35,50 horas. Isto sugere que navios que realizam viagens curtas podem não conseguir realizar este procedimento em uma única viagem. Contudo, mesmo o navio cumprindo esse procedimento não há garantia da qualidade da água de lastro despejada no porto.

Neste contexto, uma alternativa pode ser a utilização de um equipamento portátil denominado FlowCam, fabricado pela Fluid Imaging Technologies, capaz de realizar a identificação das espécies contidas na água de lastro, em poucos segundos através de uma pequena amostra, conforme mostrado na Figura 13.



**Figura 13** Sistema FlowCam

Fonte: [HTTP://www.fluidimaging.com](http://www.fluidimaging.com)

Nós tivemos contato com o equipamento durante o ICBWM 2008, em que foram realizadas demonstrações de uso do equipamento. Através da colocação de uma pequena quantidade de água em sua lente, foi possível mapear as espécies e identificá-las através do banco de dados no computador. Cabe salientar que o banco de dados do equipamento precisa ser alimentado com os dados coletados e as espécies identificadas. A utilização deste equipamento exige um especialista, pois somente um taxonomista hábil pode determinar a existência de uma nova espécie desconhecida.

Outro instrumento utilizado na sondagem dos tanques de lastro do navio é o refratômetro. Este é um equipamento facilmente manuseado e de baixo custo que serve para monitorar a salinidade da água.

### 3.2.3 Método do transbordamento

O método do transbordamento dos tanques realiza-se pela descarga da água pela parte superior do tanque “convés”. O método busca garantir a estabilidade do navio, mas não garante a eliminação de todas as espécies e organismos, além de apresentar os mesmos riscos que o método sequencial. A Figura 14 apresenta como o procedimento ocorre.

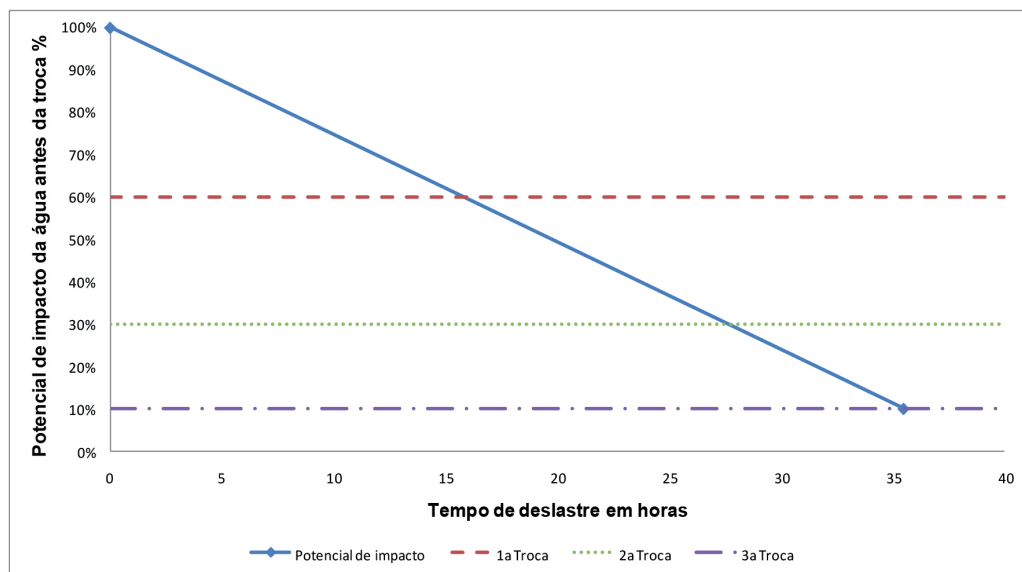


**Figura 14** Método transbordamento

*Fonte:* Anvisa (2003)

A eficiência do método está baseada no número de trocas da água de lastro em função do tempo de viagem do navio e da capacidade das bombas. Utilizando o exemplo citado para o navio tipo “CAPESIZE” com 150.000 DWT, cujo tempo necessário para realizar a troca é de 35,50 horas, o risco potencial da água de lastro coletada no porto de origem diminui ao longo da viagem, conforme mostrado na Figura 15 para o método em questão. Esta figura foi construída após uma análise de diversos autores que tratam da eficiência deste procedimento.





**Figura 15** Eficiência do método em função do tempo e do número de trocas de água de lastro

Ainda neste contexto, Kamada *et al.* (2004) apresentaram um estudo mostrando os resultados do número de trocas sucessivas para garantir eficiência de 95%, bem como o potencial de mistura da água de lastro dentro do tanque através de um modelo em *Moving Particle Semi-implicit – MPS*.

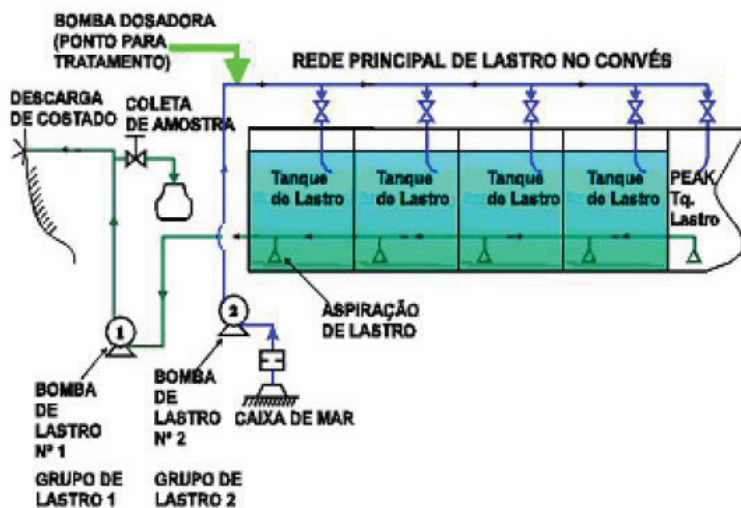
Ruiz *et al.* (2001) conduziram diversos testes a bordo de dois navios petroleiros para medir a eficiência dos métodos da troca sequencial e do transbordamento. A conclusão é que a eficiência dos métodos é da ordem de 90%. Grande parte dos navios graneleiros que operam nos portos brasileiros utilizam esse procedimento para trocar a água de lastro no mar.

Mais recentemente, em 2014, durante a participação dos autores no International Council for the Exploration of the Sea Conseil International pour l'Exploration de la Mer realizado em Palanga na Lituania, pudemos analisar em conjunto com outros pesquisadores de várias partes do mundo, os resultados mais recentes de estudos relacionando a eficiência da troca da água de lastro. Foram discutidos os resultados de vários estudos conduzidos utilizando-se sistemas combinados de tratamento versus a troca da água de lastro. A conclusão é que a eficiência da troca da água de lastro foi da ordem 89% em termos de substituição de organismos com dimensão maiores de 50  $\mu\text{m}$ . Para organismos menores que 50  $\mu\text{m}$  a eficiência foi da ordem de 94,9%, mostrando que a troca da água de lastro ainda é uma das alternativas mais efetivas para o controle da transferência de espécies por meio da água de lastro.

### 3.2.4 Método da diluição

O método de diluição, concebido pela Petrobras, é definido pelo carregamento de água do mar através do topo do tanque com a descarga simultânea pelo fundo do tanque, à mesma vazão, de tal forma que o nível de água no tanque de lastro seja mantido constante (MAURO *et al.*, 2002). Este método está apresentado na Figura 16. A principal diferença desse método em relação aos anteriores é que a água do mar é inserida pelo convés do navio, enquanto que os outros se utilizam da caixa de mar do navio.

Alguns navios (geralmente petroleiros) possuem bombas extras para água de lastro. Em alguns destes navios a água de lastro pode ser bombeada para dentro do tanque por um lado e bombeada para fora pelo outro lado simultaneamente (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996). A similaridade entre os métodos está no nível de troca exigido, que é de 300%, ou seja, deve-se bombear para cada tanque 300% de sua capacidade máxima.



**Figura 16** Método da diluição

Fonte: Mauro *et al.* (2002)

Segundo Mauro *et al.*, (2002), as vantagens deste método em relação aos outros apresentados anteriormente referem-se a:

- Uma operação conjunta entre o lastro e o deslastro do tanque;
- Manutenção constante do nível de água do tanque de lastro durante a viagem, o que, de certo modo, evita os problemas de estabilidade e tensões no casco;
- Evita-se o contato direto da tripulação com a água de lastro, pois o sistema é fechado;

- Não interferência sobre o projeto estrutural do navio, exigindo apenas algumas adaptações de máquinas e tubulações.

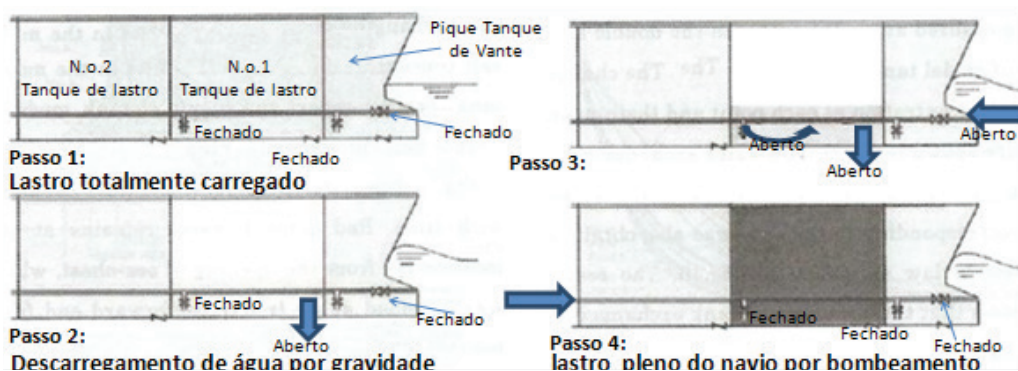
Em 1998, a Petrobras conduziu testes com o navio NT Lavras e verificou-se que a eficiência do tratamento foi de 90%. Atualmente, os navios da Petrobras utilizam este sistema de tratamento para o transporte da água de lastro.

### 3.2.5 Outros métodos não homologados pela IMO

Todos os métodos apresentados estão homologados pela IMO, contudo, pesquisas e testes estão sendo realizados para avaliar outras opções para operação dos navios. Essas novas alternativas deverão ser testadas e validadas pela IMO antes de entrarem em operação.

#### 1) Diferença de pressão

Numata *et al.* (2002) propõem um novo método, que se baseia na diferença de pressão do fluido em torno da superfície do casco do navio enquanto se navega a vante, ou seja, por gravidade o fluido contido no interior do tanque é despejado e outro é recolocado no navio enquanto ele dirige-se a vante. Neste caso, não haveria qualquer operação de bombeamento, exceto para manter um nível inicial de água no tanque enquanto o navio estiver parado, conforme mostra a Figura 17. A eficiência do método foi verificada por experimentações em modelos e a potência total necessária foi estimada em 1/5 da necessária para o método de fluxo contínuo.



**Figura 17** Método por diferença de pressão

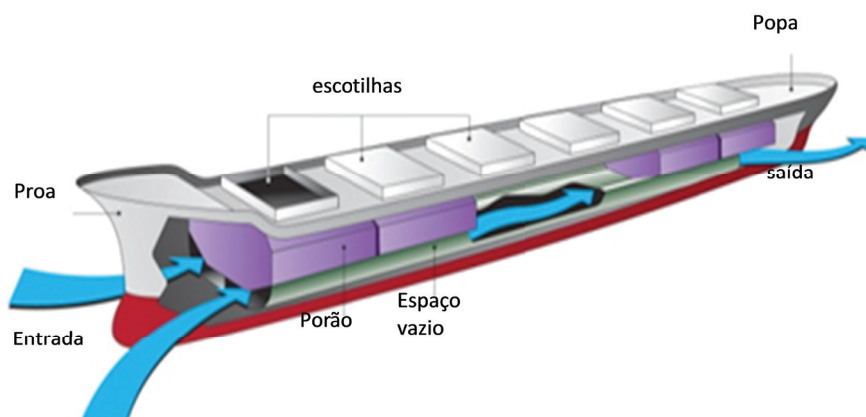
Fonte: ITCC (2004)

#### 2) Ballast-Free

Recentemente, o Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Universidade de Michigan desenvolveu um novo conceito de captar água de lastro denominado de Ballast-free “Lastro Livre”. Este método, que se destina, principalmente, a navios que operam nos Grandes Lagos americanos, está esquematizado

na Figura 18. A Figura 19 (A, B e C) mostra os modelos de teste utilizados para validar este sistema (Kotinis e Parsons, 2004).

No conceito Ballast-Free os tanques de lastro tradicionais são substituídos por tanques longitudinais que passam por baixo da região de carga do navio. Os tanques são conectados com o mar através de uma abertura na proa situada na linha centro do navio. Assim, a pressão desenvolvida pelo navio quando navegando para vante é positiva, enquanto que a sucção na popa é negativa. Por meio deste diferencial hidrodinâmico de pressão, um lento fluxo de água é induzido através da proa para os tanques de lastro, sem a necessidade de bombas, sendo despejado através de aberturas na popa do navio (KOTINIS e PARSONS, 2007).



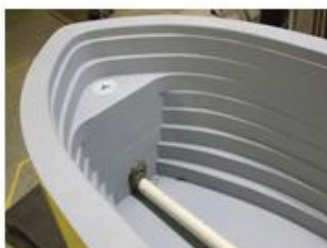
**Figura 18** Sistema Ballast-Free – Modelo conceitual de aplicação do método

Fonte: Adaptado de Kotinis e Parsons (2007)

A)



B)



C)



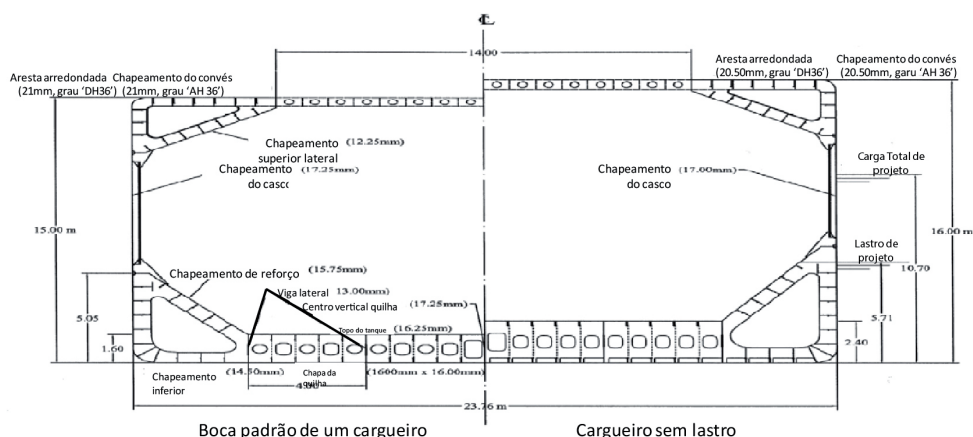
**Figura 19** Modelos utilizados na validação do método Ballast-Free durante os ensaios em tanques de prova para medir os coeficientes hidrodinâmicos

Fonte: Kotinis e Parsons (2007)

Enquanto o navio está em condição de lastro e em movimento, os tanques são constantemente inundados com água local. Quando a viagem do navio termina, os tanques de lastro podem ser isolados do mar por um conjunto de válvulas

e o sistema pode ser esvaziado através de um sistema de bombas convencionais. O resultado desta rede é a possível eliminação do transporte de espécies exóticas de um local para outro, pois a água está sendo renovada a todo instante (KOTINIS e PARSONS, 2007).

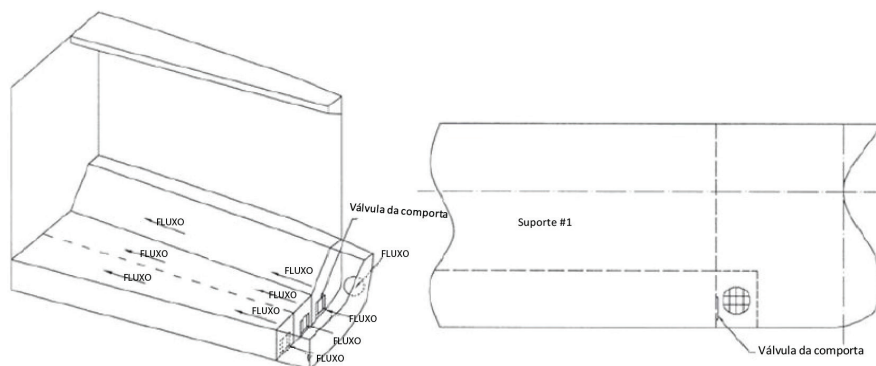
Contudo, a utilização deste sistema requer modificações no projeto do navio, conforme mostrado na Figura 20. Uma alteração que, segundo os autores, consiste no aumento da altura do costado, para permitir que se acumule o maior volume água nos tanques de lastro abaixo dos tanques de carga.



**Figura 20** Comparação entre do arranjo de graneleiro convencional com ou adaptado para o sistema Ballast-Free

Fonte: Adaptado de Kotinis e Parsons (2007)

O esquema de funcionamento pode ser visto na Figura 21, que mostra que o sistema, quando necessário, pode ser totalmente isolado através do acionamento de válvulas.



**Figura 21** Funcionamento do sistema Ballast-Free

Fonte: Kotinis e Parsons (2007)

Kotinis e Parsons (2007) conduziram estudos em tanque de provas com modelos para avaliar o desempenho e realizaram simulações numéricas usando Computational Fluid Dynamics – CFD, tendo sido testadas várias localizações para aberturas, tanto na popa quanto na proa, bem como analisaram sua influência no comportamento do navio. Além disso, os autores realizaram uma avaliação econômica do sistema para identificar os custos das modificações do casco e seu impacto no custo total do navio.

Os resultados indicaram que as aberturas no casco impuseram pequeno aumento de 3% na resistência ao avanço do navio. Por outro lado, os ajustes na posição da descarga da água a ré favoreceram a eficiência do propulsor na ordem de 7%, em relação ao navio sem aberturas, devido ao melhor direcionamento do fluxo para o propulsor. Em relação aos custos relativos ao navio, a adoção deste sistema tende a reduzir os custos com a instalação de equipamentos de tratamento de água de lastro, considerando que um sistema de tratamento convencional pode custar mais de US\$ 800.000,00. Outra vantagem apresentada é que a tripulação não tem contato com a água poluída que o navio pode transportar, além de dificultar a deposição de sedimentos no tanque de lastro do navio.

Estivemos no Japão, em 2013, para discutir sobre este sistema com o Prof. Makoto Arai da Universidade de Yokohama. Embora, o sistema tenha sido proposto originalmente pelos americanos, são os japoneses que têm realizado avanços nesta linha de pesquisa. Outros modelos de cascos foram testados e novos resultados foram encontrados. Os pesquisadores japoneses descobriram ainda que a forma dos furos no casco tem forte influência no rendimento dos navios. Além disso, existem desafios tecnológicos para este tipo de implementação na prática.

A primeira refere-se à confiabilidade no sistema de comportas para abertura e fechamento das mesmas, durante a navegação e as operações de lastro e deslastro dos navios.

A segunda é como deverá ser o sistema de controle para o acionamento e fechamento das comportas durante a operação real no navio. A terceira é que, para que o sistema seja eficiente, é necessário que o navio percorra uma distância grande para que haja tempo suficiente de todo o volume de água existente dentro dos tanques seja completamente trocado. Cabe salientar, que está troca da água deve ocorrer de forma contínua e em volumes relativamente pequenos para não criar efeitos de superfície livre dentro dos tanques, bem como, e evitar potenciais danos à estabilidade do navio. Por fim, os pesquisadores ainda estão buscando fundos para construir uma embarcação de pequeno porte com este sistema com o objetivo de validar o sistema em escala real.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> O navio YARA Birkeland será o primeiro navio autônomo a fazer uso do sistema Ballast Free e deverá ser lançado em 2018 pela empresa YARA. Neste navio não existirá tanques de lastro e BWMS a bordo.

É muito importante salientar que todas as alternativas operacionais mostradas buscam minimizar o risco de invasão por espécies exóticas. Considerando que o risco de uma invasão depende do volume de água despejado em um determinado local, bem como da quantidade de espécies que se transfere no processo, a aplicação efetiva de cada um destes procedimentos pode efetivamente auxiliar no processo de controle.

### 3.3 OUTRAS CONSIDERAÇÕES

Embora existam os métodos operacionais citados anteriormente, é importante salientar que a eficácia de cada um deles depende exclusivamente do comprometimento da tripulação. Algumas práticas importantes podem auxiliar o processo de controle da bioinvasão enquanto não se encontra uma solução definitiva.

Por exemplo, as embarcações poderiam evitar carregar o lastro dentro dos portos com cargas elevadas de sedimento em suspensão, nas áreas da descarga de água de esgoto, como o porto de Santos, ou em “pontos de risco”; onde se sabe da presença de certos organismos não desejados. Por exemplo, portos do Sul em que o mexilhão dourado faz-se presente. Aliado a isso, um plano para o manuseio da água de lastro, desenvolvido conjuntamente com o plano de carga do navio, ajudaria o comandante a ajustar as necessidades de carregamento e descarga do lastro nestas localidades garantindo a segurança no navio.

O NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996) sugere que os comandantes das embarcações façam algumas análises da condição do local onde estão operando antes de executar a operação de lastro, para três condições: antes e durante a partida, em rota e chegando ao porto de destino. Os autores sugerem uma série de medidas que podem ser utilizadas pelos navios durante as viagens, conforme mostrado a seguir.

#### 1) *Antes e durante a partida*

Como uma primeira linha de defesa para controlar a introdução de espécies aquáticas não nativas através da água de lastro, o comandante da embarcação deve considerar não carregar a água se a embarcação é capaz de funcionar com segurança e eficácia sem ela. Localidades e períodos em que a água de lastro provavelmente contém tais organismos incluem:

- “Pontos de risco” globais; onde se sabe que organismos alvo estão presentes na coluna d’água;
- Portos com carregamento elevado de sedimento;
- Áreas de descarga de água de esgoto ou incidência conhecida de doenças;
- Locais conhecidos que, em certas épocas do ano, apresentam variações sazonais nas populações de organismos;

- À noite, quando alguns organismos planctônicos migram para uma posição mais elevada na coluna d'água.

Apesar das preocupações sobre espécies exóticas, é sabido que os navios precisam coletar água de lastro no porto para preservar a segurança; entretanto, não é preciso despejar a água nesta região, basta realizar a troca no oceano. É importante analisar, caso a caso, as condições de operação de cada navio e adotar um procedimento operacional padrão que contemple ambos os objetivos segurança e impacto ambiental.

### 2) *Em rota*

Navios que cruzam grandes áreas em mar aberto têm mais e diferentes opções para o controle da água de lastro, do que os navios que cruzam águas costeiras e litorâneas. Sendo assim, em locais profundos em mar aberto, o procedimento de troca de lastro deve ser conduzido. Tanto o comandante, quanto o armador, deve ter em mente que, se a água de lastro pode ser trocada, torna-se desnecessário o tratamento a bordo.

### 3) *Chegando ao destino*

Uma embarcação pode chegar ao porto pretendendo descarregar o lastro, mas sem executar procedimentos de controle satisfatórios. Deste modo, os comandantes devem cumprir os procedimentos impostos pela IMO. Se tais procedimentos são julgados necessários pelas autoridades competentes locais, devem ser cumpridos para evitar multas e sanções ao navio, ao comandante e ao armador. Além disso, os navios devem conter o plano de gerenciamento da água de lastro com informações precisas do volume de lastro trocado e a posição geográfica em que ocorreu a troca.

Além dos aspectos apresentados é necessário trabalhar na conscientização da tripulação em relação aos problemas associados com a água de lastro. Existem mais de 55.000 navios mercantes no mundo, sendo que uma parcela significativa são navios antigos sem condições de grandes modificações. Deste modo, até o presente momento a forma mais efetiva de controlar o risco de bioinvasão é garantir que os comandantes dos navios realizem a troca da água de lastro.

## **3.4 PROCESSOS FÍSICO, QUÍMICO E BIOLÓGICO DE TRATAMENTO DA ÁGUA**

Estão sendo desenvolvidas muitas técnicas para tratamento da água de lastro a bordo dos navios; algumas se encontram em fase de validação e outras ainda na fase conceitual. As principais tecnologias existentes são: filtração, hidrociclone, aquecimento, choque elétrico, irradiação por raios ultravioleta, aplicação de biocidas e desoxigenação (TSOLAKI e DIAMADOPOULOS, 2010).



Um dos principais fatores a ser considerado na escolha do sistema é o custo de aquisição, bem como de manutenção e operação. Outro aspecto é a heterogeneidade de navios, com diferentes fins, diferentes maquinarias e sistemas elétricos a bordo e idade. Markovina *et al.* (2007) explicam que, por exemplo, navios petroleiros antigos não foram projetados para a instalação de um sistema de tratamento da água de lastro a bordo, devido à escassez de espaço na sala de máquinas, características dos equipamentos empregados na época de construção, além da habilidade e treinamento da tripulação para lidar com as especificidades das tecnologias aplicadas ao tratamento a bordo do navio.

Como as principais resoluções referentes à água de lastro sugeriram a partir dos anos 90, verifica-se que muitos navios que ainda operam não foram projetados contemplando os requisitos instituídos pela IMO e pelas sociedades classificadoras. O primeiro desafio para implementar qualquer alternativa de tratamento a bordo dos navios existentes é monitorar a qualidade da água coletada e, posteriormente, da água tratada e despejada. Para vencer esta barreira na prática fazem-se sondagens no navio para coleta de amostras e determinar o que está presente na água.

A seguir são apresentadas as principais técnicas aplicáveis ao desenvolvimento de sistemas para tratamento da água de lastro a bordo dos navios para realização do Ballast Water Management System (BWMS).

### 3.4.1 Filtração

Através da filtração, dependendo do tamanho da malha, é possível remover zooplâncton (pequenos animais marinhos) e algas do fitoplâncton com tamanhos maiores; contudo, este sistema não pode reduzir a concentração de muitos micro-organismos menores. IMO (2002) explica que este processo é amplamente utilizado para impedir o acesso aos tanques de organismos maiores, que eventualmente, poderá não ocorrer.

Considerando que o fluxo de água que entra e sai dos tanques é muito grande, os sistemas devem ser adaptados para este tipo de operação. Além disso, existe a questão do custo dos filtros, que está diretamente relacionado com a quantidade de espécies removidas. Os sistemas de filtragem exigem a limpeza periódica, que pode ser manual ou automática. Em geral, este sistema apresenta não mais que 70% de eficiência no tratamento quando utilizado isoladamente (DARDEAU *et al.*, 1995).

Por isso, o processo de filtração tem sido amplamente testado em conjunto com outras alternativas de tratamento. Por exemplo, no porto de Hadera na costa de Israel foi instalada uma unidade piloto em 2001 para tratar água de lastro contemplando dois métodos: filtração e radiação ultravioleta (UV)

(GLOBALLAST, 2004). Os autores, porém, não encontraram resultados dos testes realizados nesta estação durante a investigação.

Saho *et al.* (2004) apresentaram o protótipo de um sistema de tratamento usando supercondução magnética em conjunto com a filtração para limpar a água de lastro de navios. O sistema projetado é capaz de tratar 100 m<sup>3</sup> de água por dia. O processo consiste em misturar a água contaminada com imã pulverizado em conjunto com líquido flocoso, agitando a mistura até formar flocos magnéticos. Em seguida, a água é filtrada e a lama residual é armazenada. A conclusão da investigação é que 90% das partículas presentes na água de lastro são retiradas em apenas 5 minutos; contudo novos testes estão sendo conduzidos para avaliar a real eficácia.

### 3.4.2 Radiação Ultravioleta

A fonte primária de radiação ultravioleta (UV) é o sol, mas também pode ser emitida através de lâmpadas incandescentes e fluorescentes. O processo de tratamento consiste na irradiação de luz ultravioleta na água do mar captada pelo navio. A luz UV induz mudanças fotoquímicas nos organismos que irão quebrar as ligações químicas no DNA. Isto acarreta problemas na sobrevivência dos organismos, ou seja, ocorrem mutações nocivas levando-os à morte (MESBAHI, 2004).

São instalados nos navios tubos de Teflon e lâmpadas ultravioletas são fixadas externamente a estes tubos. As lâmpadas emitem radiação em todas as direções e somente parte desta atinge o fluído que elimina os micro-organismos. Cabe frisar que, em função da radiação não ser unidirecional, ocorre perda de energia, além do próprio tubo absorver uma parcela da radiação reduzindo a eficiência do processo (OLIVEIRA, 2003). Outra questão importante é que quanto maior o diâmetro do tubo, maior o número e a intensidade das lâmpadas para eliminar os micro-organismos presentes na água. Salienta-se que este processo não tem o mesmo resultado para organismos maiores, por isso, em geral, busca-se combiná-lo com a filtração. Outro ponto importante é que sua eficiência se reduz com o aumento da turbidez da água (MESBAHI, 2004).

Este sistema é amplamente utilizado em aplicações de desinfecção. Lâmpadas de baixa pressão de mercúrio têm sido usadas como fonte para radiação de UV. Mesbashi (2004) utilizou este sistema a bordo de dois navios nos EUA e concluiu que a sensibilidade dos micro-organismos ao UV depende do comprimento da onda produzida. Outro problema que afeta o tratamento é a presença de sólidos suspensos, pois reduz a eficiência da irradiação ultravioleta. Assim, a redução máxima de organismos alcançada na água de lastro destes navios foi de 78%. Para minimizar este problema busca-se sempre que possível combinar UV com filtração para reduzir a turbidez.

Wright (2004) apresentou os resultados de um estudo de campo realizado no Porto de Baltimore, em que foi utilizado sistema de luzes UV, como uma das alternativas de tratamento da água de lastro. A taxa de mortalidade de fitoplânctons foi de 95%, devido à presença de organismos resistentes. Neste contexto, Oliveira (2003) explica que muitos organismos são resistentes à radiação ultravioleta, tais como bactérias, vírus, fungos, esporos e cistos. Isto se deve ao fato, por exemplo, dos cistos possuírem uma cápsula resistente, que serve de proteção contra agentes químicos ou físicos. No caso de vírus e bactérias, estes precisam de doses elevadas de radiação para sua inativação. Foi observado que alguns protozoários tratados com doses subletais de radiação UV conseguem reparar os danos causados no seu DNA e não são eliminados com o método (MESBAHI, 2004).

A diferença de eficácia na aplicação da radiação UV nos casos apresentados pode ter ocorrido, principalmente, pela qualidade da água coletada na realização dos testes. Este tipo de tratamento é muito sensível em relação aos elementos presentes na água durante a aplicação de radiação UV na água. Por outro lado, a radiação UV pode trazer problemas ao navio como a corrosão de metais, revestimentos e vedação no casco (MESBAHI, 2004). Deste modo, deve ser mais bem investigado os efeitos adversos que ele pode causar à estrutura do navio.

### 3.4.3 Ozônio

O ozônio  $O_3$  é um gás alotrópico do oxigênio. É um biocida usado no tratamento de água potável e em indústrias, não formando subprodutos tóxicos em água doce. O ozônio é certamente um poderoso agente, que rapidamente destrói vírus e bactérias, incluindo esporos, quando usado como desinfetante nos tratamentos de água convencional (BROWN e CALDWELL, 2007). O ozônio é produzido através de um gerador que consiste, basicamente, em um tubo (dielétrico), no qual passa o oxigênio, e no qual uma descarga elétrica constante (efeito carona), gerada através de um transformador nele existente, transforma a molécula de oxigênio ( $O_2$ ) em uma molécula de ozônio ( $O_3$ ) (CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2002).

Assim, o ozônio é mesclado na água. O efeito biológico depende da concentração e do período de exposição. Longos tempos de contato com ozônio garantem uma alta taxa de mortalidade (KAZUMI, 2007). Em sistemas industriais o ozônio é inserido na água através de borbulhamento, o que confere maior eficiência ao processo (MESBAHI, 2004). Oliveira (2003) apresenta algumas vantagens e desvantagens deste método.

#### Vantagens:

- É mais efetivo que o cloro na destruição de vírus e bactérias;
- Utiliza curto tempo de contato;
- Não há matéria residual que necessite ser removida, pois o ozônio se decompõe rapidamente por ser instável.

#### Desvantagens:

- Baixas doses podem não inativar efetivamente alguns micro-organismos;
- É muito mais complexo que a utilização do cloro ou ultravioleta, requerendo equipamento sofisticado;
- É muito reativo e corrosivo, requerendo material resistente;
- É extremamente irritante e possivelmente tóxico.

Com uma aplicação de  $O_3$  no tratamento de água de lastro obteve-se aproximadamente 89% de eliminação do fitoplâncton presente na água. Além disso, o sistema reduziu o nível de clorofila presente na água. O  $O_3$  causa uma significativa redução no Redox (indicador oxidação-redução) e, como consequência, produz a corrosão do metal, revestimentos e na vedação (MESBAHI, 2004).

#### 3.4.4 Biocidas

Os biocidas são utilizados para tratamento da água de abastecimento e podem ser eficientes no tratamento de micro-organismos. O biocida mais conhecido é o cloro, empregado no tratamento de água e esgoto. A eficiência do cloro está relacionada com o pH neutro. Em geral, costuma-se neutralizar a água antes da aplicação do cloro. Como a água do mar apresenta pH alcalino, ou seja, em torno de 8, este é um dos principais problemas da utilização do cloro como tratamento. Em contato com o cloro, a água do mar produz trihalometanos (THM). Este composto, gerado a partir da mistura do cloro com os organismos presentes na água de lastro, é classificado como cancerígeno (SILVA e FERNANDES, 2004).

O uso de biocidas pode causar câncer e desenvolver problemas reprodutivos nos animais (BALLAST WATER BIOCIDES INVESTIGATION PANEL, 2002). Além disso, o uso destas substâncias coloca em risco a tripulação que manuseia estes compostos.

Contudo, dependendo da situação, o cloro pode ser uma alternativa, principalmente em casos de acidentes com navio, quando ocorrer vazamento ou liberação de água de lastro de locais de alto risco. Waite *et al.* (1999) apresentam o caso de um acidente que aconteceu com o navio petroleiro M/T Igloo Moon próximo a Miami em 1996. A água de lastro do navio precisava ser retirada

para manter a fluutuabilidade do navio. Contudo o lastro tinha sido captado em uma região de alto risco e o local em que o navio estava fundeado era de corais sensíveis. A solução encontrada foi tratar a água de lastro com cloro antes de lançá-la no local.

Silva e Fernandes (2004) realizaram um experimento com cloro a bordo do navio graneleiro Frotargetina, em junho de 2000, no Porto do Forno em Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, em quatro tanques de lastro do navio. Os resultados indicaram uma redução de 70% da quantidade de fitoplâncton presente na água de lastro do navio.

Zhang *et al.* (2004) conduziram testes na China com amostras de água de lastro de vários locais e concluíram que a taxa de mortalidade de fitoplâncton foi da ordem de 80%, em aproximadamente 120 horas de contato da água com o produto, numa concentração de 1,55 mg/L. Os autores indicam que, ao invés de usar cloro, deve ser utilizado neste processo o dióxido de cloro, que não produz trihalometanos, sabor ou odores desagradáveis e ainda pode ser usado em qualquer pH.

### 3.4.5 Desoxigenação

Este processo consiste, basicamente, em inserir gás inerte via orifícios em tubulações que estão distribuídas no fundo dos tanques de lastro dos navios. O gás inerte padrão gerado nos navios é composto de 84% de nitrogênio, de 12-14% de CO<sub>2</sub> e 2% de oxigênio. Assim, este gás é inserido na água de lastro e o resultado é a falta de oxigênio na água, devido ao alto nível de CO<sub>2</sub> e à redução do pH de 8 para 6, o que leva a morte dos organismos presentes na água de lastro (HUSAIN *et al.*, 2004).

A privação do oxigênio (ou a desoxigenação) é tóxica para peixes, larvas de invertebrados e bactérias aeróbias, mas é ineficaz contra as bactérias anaeróbicas e os estágios de cisto e esporo, incluindo cistos dos dinoflagelados (algas). Assim, a desoxigenação é somente uma solução parcial para matar uma escala de espécies aquáticas encontradas na água de lastro.

HUSAIN *et al.* (2004) concluíram que a utilização de gás inerte neste processo pode matar 95% das espécies de fitoplâncton, zooplâncton, microalgas e invertebrados na água de lastro. O sistema de tratamento pode ser realizado com o navio atracado no píer ou totalmente automatizado enquanto o navio estiver navegando.

É necessária a instalação de múltiplos sensores dentro do tanque para monitorar o nível de pH e oxigênio. Mesbahi (2004) estimou que o custo de instalação deste sistema em um navio tanque, com 300.000 DWT e oito tanques de lastro, seria na ordem de US\$ 3 milhões.

### 3.4.6 Eletricidade

Várias técnicas estão sendo desenvolvidas para aplicação de energia elétrica na água de lastro. A porcentagem de esterilização da água aumenta conforme a intensidade da “corrente elétrica” (SILVA e FERNANDES, 2004). Leffler *et al.*, (2004) explicam que o processo de eletro-ionização da água de lastro aumenta a mortalidade de organismos acima de 95%. Os autores instalaram um protótipo em um navio e realizaram o teste. Constatou-se que houve uma redução de 95% do total de bactérias presentes na água. No caso dos protistas (algas e protozoários) a eficiência foi de 90%.

Dang *et al.* (2004) conduziram testes de eletrólise na água de lastro. Os autores identificaram em laboratórios vários tipos de espécies presentes na água de lastro. Em seguida, iniciaram o tratamento aplicando corrente elétrica na água. O resultado indicou que foi possível eliminar quatro tipos de algas diferentes, com uma concentração inicial de cloro de 4 ppm. A mortalidade total do fitoplâncton foi de 72% e das bactérias 99%.

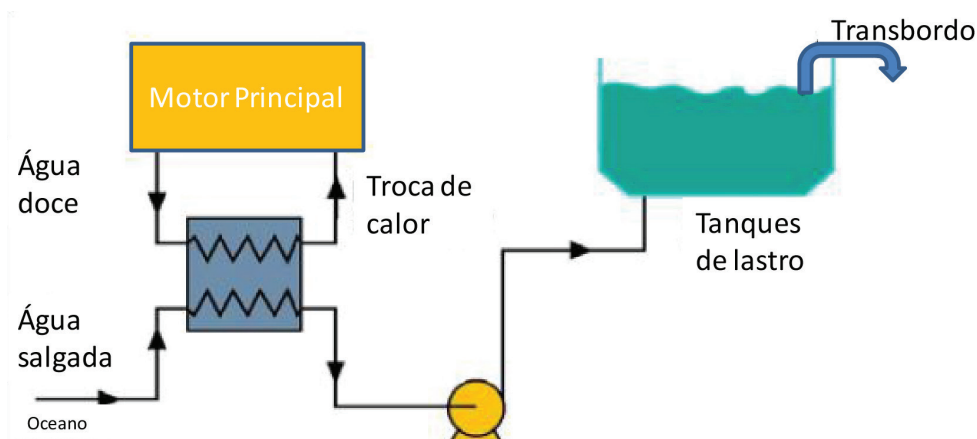
Outra opção que se encontra em fase inicial de estudo consiste em transferir pulsos elétricos através de eletrodos para a água de lastro, que eletrocuta os micro-organismos. Estima-se que o custo para instalação do sistema é da ordem de US\$ 350.000, além de um custo de US\$150 por hora de operação. Contudo, como se encontra em fase de estudo, os custos associados a esta tecnologia podem sofrer alterações (FACT SHEET 14, 2005).

A tecnologia de pulso de campo elétrico está sendo investigada como um meio de impedir a bioincrustação na entrada dos encanamentos de água em navios e em sistemas na costa. A água circula entre dois eletrodos de metal e é sujeita a um pulso elétrico com duração na ordem de um microssegundo, com 15 KV até 45 KV aplicados aos eletrodos (TSOLAKI e DIAMADOPOULOS, 2010).

Mesbahi (2004) explica que a mortalidade de espécies de zooplâncton em todos os testes conduzidos com esta técnica nos EUA foi da ordem de 40%. Além disso, alcançou-se um nível de redução de 71% de clorofila. Não houve incremento de corrosão no revestimento e vedação do casco.

### 3.4.7 Térmico

O tratamento térmico tem sido exaustivamente testado, mas não há certeza da temperatura ideal para eliminar todos os micro-organismos, contudo, sugere-se que a eliminação ocorra a partir de 40° C (TSOLAKI e DIAMADOPOULOS, 2010). Este procedimento está esquematizado na Figura 22. Basicamente, todas as alternativas térmicas buscam captar o calor gerado pelas máquinas do navio para aquecer a água de lastro (RIGBY, 1994).



**Figura 22** Sistema de tratamento térmico

Fonte: Pereira e Brinati (2008) adaptado de Rigby (1994)

Este sistema foi originalmente proposto por Rigby (1994) que recomenda utilizar o calor gerado pelas máquinas principais e pelo sistema de refrigeração de água do navio. Existe em um navio muito calor disponível para aquecer uma grande quantidade de água. Encanamentos adicionais seriam necessários para bombear a água do lastro através dos trocadores de calor existentes. Estão em progresso investigações relacionadas com a temperatura do tratamento e o tempo necessário, para matar ou deixar inativos determinados organismos (TAYLOR, 1995).

Rigby (1994) estimou que para aquecer 50.000 t de água de lastro do navio Iron Whyalla de 30°C para 45°C, durante a operação de lastro e deslastro seria necessário que o navio tivesse uma potência instalada de 70 MW, sendo que a potência das máquinas instalada no navio era de 13,7 MW. O tempo necessário para tratar este volume de água é de aproximadamente cinco dias. Além disso, para garantir a eficiência do sistema, a água de lastro aquecida deve ficar retida por algumas horas nos tanques antes de ser descartada. Radan e Lovriac (2000) explicam que para o tratamento ser eficaz a água deve ficar no mínimo por cerca de 7 horas, a uma temperatura variando entre 40°C e 45°C dentro do tanque de lastro. Contudo, o grande problema é manter a temperatura da água uniforme por longo tempo no mar.

Há de se considerar que a eficiência térmica dos motores varia amplamente de navio para navio e depende também da forma de utilização. Existem outros fatores que devem ser analisados para implantar este tipo de tratamento, como a temperatura da água do mar, capacidade das bombas de água de lastro, arranjo das redes e requisitos operacionais. Consequentemente, a natureza e a viabilidade do uso deste sistema para o tratamento da água de lastro requerem uma análise detalhada dos requisitos específicos de cada navio.

Neste contexto, Radan e Lovriac (2000) sugerem que um sistema de ciclo fechado para aquecimento da água lastro pode obter maior eficiência térmica, ao invés do sistema apresentado por RIGBY (2004). Através de um sistema de trocadores de calor, interconectado a uma rede de tubulações entre os tanques, poderia ser fornecida água quente para todos os tanques ligados com o sistema de refrigeração do navio.

Outra questão refere-se ao espaço adicional necessário na praça de máquinas para instalar o sistema. Zhou & Lagogiannis (2003) calcularam o espaço adicional necessário para instalar um sistema de aquecimento no navio M/T Seaprincess, com cinco trocadores de calor. O espaço necessário para instalação seria de 12,07 m<sup>2</sup>. Além disso, devem-se considerar espaços para tubulação, válvulas, sistemas de monitoração dentre outros que não foram computados pelos autores. O custo de um sistema desses é da ordem de £ 210.500 ou aproximadamente US\$ 842.000<sup>6</sup>, além dos custos de conversão da maquinaria e instalação. Por outro lado, estima-se que seja necessário aproximadamente uma hora de preparação “setup” até que o sistema de aquecimento esteja pronto para começar a aquecer a água nos tanques de lastro. Mountfort *et al.*, (2003) estimaram que o tempo necessário para aquecer a água em temperatura ambiente, aproximadamente 25 °C, contida nos tanques de lastro, para uma temperatura de 30°C seja de 80 horas.

Algumas considerações importantes são feitas em relação a este método de tratamento pelo (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996):

- **Tempo da viagem:** algumas viagens serão demasiadamente curtas para permitir o aquecimento da água à temperatura solicitada ou para mantê-la nesta temperatura no período exigido. Neste contexto, Rigby (1994) explica que este método pode ser bastante utilizado em navios porta contêineres e de passageiros, pois em geral carregam pequenas quantidades de água de lastro, em relação a navios graneleiros;
- **Volume de água de lastro que o tratamento exige:** há uma quantidade limitada de energia disponível das fontes de troca de calor. Assim, há restrições ligadas ao volume de água de lastro que pode ser tratado. Nestes casos, Rigby (2004) e Stocks *et al.* (2004) não descartam a necessidade de uma fonte adicional de calor com uma caldeira dedicada a esta operação;
- **Temperatura da água ambiente:** a demanda de energia para o aquecimento pode ser reduzida significativamente quando a temperatura da água está em níveis tropicais ou de verão (30°C ou mais).
- Cabe salientar que este tipo de tratamento pode ser inviável para navios que operem em regiões geladas, devido à grande perda de calor e o pro-

---

<sup>6</sup> Valores estimados em junho de 2008.



blema de estresse que pode ser causado na estrutura do navio, em função das grandes variações térmicas entre o navio e o mar.

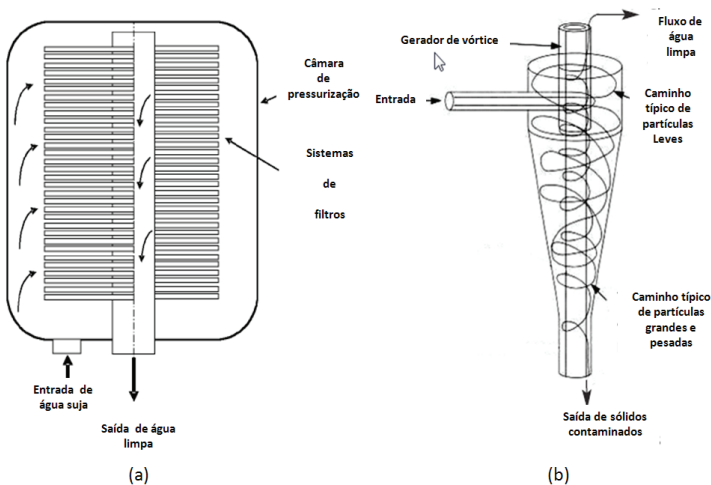
Contudo, o tratamento térmico da água do lastro é potencialmente atrativo: (1) a perda de calor pelo motor do navio é uma possível fonte de energia para aquecer a água do lastro, e (2) nenhum produto secundário ou resíduo químico é descarregado.

Embora o tratamento térmico não envolva a descarga de produtos secundários químicos e resíduos, a liberação de água aquecida dos tanques de lastro pode ser de preocupação ambiental. Além disso, talvez seja necessário filtrar organismos mortos depois do tratamento. Este sistema também pode ser implementado em estações de tratamento onshore, em que as fontes de calor podem ser caldeiras industriais.

### 3.4.8 Hidrociclones

O tratamento com hidrociclones é um sistema que está sendo proposto, em conjunto com a filtração, para separação dos micro-organismos da água através da geração de pequenos ciclones, que têm por objetivo separar os elementos mais pesados do que a água (KAZUMI, 2007, LLOYD'S REGISTER, 2007).

O funcionamento deste sistema consiste no direcionamento do fluxo captado pela tomada d'água para o centro do equipamento, que é uma região cônica, até seu local de saída do lado oposto da entrada. Através de um vórtice criado no centro do equipamento, os sólidos contidos no fluido são removidos através de pequeno tubo de descarga localizado no fundo do separador. Para assegurar que a pressão no fundo seja suficiente para separar os sólidos suspensos na água, existe uma válvula que regula a pressão durante a utilização do equipamento (DOBROSKI *et al.*, 2007). Este sistema está esquematizado na Figura 23.



**Figura 23** Típico Separador por Hidrociclone

Fonte: Lloyd's Register (2007)

Algumas considerações importantes sobre este método segundo Lloyd's Register (2007):

- O hidrociclone pode ser instalado verticalmente, quando possível com a entrada na posição superior. Pode também ser instalado inclinado se houver limitações de espaço, mas a eficiência pode ser menor quando posto na horizontal;
- É recomendada a utilização de filtros com 3/8" de diâmetro na tomada d'água para remover grandes organismos presentes na água;
- Este sistema pode ser instalado sozinho no navio, ou em pequenos grupos em paralelo, que pode ser acionado em função do volume e do tanque que receberá a água de lastro.
- Röpell e Mann (2003) conduziram testes utilizando-se de um sistema misto com hidrociclones e filtração. Os testes foram realizados em unidades em terra nos seguintes locais: mar Báltico, Porto de Hamburgo e no Rio Elba. Os testes foram realizados durante quatro semanas e foram coletadas amostras de água de lastro de navios que operavam nestas regiões. Os resultados indicaram que a eficiência do sistema foi 80% para organismos <100 µm e de 97% para >100 µm.

### 3.4.9 Ultrassom

Este método consiste, basicamente, da emissão de ondas sonoras na água com objetivo de eliminar os organismos presentes na água de lastro (TSOLAKI e DIAMADOPOULOS, 2010). De acordo com NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996), o ultrassom, em frequências e escalas de potência apropriadas, destrói micro-organismos nos líquidos por meio de esforços mecânicos localizados, resultantes da cavitação. Sistemas de tratamento ultrassônicos usam transdutores para gerar compressões e rarefações alternadas no líquido a ser tratado. A cavitação resultante é influenciada pela frequência, densidade da potência, tempo de exposição, e pelas propriedades físicas e químicas do líquido. As melhores frequências para destruição dos micro-organismos situam-se na escala mais baixa de frequências ultrassônicas, de 15 a 100 quilohertz. A aplicação do tratamento de ultrassom em grandes volumes de líquido apresentou resultados variados.

A eficácia do tratamento diminui com o aumento da distância do transdutor, pois a densidade de energia no líquido diminui. A eficácia do tratamento ultrassônico aumenta com o tempo de exposição e pode também ser influenciada pelos efeitos de ressonância devido à geometria do recipiente (SASSI *et al.*, 2005).

## 3.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO APROVADOS PELA IMO

Atualmente, existem alguns fabricantes que já obtiveram todas as certificações e foram aprovados pela IMO a fornecer sistemas de tratamento para serem

instalados a bordo dos navios. Grande parte destes sistemas utiliza as técnicas apresentadas anteriormente, sendo que muitos deles fazem uso misto de técnicas para aumentar a eficiência do tratamento. Os principais sistemas e fabricantes são:

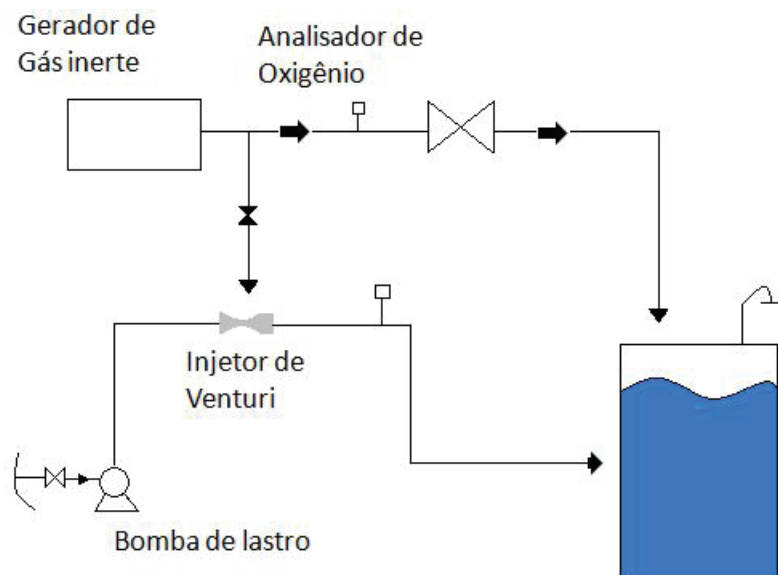
Venturi Oxygen Stripping®, NEI Treatment systems, LLC;

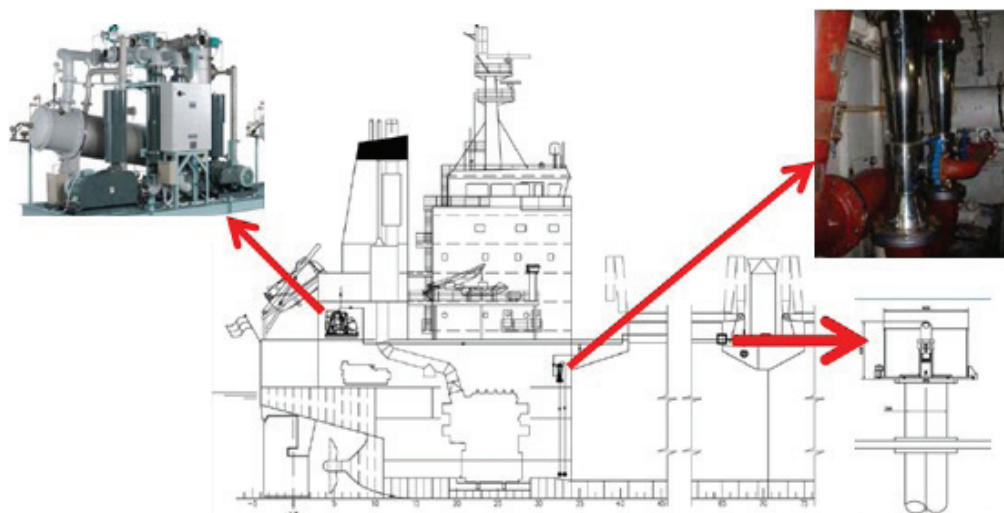
- SEDNA®, Hamann AG;
- PureBallast, Alfa Laval AB;
- Hyde Guardian™, Hyde Marine (Lamor Group);
- Ecochlor, Ecochlor Inc.

A seguir serão apresentadas, sucintamente, as características de cada um destes sistemas.

### 3.5.1 Venturi Oxygen Stripping®

O sistema Venturi Oxygen Stripping® – VOS foi desenvolvido e patenteado pela NEI Treatment Systems, LLC. Este é um sistema em linha que mistura gás inerte (nitrogênio com pequenas quantidades de dióxido de carbono e oxigênio) diretamente na água de lastro. O gás é misturado com a água de lastro usando um injetor tipo Venturi que cria microbolhas onde o oxigênio dissolvido é rapidamente misturado no ponto de entrada do gás (Figura 24). Por causa da adição de dióxido de carbono na solução formam-se ácidos carbônicos e carboxílico, assim o pH da água é tratado e reduzido para ficar entre 5,5 e 6 (TAMBURRI e HUBREGTS, 2005).





**Figura 24** Sistema Venturi Oxygen Stripping®

Fonte: Adaptado de Tamburri e Hubregts (2005) e Schnack *et al.* (2009)

Os elementos que compõem este sistema são: gerador de gás, injetores Venturi, sopradores de gás, sistema de refrigeração das bombas de água, válvulas e disjuntores. Este sistema foi homologado pela IMO em 2008.

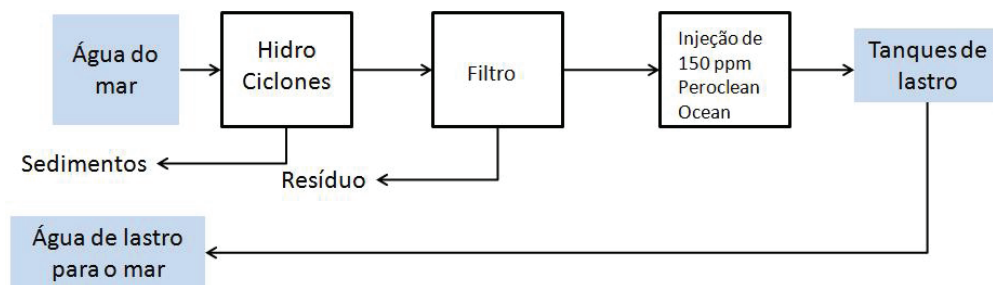
### 3.5.2 SEDNA®, Hamann AG

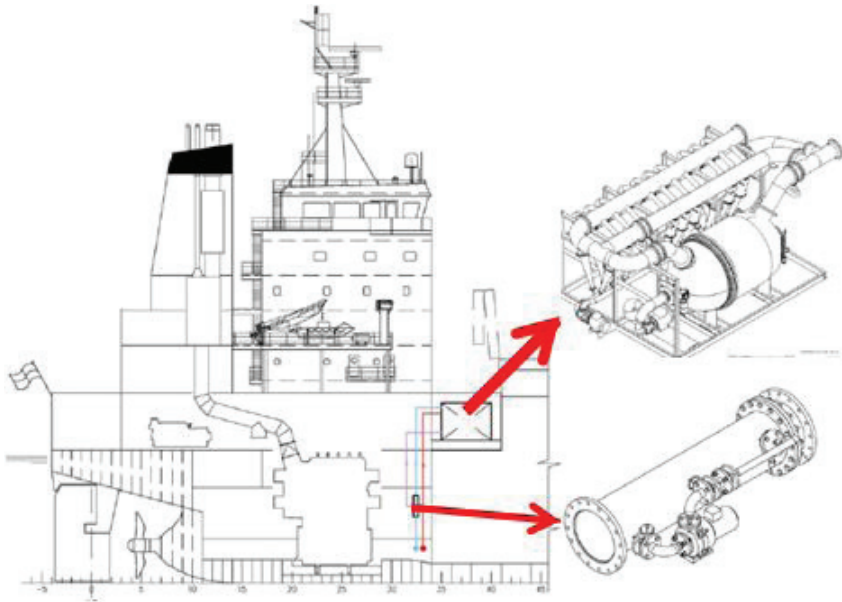
O sistema SEDNA® foi desenvolvido e patenteado pela Hamann AG. O tratamento da água de lastro através deste sistema consiste de três etapas:

1. Primeiro a água de lastro é captada e passa por um conjunto de hidrociclones;

2. Na sequência a água é filtrada através de um conjunto de filtros e;

Por fim é injetado ácido peróxido na água, conforme mostrado na Figura 25.





**Figura 25** Sistema SEDNA®

Fonte: Adaptado de Schnack *et al.* (2009)

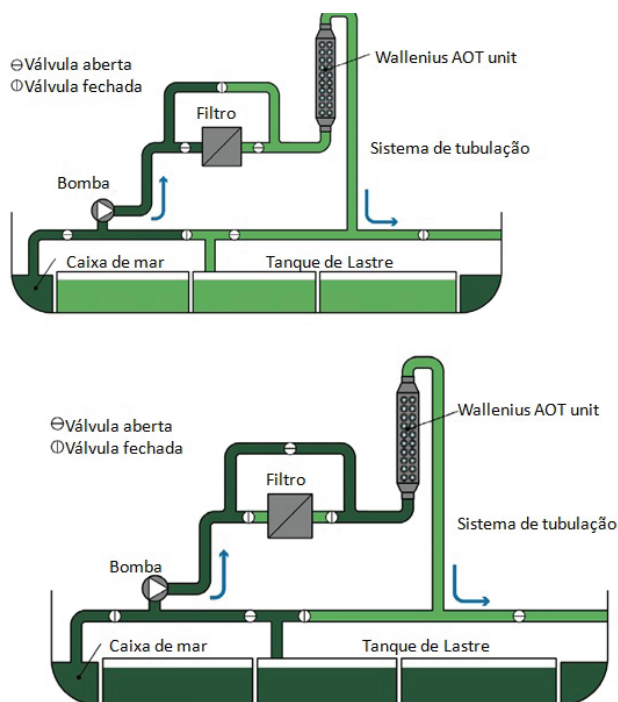
Os elementos que compõem este sistema são:

1. Dois estágios de filtração, hidrociclone, injetor químico, ácido peróxido;
2. Filtros, tanques para substâncias ativas, seção de mistura e painel de controle. Este sistema foi homologado pela IMO em 2008.

**B-PureBallast, Alfa Laval AB;**

O sistema PureBallast® foi desenvolvido e patenteado pela Alfa Laval AB. Este sistema foi concebido para operar no lastro e no deslastro do navio. Durante o lastro, a água passa por um filtro de 50 microns para remover quaisquer partículas maiores e organismos. A água segue até a unidade de *Advanced Oxidation Technology* – *AOT Wallenius*, que se utiliza de um sistema de radiação UV para produzir radicais livres que quebram os organismos que passaram pelo filtro. Quando a água é despejada para fora dos navios passa novamente pela Wallenius unidade AOT, neutralizando a água novamente, conforme mostrado na Figura 26.

Os elementos que compõem este sistema são: filtros, sistema de radiação UV com câmaras de reator com catalisador (dióxido de titânio), painéis de energia para reatores, unidade de limpeza para as lâmpadas, medidor de vazão e painel de controle. Este sistema foi homologado pela IMO em 2007.



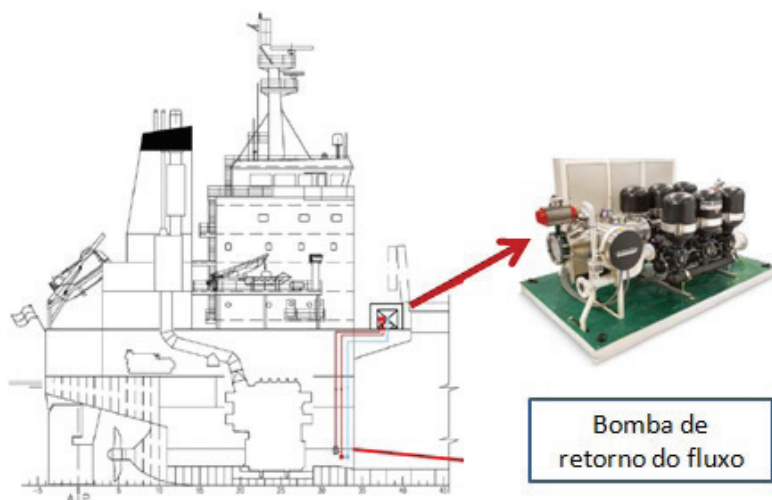
**Figura 26** Sistema PureBallast®

Fonte: Adaptado de [www.alfalaval.com](http://www.alfalaval.com)

### 3.5.3 Hyde Guardian™, Hyde Marine (Lamor Group)

O sistema Hyde Guardian™ ® foi desenvolvido e patenteado pela Hyde Marine (Lamor Group). Este sistema foi desenvolvido para operar no lastro e no deslastro do navio. Durante o lastro, a água passa por um filtro de 50 microns para remover quaisquer partículas maiores e organismos. A água segue até a unidade que gera radiação UV. O sistema UV utiliza lâmpadas de média pressão orientadas perpendicularmente ao fluxo da água para aumentar a eficiência do tratamento e reduzir o tamanho do sistema. A forma de operação do sistema é análoga ao sistema anterior, pois na operação de deslastro a água passa pelo sistema UV novamente. A Figura 27 mostra o sistema instalado a bordo do navio Mercury (HYDE GUARDIAN™, 2010).

Os elementos que compõem este sistema são: filtros, sistema de radiação UV, painéis de energia para reatores, unidade de limpeza para as lâmpadas, medidor de vazão e painel de controle energia. Este sistema foi homologado pela IMO em 2008.



**Figura 27** Sistema Hyde Guardian™ instalado a bordo do navio Mercury

Fonte: Adaptado de [www.hydemarine.com](http://www.hydemarine.com)

#### 3.5.4 Ecochlor, Ecochlor Inc.

O sistema Ecochlor® foi desenvolvido e patenteado pela Ecochlor, Inc. Este sistema foi desenvolvido para operar durante a operação de lastro do navio, em que a água segue até a unidade de filtração. A água, depois de filtrada, é direcionada para um sistema de injeção de dióxido de cloro. Após a aplicação do gás a água segue para o tanque de lastro. Uma das características do dióxido de cloro é a rápida dissipação, sendo ambientalmente aceitável. A Figura 28 ilustra o sistema de tratamento.



**Figura 28** Sistema Ecochlor

Fonte: [www.ecochlor.com](http://www.ecochlor.com)

### 3.6 COMPARAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS HOMOLOGADOS

Os elementos que compõem este sistema são: filtros, medidor de fluxo ultrassônico, unidade de armazenamento de químicos e unidade de mistura, bomba e painel de controle. Este sistema foi homologado pela IMO em 2008. Schnack *et al.* (2009) pesquisaram o custo de aquisição e operação de cada um dos sistemas apresentados homologados pela IMO para um navio graneleiro da classe Panamax, cujas características, bem como os custos operacionais estão na Tabela 2.

**Tabela 2** Características do navio Panamax

COMPRIENTO (M)	180
Boca (m)	30
Calado carregado (m)	14
Calado leve (m)	10
DWT (t)	35.000
Volume de Carga (m <sup>3</sup> )	46.800
Velocidade (nós)	14
Quantidade de bombas de lastro	2
Capacidade da bomba de lastro (m <sup>3</sup> /h)	800
Capacidade leve de lastro (m <sup>3</sup> )	12.900
Capacidade total de lastro (m <sup>3</sup> )	23.000
Estimativa de viagens por ano	9 viagens condição de lastro leve e 1 condição total de lastro
Estimativa de custo de combustível anual	US\$2.300.000
Estimativa de custo de combustível anual das máquinas auxiliares utilizadas nas operações de troca de água de lastro	US\$300.000

Fonte: Adaptado de Schnack *et al.* (2009)

No custo de aquisição foi incorporado o valor da instalação do equipamento, incluindo para cada sistema os recursos necessários para este fim, como por exemplo, tubulação, cabos elétricos e estrutura de aço para reforços e fixação, conforme mostrado na Tabela 3.



**Tabela 3** Custo de capital para cada alternativa de tratamento homologada pela IMO para um navio Panamax

DESCRIÇÃO	NEI VOS NEI TREATMENT SYSTEMS	SEDNA HAMANN AG	PUREBALLAST ALFA LAVAL AB	GUARDIAN HYDE MARINE	ECOCHLOR ECOCHLOR INC.
Aquisição (US\$)	640.000	1.670.000	1.180.000	1.240.000	680.000
Instalação (US\$)	130.000	270.000	60.000	140.000	40.000
Total (US\$)	770.000	1.940.000	1.240.000	1.380.000	720.000

Fonte: Adaptado de Schnack *et al.* (2009)

O custo de operação considera o custo adicional de consumo de combustível, em função de maior utilização do sistema Diesel Gerador durante as operações de lastro, bem como outros elementos necessários para operação do sistema, como aquisição de químicos e etc.

**Tabela 4** Custo anual adicional de operação do sistema

DESCRIÇÃO	NEI VOS NEI TREATMENT SYSTEMS	SEDNA HAMANN AG	PUREBALLAST ALFA LAVAL AB	GUARDIAN HYDE MARINE	ECOCHLOR ECOCHLOR INC.
Adicional de combustível (US\$)	15.000	4.000	6.000	2.000	1.000
Serviço (US\$)	10.000	35.000	16.000	3.000	17.000
Total (US\$)	25.000	39.000	22.000	5.000	18.000

Fonte: Adaptado de Schnack *et al.* (2009)

Por fim, foi realizada uma avaliação do volume adicional de emissões de cada sistema, conforme mostrado na Tabela 5.

**Tabela 5** Emissões adicionais geradas pelo navio em função de cada um dos sistemas de tratamento

DESCRIÇÃO	NEI VOS NEI TREATMENT SYSTEMS	SEDNA HAMANN AG	PUREBALLAST ALFA LAVAL AB	GUARDIAN HYDE MARINE	ECOCHLOR ECOCHLOR INC.
CO <sub>2</sub> (toneladas)	115	29	47	18	8
Substâncias ativas (toneladas)	-	21	-	-	6

Fonte: Adaptado de Schnack *et al.* (2009)

A seleção de cada sistema de tratamento fica condicionada às características do navio tais como: espaço disponível para instalação, custo de aquisição, instalação, operação e manutenção (que não foram considerados neste estudo), além dos requisitos adicionais necessários para o funcionamento do sistema, como potência requerida dos Diesel-Geradores, capacidade das bombas de lastro, que impõem a seleção do tipo de tratamento em função da sua vazão, bem como as emissões oriundas de cada sistema.

Além disso, existe a rota que o navio irá operar que poderá priorizar um sistema em detrimento de outro, em função dos requisitos de eficiência exigidos por cada país. Por exemplo, nos Estados Unidos, os estados de Nova Iorque e Wisconsin anunciaram que a partir de 2012 e 2013 irão impor requisitos 100 e 1000 vezes mais restritos daqueles estabelecidos pela IMO em 2004 respectivamente, para permitir o despejo de água de lastro em seu território (NALBONE, 2009 e NEW YORK STATE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION, 2009). Deste modo, os sistemas de tratamento a bordo dos navios deverão atender esses critérios. Logo, o armador deverá selecionar o sistema que atenda esses parâmetros, caso eles existam.

É importante salientar que as condições em que estes sistemas apresentados foram testados considerando o mar e rotas conhecidas pelos fabricantes, ou seja, foi selecionado um navio, instalado o sistema e monitorada a eficácia do tratamento por seis meses (prazo estipulado pela IMO para testes a bordo). Considerando que neste período o navio fez três ou quatro viagens de longo curso é muito difícil afirmar que o sistema é capaz de eliminar todas as espécies patogênicas e exóticas que existem ao redor do mundo, pelo fato do navio ter visitado uma pequena porção dos portos existentes.

Outro ponto importante são os custos apresentados que se referem aos de um navio de pequeno porte. Certamente para navios maiores como Capesize ou

VLCC, os custos de aquisição, operação, manutenção, bem como as emissões serão maiores.

Por outro lado, uma vez que o navio seja dotado de um sistema de tratamento a bordo já oferece uma melhor condição de controle e monitoramento da qualidade da água de lastro despejada no porto de destino.

### **3.7 DISCUSSÃO**

Todos os métodos de tratamento físico, químico e biológico apresentados não garantem 100% de eficiência no tratamento, ou seja, nenhum deles consegue erradicar totalmente da água de lastro as espécies exóticas ou patogênicas, o que mostra que o problema ainda não está resolvido para a comunidade marítima internacional.

Todos apresentam vantagens e desvantagens no que tange à sua utilização. Alguns são facilmente implementados como os biocidas, em que não exigiria alto grau de treinamento da tripulação, embora existam os riscos de contato durante o manuseio e ao meio ambiente. Entretanto, o problema gerado pelos resíduos da combinação água de lastro versus biocidas, por exemplo, o cloro, apresenta sérios riscos ao meio ambiente, sendo muito difícil que as autoridades sanitárias internacionais permitam que o navio despeje a água de lastro com essa mistura. Tudo indica que dificilmente esse método será utilizado em larga escala a bordo dos navios.

A desoxigenação apresenta-se como uma boa alternativa a bordo dos navios, sendo que grande parte dos navios petroleiros utilizam-se de gás inerte, contudo, o custo para este tipo de equipamento apresentou-se relativamente alto.

O uso de aquecimento da água de lastro tem como mérito não precisar de um tratamento primário como filtração e a certeza da esterilização da água. Contudo, deve-se considerar que é muito difícil aquecer 10.000 m<sup>3</sup> de água de 20° para 40° e manter esta temperatura uniforme por longo tempo. Além do que seu uso pode trazer sérios problemas ao meio ambiente se não houver um controle efetivo da temperatura de descarga da água de lastro tratada. Isso porque a descarga de água em alta temperatura pode ocasionar a morte dos organismos nativos ou que vivem no local da descarga.

Outros métodos como UV e elétricos ainda precisam de testes efetivos para comprovar sua eficácia. Por outro lado, não se tem ainda indicativos dos efeitos nocivos que os raios UV podem causar ao meio ambiente quando a água de lastro é despejada. Além disso, deve-se mensurar os riscos da instalação destes equipamentos, bem como os riscos que a tripulação estará sujeita em caso de acidentes com o navio. Equipamentos baseados em UV geralmente utilizam lâmpadas de mercúrio, material que é tóxico. O descarte das lâmpadas é uma questão importante, pois elas são altamente tóxicas e dependem de um procedimento de descarte seguro. Cabe ressaltar que uma falha deste sistema pode comprometer toda a

operação de lastro a bordo de um navio. Discussões neste sentido ocorreram durante o ICBWM-2008 com os fabricantes destas tecnologias, que não souberam informar qual a durabilidade e o período de troca das lâmpadas utilizadas neste processo, alegando que ainda estão em testes a bordo dos navios. Não identificamos dados públicos a respeito do descarte destes equipamentos.

Verificou-se ao longo do trabalho que na maioria dos casos, o método de filtração tem que ser utilizado para conferir maior eficiência ao método principal. Os filtros grosseiros são incorporados rotineiramente na maquinaria a bordo do navio para impedir a entrada de grandes objetos nos sistemas. Entretanto, quando a abertura das telas é reduzida para remover os organismos pequenos, tais como aqueles na escala de 10  $\mu\text{m}$ , pode ocorrer a rápida obstrução e incrustação. Os filtros têm a desvantagem de ser uma simples técnica de separação de camadas, uma vez que o material é depositado na tela, o fluxo de água através da rede declina rapidamente.<sup>7</sup>

Por outro lado, cabe salientar que todos os tratamentos a bordo do navio requerem suprimento de energia e, como resultado, podem aumentar o consumo de combustível e podem gerar maior impacto ambiental associado com as emissões de gases e resíduos do processo de tratamento (lâmpadas UV, sedimentos retidos nos filtros, filtros entupidos, bem como micro-organismos e até mesmo peixes e outros animais marinhos mortos). Deste modo, deve-se recorrer aos tratamentos que utilizam a menor quantidade de energia possível. Assim, os tratamentos com calor residual ou desoxigenação podem ser uma boa alternativa. Os fabricantes dos sistemas de tratamento foram questionados durante o ICBWM -2008 sobre os impactos das suas tecnologias em relação ao aumento no consumo de combustível e energia do navio, mas não informaram com clareza qual o impacto que suas tecnologias podem causar, dizendo apenas que estes impactos estão sendo mensurados. Durante os eventos mais recentes 2016 e 2017 em que participamos não conseguimos obter respostas mais precisas para tais questionamentos.

Outra consideração importante é que, em grande parte dos métodos apresentados, é necessário fazer adaptações na maquinaria existente do navio. Considerando que a frota existente tenha que se adaptar e utilizar um sistema de tratamento de água de lastro a bordo, certamente será necessária a instalação de tubulações adicionais, bombas, sistemas elétricos o que poderá aumentar os níveis de manutenção dos navios e seus custos associados.

Além disso, há de se considerar também que estes sistemas podem falhar enquanto o navio estiver em alto mar. Nestes casos, será necessário conduzir o navio até a terra e utilizar-se de algum método operacional como a troca oceânica. Deste modo, mesmo com um sistema dotado de tratamento a bordo, o navio deverá ter procedimentos operacionais para o controle da água de lastro. Um estudo

---

<sup>7</sup> Esta foi uma das principais razões para o fechamento da estação de testes em Cingapura.

recente realizado por Bakalar (2016) mostrou os problemas relacionados com BWMS instalados a bordo de navios em operação. Em um dos casos reportados, o autor mencionou o problema relacionado com entupimento dos filtros para aplicação de UV de um navio que atracou num porto brasileiro. O sistema não conseguiu operar devido o problema nos filtros. Neste caso, o capitão fez um bypass no BWMS e não tratou a água de lastro.

A eficácia de tratar a água do lastro com um biocida químico poderia ser avaliada medindo a quantidade de biocida (residual) na água, ao invés do nível de organismos. Do ponto de vista ambiental, um biocida desejável na água de lastro seria um que se degrada rapidamente em produtos secundários não tóxicos e que não gere uma ameaça química ao ambiente receptor.

Outra técnica que pode ser aplicada é o monitoramento da turbidez após a filtração. A turbidez indica se há partículas na água, algumas delas podendo ser organismos vivos. A baixa turbidez indicaria a falta de populações biológicas densas. Uma turbidez elevada poderia indicar concentrações de plâncton e de sedimento suspenso, sendo possível detectar falhas no processo de tratamento, principalmente quando se aplica UV. Já no caso do tratamento térmico deve-se analisar a temperatura da água residual e o nível dos organismos resultantes do processo. Cabe salientar que essas análises são quantitativas, ou seja, é necessário coletar amostras e analisá-las em laboratório.

Em resumo, todos os métodos apresentam riscos potenciais, o que demanda treinamento e instalação de padrões de segurança. Assim, julga-se importante que os oficiais e os tripulantes dos navios estejam aptos a monitorar a água do lastro. Por exemplo, muitos tripulantes já estão familiarizados com a operação e a manutenção dos sistemas de filtração para a coleta de água refrigerada, que são similares aos sistemas que seriam utilizados para tratar a água de lastro. Cabe salientar que nem todas as tecnologias propostas apresentam o mesmo grau de exigência e treinamento, devendo-se analisar caso a caso.

Bakalar (2016) reportou que as tripulações dos navios tiveram dificuldades para operar os BWMS a bordo dos navios, principalmente aqueles que usavam eletrólises e oxidante.

No ICBWM-2008 durante a apresentação de um fabricante de sistemas de tratamento de água de lastro baseado na tecnologia UV e filtração, o Prof. Mesbahi da Universidade de New Castle questionou o fabricante a respeito da confiabilidade e garantia que o sistema proposto poderia fornecer aos armadores. O fabricante respondeu que não poderia garantir com segurança total que seu sistema estava isento de falhas, mas se caso isso acontecesse ele poderia contar com o apoio dos três escritórios espalhados pelo mundo, sendo nos EUA, Alemanha e Singapura. Contudo, fica uma questão, caso um navio esteja carregado e operando, por exemplo, na América do Sul, quanto tempo ele ficará aguardando para

ser reparado? Uma vez declarado que o navio tem um sistema de tratamento a bordo deficiente qual autoridade portuária permitirá o despejo da água de lastro a bordo? Por fim, quem pagará o prejuízo do armador e do dono da carga?

Embora, todos esses pontos sejam apresentados em termos de questionar o uso destes sistemas a bordo dos navios, o ponto principal é que o estudo de Drobroski *et al.* 2014 mostrou que todos os sistemas de água de lastro homologados pela IMO não conseguiriam atender o padrão da Califórnia que é 100 vezes mais restritivos em relação aos padrões IMO D2. Foram analisados 77 sistemas de água de lastro disponíveis para serem instalados a bordo dos navios e nenhum deles foi capaz de atender aos padrões estabelecidos pela Califórnia.

Os padrões estabelecidos pela Califórnia de zero espécies detectadas na água de lastro foram adiados para 2030, devido a dificuldade de atendimento destes padrões pelos fabricantes.

Pior do que isso, outro estudo recente, publicado em 2015 pelo jornal científico *Marine Pollution Bulletin* intitulado “Failure of the Public Health Testing Program for Ballast Water Treatment Systems” mostrou que todos os sistemas de água de lastro projetados para serem instalados a bordo dos navios, nunca foram submetidos a testes semelhantes às condições reais de operação, no que se refere a eliminação de patógenos. Os pesquisadores analisaram os relatórios públicos de mais de 300 testes realizados nestes sistemas e não foram encontradas evidências que os mesmos foram submetidos para eliminar, por exemplo, o *Vibrio cholerae*, *E-coli* e *Enterococci*.

Este fator também influenciou a tomada de decisão sobre o fechamento dos testes realizados pela MERC. Embora ainda existam dúvidas em relação aos métodos de verificação, Cohen *et al.* (2017) revisaram as bases para atendimento das regulações americanas e identificaram que alguns BWMS puderam atingir eliminação de fitoplânctons 1.000 vezes acima do limite e zooplânctons acima de 10 vezes.

Tais aspectos colocam em dúvida a eficiência dos sistemas de tratamento de água de lastro a bordo dos navios e ainda nos faz acreditar que a troca da água de lastro seja uma medida mais assertiva que não deveria ser descartada como solução, obrigando assim, os navios mesmo dotados de sistemas de tratamento a realizar esta prática.

Por fim, isso mostra que a discussão relativa a eficiência dos BWMSs ainda deverá demandar mais estudos e evidências científicas.

### 3.8 REFERÊNCIAS

ARAI, M. *et al.* Numerical Simulation of Sloshing of Water in Ship Tanks During Sequential Ballast Water Exchange in Seaways. Proceedings, OMAE'02, CD-ROM. 2002.

ARAI, M.; MAKIYAMA, H.S. Numerical simulation of bulk carriers' ballast water exchange at sea and assessment of sloshing loads. Proceedings, ISOPE-2004. CD-ROM. 2004.

AUSTRALIAN BALLAST WATER MANAGEMENT REQUIREMENTS – ABWMR. 2008.

BAKALAR, G. Comparisons of interdisciplinary ballast water treatment systems and operational experiences from ships. Springerplus. 2016.

BALLAST WATER BIOCIDES INVESTIGATION PANEL. Ballast Water Biocides Treatment Demonstration Project Using Copper and Sodium Hypodchlorite. Michigan Environmental Science Board. 2002.

BROWN e CALDWELL. Port of Milwaukee Onshore Ballast Water Treatment–Feasibility 6 Study Report. Prepared for the Wisconsin Department of Natural Resources. Brown and 7 Caldwell, Milwaukee, WI. 2007. 114 p.

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – CAPA. Evaluation of Ballast Water Treatment Technology for Control of 14 Nonindigenous Aquatic Organisms. State Water Resources Control Board, Sacramento, CA. 2002. 70 p.

COHEN, A. N.; DOBBS, F. C.; CHAPMAN, P.M. “Revisiting the basis for US ballast water regulations”. *Marine Pollution Bulletin*. 2017.

COHEN, A. N.; DOBBS, F. C. “Failure of the public health testing program for ballast water treatment systems.” *Marine Pollution Bulletin* (2015).

DAMES & MOORE. Phase I Final Report Ballast Water Exchange and Treatment. A Report 29 for the California Association of Port Authorities, Pacific Merchant Shipping Association, 30 Steamship Association of Southern California, and Western States Petroleum Association. 31 Dames and Moore, San Francisco, CA. 1999.

DAMES & MOORE. Phase I Final Report Ballast Water Exchange and Treatment. A Report 29 for the California Association of Port Authorities, Pacific Merchant Shipping Association, 30 Steamship Association of Southern California, and Western States Petroleum Association. 31 Dames and Moore, San Francisco, CA. 1999.

DANG, K. *et al.* Application study of ballast water treatment by electrolyzing seawater. In: Matheickal JT, Raaymakers S (eds), Second International Symposium on Ballast Water Treatment. International Maritime Organisation, London, UK, 2004. 103-110 p.

DARDEAU Jr, E. A., and Tony Bivens. *Zebra mussel control with backwash filtration*. No. CONF-9507190--. American Society of Civil Engineers, New York, NY (United States), 1995.

DOBROSKI, N., *et al.* “Assessment of the efficacy, availability and environmental impacts of ballast water treatment systems for use in California waters. “*Produced for the California State Legislature* (2014).

FACT SHEET 14, Ballast water treatment. 2005.

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

HUSAIN M, FELBECK H, APPLE R, ALTSHULLER D, QUIRMBACH C. 2004. Ballast water treatment by de-oxygenation with elevated CO<sub>2</sub> for a shipboard installa-

tion-a potentially affordable solution. In: Matheickal JT, Raaymakers S(eds), Second International Symposium on Ballast Water Treatment. International Maritime Organisation, London, UK, pp. 48-64.

KAMADA, K. *et al.* Study of ballast water Exchange by pumping-through method. IEEE. 2004.

KAZUMI, J. Ballast Water Treatment Technologies and Their Application for Vessels Entering the Great Lakes via the St. Lawrence Seaway. University of Miami. 2007.

KAZUMI, J. Ballast Water Treatment Technologies and Their Application for Vessels Entering the Great Lakes via the St. Lawrence Seaway. University of Miami. 2007.

KAZUMI, J. Ballast Water Treatment Technologies and Their Application for Vessels Entering the Great Lakes via the St. Lawrence Seaway. University of Miami. 2007.

LEFFLER, C.E.B. *et al.* Ballast Water Processing System utilizing several advanced oxidation concepts and neutralization techniques. International ballast conference Singapore. 2008.

MARKOVINA, R.; BLAGOJEVIC, B.; BAN, D., “Druzhba Adria” Project-managing ballast water problem. 2007.

MAURO, C.A. *et al.* O Método Brasileiro para troca de água de lastro. Boletim técnico da Petrobras 45 (3/4): 2002. 310-329 p.

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 Maritime Organisation, London, UK, 2004. 210-230 p.

MOUNTFORT, D. *et al.* Heat treatment of ship’s ballast water: Development and Application of Model Based on Laboratory Studies. Globallast. 2003.

NAKAMURA, Y. Ship Safety and Marine Environment -Study on Ballast Water Exchange Methods in ClassNK. First International Conference on Ballast Water Management, 2001.

NALBONE, J. Understanding the moving administrative, legislative, and litigation pieces of ballast water regulations. Great Lakes United. 2009. Disponível em [http://www.greatlakeslegislators.org/Portals/0/pdfs/ballast-movingpieces\\_final.pdf](http://www.greatlakeslegislators.org/Portals/0/pdfs/ballast-movingpieces_final.pdf). Acesso em 15/02/2010.

NEW YORK STATE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION. 2009. Disponível em <http://www.mntu.org/4.pdf>. Acesso em 21/02/2010.

NORMAM 20. Norma da Autoridade Marítima para o Gerenciamento da Água de Lastro de Navios – NORMAM-20/DPC. 2005.

OLIVEIRA, E.C.M. Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003.

PEREIRA N.N, PRANGE, G.J., Ship Ballast Tank Sediment Reduction Methods. Naval Engineers Journal. 2013.

RADAN D.; LOVRIC, J. Utilisation of diesel engine waste heat for ship’s ballast water heat treatment. Department of mechanical engineering polytechnic of Dubrovnik, Croatia. 2000.



RIGBY, G.; HALLEGRAEFF, G. The transfer and control of harmful marine organisms in shipping ballast water: behaviour of marine plankton and ballast water exchange trials on the MV "Iron Whyalla". *J. Marine Environ. Eng.* 1, 1994. 91-110 p.

RÖPELL, H.; MANN, T. A new modular concept for the treatment of ships. Hamann project. 2nd International Ballast Water Treatment Proceedings. IMO. 2003.

RUIZ, G.M. *et al.* Status and trends of ballast water management in the United States. First biennial report of the National Ballast Information Clearinghouse: submitted to United States Coast Guard, 2001. Acesso em: 10 de dez. 2010 <[http://invasions.si.edu/NBIC/nbic\\_news.htm](http://invasions.si.edu/NBIC/nbic_news.htm)>.

SAHO, N. *et al.* "Superconducting Magnetic Separator for Ballast Water Treatment." Proceedings of the 2<sup>st</sup> International Ballast Water Treatment R & D Symposium London, UK: International Maritime Organization. 2003. 125-134 p.

SASSI, J., VIITASALO, SATU, J. RYTKONEN, AND E. LEPPAKOSKI. "Experiments with ultraviolet light, ultrasound and ozone technologies for onboard ballast water treatment." (2005).

SHINODA, T. *et al.* Study on Ballast Water Exchange for Prevention of Biological Hazards (Part 2) Hydrological Model Test for Flow-through Method in Pitching Condition. Transactions, The West-Japan Society of Naval Architects, N.107, 2003. 27-35 p.

SILVA, J. S. V. da; FERNANDES, F. C. Avaliação de sobrevivência de organismos em água de lastro tratada com cloro. In: SILVA, J. S. V. da; SOUZA, R. C. de. (Orgs.). *Água de Lastro e Bioinvasão*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SILVA, J.; SOUZA, R. *Água de Lastro e Bioinvasão*. InterCiência. 2004.

TAMBURRI, M.; HUYPREGTS, I., Potential of Venturi Oxygen Stripping to Stop Ballast Water Invasions in Freshwater Environments. 2005. Disponível em: [http://www.fws.gov/midwest/fisheries/33-Evaluationsofpilot-scaleventurioxygenstrippingtoprevent-ballastwaterinvasions/Huybregts\\_REU\\_05.pdf](http://www.fws.gov/midwest/fisheries/33-Evaluationsofpilot-scaleventurioxygenstrippingtoprevent-ballastwaterinvasions/Huybregts_REU_05.pdf). Acesso em 13/02/2010.

TAYLOR, A. Personal communication to the Committee on Ships' Ballast Operations, Washington, D.C., October 3. 1995.

TSOLAKI, Efi, and Evan Diamadopoulos. "Technologies for ballast water treatment: a review." *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 85.1 (2010): 19-32.

WAITE, T.; MEARN, A.; BENGIO, B.; "Ballast Water Treatment During Emergency Response: The Case of The M/T Igloo Moon," Division of Hazardous Matter Response, NOAA, Seattle, Washington, 1999.

WRIGHT, G. Final Summary Report. April. 2004.

ZHOU, P.; LAGOIANNIS, V. On board treatment of ballast water (Technologies Development and Applications). *Globallast*. 2003.

# 4

## CAPÍTULO

# TRATAMENTO DA ÁGUA DE LASTRO NO PORTO

**NEWTON NARCISO PEREIRA, HERNANI LUIZ BRINATI**

## **4.1 TRATAMENTO EM TERRA**

No capítulo anterior mostramos que os sistemas de tratamento de água de lastro desenvolvidos até agora não seriam capazes de atender aos padrões impostos pela Califórnia. Além disso, vimos que estudos recentes colocam em cheque a validade dos testes realizados para certificar esses sistemas para serem instalados nos navios.

Além disso, não devemos esquecer que estávamos tratando de um mercado bilionário. O custo de um sistema de tratamento de água de lastro a bordo de navios é extremamente elevado. Durante nossa visita ao Japão, visitamos a Mitsui Shipping. Trocamos informações com os engenheiros responsáveis pela instalação dos sistemas de tratamento de água de lastro em navios da empresa. Os valores apresentados para cada sistema de tratamento situavam-se na faixa de 1 a 2 milhões de dólares por navio.

Nós comentamos que se trata de um mercado em torno de 110 bilhões de dólares, se a BWMC for aprovada e entrar em vigor no curto prazo. Basta considerar que existem mais de 65.000 navios mercantes disponíveis para receber um sistema de tratamento de água de lastro a bordo. Deste modo, facilmente,

chegamos ao montante apresentado. Por isso, a existência de mais de 70 sistemas de tratamento de água de lastro em todo mundo.

Isso então pode ter justificado o porquê, da demora para a BWMC entrar em vigor, pois os principais países de bandeira de conveniência não ratificaram a BWMC.

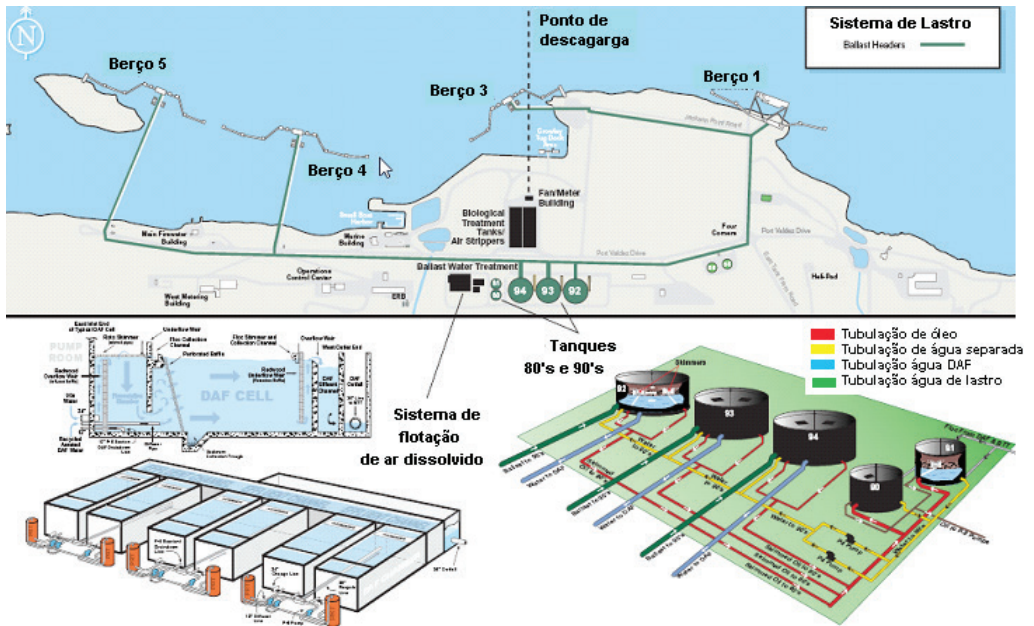
Somado a isso, é natural que essa resistência exista, pois as evidências mostram que o custo para os armadores dos navios é extremamente elevado para aquisição, instalação do sistema a bordo, além do tempo parado para a realização da instalação de qualquer um destes sistemas. Além disso, existe ainda o fato dos mesmos não serem plenamente confiáveis, conforme mostramos anteriormente.

Deste modo, não podemos deixamos deixar de comentar sobre métodos alternativos aos sistemas a bordo dos navios. Neste caso, estamos nos referindo às estações de tratamento de água de lastro em terra.

Este método consiste em transferir a água a bordo dos tanques de lastro do navio para uma unidade de tratamento em terra. Nos Estados Unidos estão sendo desenvolvidos estudos, encomendados pelo governo, para analisar a viabilidade da implantação destas estações de tratamento de água de lastro. Estão sendo examinados os portos de Milwaukee e Baltimore (BROWN e CALDWELL, 2007; GREENMAN *et al.*, 1997) e o terminal de navios de cruzeiro de São Francisco (BLUEWATER NETWORK, 2005). Na Austrália foram realizados estudos em 1993 e 1997, pelo próprio governo, para instalação de uma estação de tratamento em terra no porto de Vitória.

Estes fatos indicam que esta alternativa pode ser uma opção para minimizar o despejo ilegal de água de lastro nas águas brasileiras. Atualmente, todas as alternativas de tratamento de água de lastro devem ser testadas em unidades de terra, ou seja, as tecnologias são testadas em estações em terra, antes de ser instalado a bordo dos navios. Nestas estações é medida a eficácia do tratamento, em que é coletada água dos navios e da própria região portuária para tratamento.

Conforme mencionado anteriormente, existem unidades em terra que têm finalidade de separar o óleo da água de lastro, quando navios utilizam os tanques de carga para transportar água de lastro. Estas estações são uma evidência de que é possível operacionalmente retirar a água de lastro dos navios no porto, sem comprometer sua funcionalidade. Na região do Alasca navios petroleiros, além de usarem água de lastro nos tanques segregados, utilizam também os tanques de carga para lastrear o navio. Em função das restrições ambientais para o despejo de água misturada com óleo, o terminal dispõe de uma estação para receber e tratar esta água. A Figura 29 apresenta o terminal portuário de Valdez no Alasca, que dispõe de uma unidade de recepção e separação de óleo da água de lastro (VALDEZ TERMINAL, 2009).



**Figura 29** Terminal de Valdez – unidade de tratamento em Valdez

Fonte: Valdez Terminal (2009)

A água é transferida dos tanques de lastro para tanques de armazenamento em terra, em que ocorre a separação entre óleo e água por diferença de densidade. A água, então, é bombeada para uma estação de flotação em que são injetadas microbolhas de ar juntamente com um polímero que reage com os resíduos de petróleo, que são absorvidos na espuma formada pelo processo. Finalmente, ocorre o tratamento biológico, com a inserção de micróbios na água, que metabolizam os componentes de petróleo, e removem quaisquer resíduos químicos antes da descarga da água no porto.

As características físicas da estação de tratamento de água de lastro de Valdez são as seguintes (VALDEZ TERMINAL, 2009):

- Três tanques de recebimento de água de lastro com capacidade 70.000 m<sup>3</sup> de água de lastro.
- Um tanque para tratamento biológico com capacidade de 21.000 m<sup>3</sup>.
- Tubulações nos berços de 42 polegadas de diâmetro.
- Capacidade de tratamento mensal 800.000 m<sup>3</sup>.
- Difusor de linha localizado à 80 m de profundidade e a uma distância de 300 m da costa.

O terminal recebe aproximadamente 10 milhões de m<sup>3</sup>/ano de água de lastro misturada com óleo.

Outras estações com mesma finalidade foram instaladas nos portos de Sullom Voe e Scarpa Flow na Escócia. Elas funcionam desde a década de 70 e seguem o mesmo princípio de operação. No Terminal de Flotta Oil, no porto de Scarpa Flow, os navios petroleiros só podem despejar a água dos tanques de carga para os dois tanques de armazenamento com capacidade de 159.000 m<sup>3</sup>. Essas informações estão disponíveis na página web dos terminais.

As características desta estação são:

- Dois tanques de recebimento de água de lastro com capacidade 159.000 m<sup>3</sup> de água de lastro.
- O sistema de bombas de captação de água de lastro com vazão de 4.000 m<sup>3</sup>/h.
- Um tanque para tratamento biológico com capacidade de 21.000 m<sup>3</sup>.
- Tubulações para deslastro nos berços de 16 polegadas de diâmetro.
- O terminal recebe aproximadamente 16 milhões de m<sup>3</sup>/ano de água de lastro.

Estas unidades de recepção de água de lastro foram exigidas de acordo com um anexo da MARPOL 73/78 e devem ser implementadas no Brasil em função das exigências da Lei 9966/00. Estas instalações são operadas com a finalidade de separar o óleo da água de lastro, mas podem ser modificadas para incorporar um tratamento da água de lastro para remoção dos organismos aquáticos não nativos indesejáveis (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996).

As modificações devem contemplar essencialmente outra forma de processamento, pois neste caso, uma vez separada a água do óleo, deve ser aplicado algum tratamento para eliminar as espécies presentes na água. Este tratamento pode ser, por exemplo, aquecimento, radiação UV ou simplesmente filtração antes de descartar a água no oceano. Contudo, até o momento não foram quantificados os custos para tais adaptações.

Existe nos Estados Unidos uma unidade de teste para tratamento de água de lastro na Flórida, denominada como Ballast Water Treatment Test Facility at NRL Key West, em que se dispõe de tanques para coleta da água de lastro, unidades de controle químico e biológico da água, bem como unidade de transferência da água tratada para o descarte no mar (COPPING, 2008). Esta unidade foi

construída em 2007, sendo a primeira unidade para tratamento de água de lastro no mundo, em pequena escala. Foi uma iniciativa da *Great Ships*, com apoio da indústria marítima dos Grandes Lagos, agências federais e outros órgãos governamentais, para inibir a proliferação de espécies exóticas no país. A unidade é composta de quatro tanques, cada um com capacidade de 50.000 galões, ou seja, 189 m<sup>3</sup> cada.

Leffler *et al.* (2008) descrevem uma estação de testes de tecnologias em terra em escala real, instalada nos Estados Unidos. Ela foi fabricada com apoio da *Great Ships Imitative*, próximo à ponte de Duluth, em Minnesota. Esta estação utiliza diversos sistemas de tratamento como radiação, UV, O<sub>3</sub>, biocidas e filtração.

Honda *et al.* (2008) apresentaram o esquema de uma estação em terra utilizada para tratar pequena quantidade de água de lastro durante a fase de teste da tecnologia proposta, baseando-se também no uso de O<sub>3</sub> e filtragem.

Os resultados dos testes conduzidos nesta estação indicaram que o sistema proposto pode ser instalado com segurança a bordo dos navios. Além disso, as análises da qualidade da água indicaram que o tratamento atingiu os padrões estabelecidos pela IMO para aquela região. Após os testes em terra esse sistema foi instalado a bordo de um navio para avaliar sua eficácia, para requerer aprovação pela IMO. Contudo, até o presente momento não foram divulgados os resultados dos testes<sup>1</sup>.

Um estudo realizado pelo Porto de Milwaukee nos Estados Unidos, encomendado pela *Wisconsin Department of Natural Resources* (WDNR) desenvolvido por Brown e Caldwell (2007) apresentou os resultados de uma avaliação técnica comercial para instalação de uma estação de tratamento de água de lastro no porto, conforme mostrado na Tabela 6. Neste estudo foram avaliadas várias alternativas de tratamento existentes, considerando os custos de cada tecnologia. Analisou-se também a viabilidade do emprego de três sistemas de transporte para coletar a água de lastro dos navios: caminhão, trem (*car rail*) e barcaça. Além disso, o estudo computou os custos de todos os equipamentos necessários para implantar o sistema de coleta no porto, bem como a operação do sistema.

---

<sup>1</sup> Até janeiro de 2012 não foram encontrados os resultados destes testes conduzidos com esse tipo de sistema de tratamento de água de lastro.

**Tabela 6** Comparativo das opções de tratamento de água de lastro<sup>2</sup>

ALTERNATIVA	Bombeamento para navio	Transporte	Armazenamento	Filtragem e bombeamento para estação de tratamento	Tratamento	TOTAL
Transporte e armazenagem com barcaça - tratamento UV	\$ 100.000,00	\$ 500.000,00	\$ -	\$ 150.000,00	\$ 560.000,00	\$ 1.310.000,00
Transporte com duto para estação de tratamento com UV	\$ 100.000,00	\$ 2.600.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 150.000,00	\$ 560.000,00	\$ 4.610.000,00
Transporte e armazenagem com barcaça - tratamento Ozonio	\$ 100.000,00	\$ 500.000,00	\$ -	\$ 150.000,00	\$ 800.000,00	\$ 1.550.000,00
Transporte com duto para a estação de tratamento com Ozonio	\$ 100.000,00	\$ 2.600.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 150.000,00	\$ 800.000,00	\$ 4.850.000,00
Transporte e armazenagem com barcaça - tratamento Filtragem	\$ 100.000,00	\$ 500.000,00	\$ -	\$ 150.000,00	\$ 1.000.000,00	\$ 1.750.000,00
Transporte com duto para a estação de tratamento com Filtragem	\$ 100.000,00	\$ 2.600.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 150.000,00	\$ 1.000.000,00	\$ 5.050.000,00
Transporte e armazenagem com barcaça - tratamento Cavitação hidrodinâmica	\$ 100.000,00	\$ 500.000,00	\$ -	\$ 150.000,00	\$ 800.000,00	\$ 1.550.000,00
Transporte com duto para a estação de tratamento com Cavitação hidrodinâmica	\$ 100.000,00	\$ 2.600.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 150.000,00	\$ 800.000,00	\$ 4.850.000,00
Transporte e armazenagem com barcaça - tratamento com Cavitação hidrodinâmica com armazenagem adicional	\$ 100.000,00	\$ 500.000,00	\$ -	\$ 150.000,00	\$ 2.500.000,00	\$ 3.250.000,00
Transporte com duto para a estação de tratamento com Cavitação hidrodinâmica com armazenagem adicional	\$ 100.000,00	\$ 2.600.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 150.000,00	\$ 2.500.000,00	\$ 6.550.000,00

Fonte: Brown e Caldwell (2007)

Segundo os autores, pelo critério de custo, a melhor opção seria fazer o transbordo do lastro para uma barcaça que depois transportaria a água de lastro até a estação de tratamento, que utiliza tratamento ultravioleta. Contudo, uma vez que a barcaça já está sendo utilizada para coletar a água de lastro deveria ter sido avaliada a possibilidade de instalação de um sistema de tratamento na própria barcaça, análise que não foi considerada pelos autores, mas será proposta neste estudo. Esse mesmo estudo foi revisado em 2008, porém esses documentos não se encontram públicos.

O NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996) menciona que as vantagens principais do tratamento em terra são:

<sup>2</sup> Os valores apresentados estão em dólares americanos de 2007.

- As autoridades do porto (ou regionais) poderiam operar e manter as instalações e poderiam monitorá-las rotineiramente para determinar a extensão e a eficácia do tratamento.
- As operações em uma instalação terrestre permitem o melhor controle do tratamento do que sob condições operacionais potencialmente difíceis a bordo do navio.
- O rejeito oriundo do processo de tratamento pode ser disposto de uma maneira ambientalmente aceitável sob o controle de uma autoridade apropriada.
- Unidades em tratamento em terra podem mesclar as alternativas de tratamento para garantir maior eficácia para o processo, da mesma forma que pode ser feito a bordo do navio.

Cohen (1998) apresenta as seguintes vantagens deste sistema:

- A água de lastro pode ser tratada em conjunto com o esgoto em unidade de desinfecção no entorno do porto ou na rede municipal.
- Podem ser aplicados em estações em terra métodos semelhantes à filtração que podem remover muitos estágios de vida resistentes (cistos e esporos), assim como organismos e inorgânicos suspensos no sedimento, além de poder combinar métodos como biocidas, UV que são mais baratos e eficientes.
- Maior segurança da tripulação, pois não existe contato com os agentes tóxicos dos tratamentos a bordo e evita problemas de corrosão e estresse estrutural em função das variações térmicas que alguns métodos podem oferecer.
- Não requer espaço adicional ao navio especialmente na sala de máquinas, nem aumento no consumo de energia do navio, instalações e modificações do projeto original.
- O método pode oferecer uma economia de escala na construção e operação de estações em terra versus o número de equipamentos que precisariam ser instalados nos navios para tratar a mesma quantidade de água de lastro.

Gollasch *et al.* (2007) apresentam as seguintes vantagens:

- Atualmente, os navios petroleiros são exemplos da possibilidade de desenvolver um sistema padronizado nos portos para fazer a transferência da água de lastro. Todo terminal portuário dedicado à operação de navios petroleiros tem seus sistemas de bombeamento padronizado, permitindo assim que qualquer navio realize sua operação de carga e descarga. Desse modo, o mesmo conceito de projeto padronizado de tubulações para retirada de petróleo e derivados pode ser aplicado no desenvolvimento de sistemas coletores de água de lastro dos navios nos portos.



- Unidades em terra podem ser fonte de fornecimento de água tratada para o porto e para os navios que precisam carregar um lastro limpo.

Contudo, os mesmos autores também apresentam as principais desvantagens das instalações do tratamento em terra tais como:

- Necessidades de encanamentos de conexão entre as estações de tratamento e todos os berços; cada navio precisaria ter seu sistema de bombeamento de água de lastro modificado, caso não exista a possibilidade do uso de mangotes para se conectar com os tanques de lastro (AQIS, 1993). Os portos maiores precisariam de múltiplas unidades de recepção.
- Os atrasos no transporte podem ocorrer se a capacidade do lastro dos navios excedesse a capacidade do sistema de tratamento (que inclui os tanques de armazenamento).
- Se os navios são capazes de trocar o lastro no mar, os operadores do navio provavelmente egeriam usar esta opção do que usar as facilidades em costa, assim limitando a viabilidade econômica de tais facilidades.
- Alto custo de aquisição de terra para instalação dos sistemas de armazenamento.
- Pode não ser possível tratar a água de lastro despejada pelo navio durante sua entrada no canal de acesso, para aliviar seu calado, ou acelerar o processo de deslastro, o que pode contribuir para a bioinvasão.
- Apesar destas desvantagens, o tratamento em terra permanece como uma alternativa factível dentro de uma gama de opções atualmente disponíveis para tratar a água de lastro, desde que os critérios para a segurança, aceitabilidade ambiental, operação e rentabilidade, sejam considerados. A seguir serão apresentadas alternativas de tratamento da água de lastro na região portuária.

#### 4.1.1 Estação de tratamento móvel

Uma possibilidade de tratar a água de lastro é através de estações móveis (navios/barcaças). Elas podem tratar a água dos navios que não dispõem de instalações de tratamento a bordo, ou mesmo captar a água de lastro do navio e transportá-la para uma unidade de tratamento costeira, conforme proposto por (HALLEGRAEFF, 1993; CARLTON, 1995; BROWN & CALDWELL, 2007).

Isto exigiria o transporte de grandes quantidades de água de lastro através de grandes portadores de carga (PEREIRA e BRINATI, 2008). Este tipo de transporte – Translastro – pode ser realizado através de barcaças oceânicas ou até mesmo navios petroleiros desativados e adaptados para este tipo de operação. Como é uma exigência mundial que os navios que transportem substâncias tóxicas tenham casco duplo, muitos navios com idade avançada deixaram de fazer

estas viagens e ficaram fora de operação. Deste modo, eles poderiam ser utilizados para realizar este tipo de serviço.

A vantagem deste sistema é que os portos podem ter uma ferramenta de controle, ou seja, estariam implementando barreiras de entrada e oferecendo um serviço aos navios que não podem receber sistemas de tratamento a bordo. Este sistema possibilita que o agente portuário faça um controle dos volumes de água de lastro despejados para cada navio, bem como tenha condições de validar seu tratamento e garantir que na sua área de influência a água de lastro lançada é tratada. Além disso, abre-se a oportunidade para criar um novo serviço portuário, como ocorre com a operação de *bunker*, dragagem entre outras. Cabe salientar que, neste caso, existe a necessidade de uma regulação para deliberar sobre a operação comercial do Translastro.

Em último caso, se o porto não deseja instalar estações em terra, pode coletar a água do navio em unidade móvel sem tratamento e despejar em alto mar para garantir o cumprimento das regras. Obviamente, nestes casos, deve ser realizado um estudo de viabilidade econômica.

Gollasch *et al.* (2007) sugerem que esta opção seja apenas aplicável em circunstâncias especiais, por exemplo, em portos com limitações de berços, semelhantes aos portos de exportação de óleo em que um ou dois navios podem atracar a contrabordo e operar ao mesmo tempo.

Este conceito tem já tem sido desenvolvido pela empresa holandesa Damen Services, conforme mostrado na Figura 30 e Figura 31. Em meados de 2014 chegamos a discutir alternativas para colaborarmos com os holandeses na avaliação da viabilidade deste sistema nos portos brasileiros.



**Figura 30** Protótipo de Barcaça para coleta e tratamento da água de lastro no porto

Fonte: Damen (2017)



**Figura 31** Simulação da barcaça operando a contrabordo de um navio atracado em porto

Cabe frisar que em dezembro de 2017 cerca de 7 portos da Europa já podem se utilizar dos serviços móveis de tratamento de água de lastro oferecidos pela Damen (Figura 32).



**Figura 32** Sistema de tratamento móvel da Damen Invasave instalado sobre uma barcaça que permite mobilidade ao sistema de tratamento instalado dentro de um container<sup>3</sup>

Fonte: Damen (2017)

Os portos dotados do sistema segundo a empresa são Rotterdam, Amsterdam, Brest, Dunkerque, Vlissingen, Den Helder, Stellendam e Harlingen. O sistema de mangueira para conexão entre o navio e a unidade de tratamento é mostrado na (Figura 33).



**Figura 33** Sistemas de mangueiras para conexão entre o navio e a unidade de tratamento em terra

Fonte: Damen (2017)

A mangueira é conectada diretamente com a tubulação do navio para realizar a captura da água de lastro (Figura 34).

Isso mostra que existem outras possibilidades de analisar o problema, bem como, encontrar soluções para operação dos navios nos portos, no que se refere ao controle da água de lastro.

<sup>3</sup> Imagens extraídas do vídeo institucional da Damen.



**Figura 34** Sistema de conexão da mangueira para realização da coleta da água de lastro do navio<sup>4</sup>

Fonte: Damen (2017)

## 4.2 REUSO DA ÁGUA DE LASTRO

Instalar uma unidade de tratamento de água de lastro em terra permite cogitar alternativas para o reuso da água de lastro. Esse é um aspecto muito importante, pois a água de lastro é vista como um problema que precisa ser gerenciado, cujos custos de tratamento podem ser onerosos, tanto para os portos quanto para os armadores. Assim, deve-se buscar encontrar alguma alternativa de reutilização desta água que pode ser descartada no entorno do porto.

Uma primeira alternativa poderia ser armazenar a água e transferi-la para os navios que precisassem de água de lastro para sair do porto na condição de lastro. Contudo, dependendo da característica do porto isso não é possível. Por exemplo, um porto dedicado somente à exportação de grãos recebe os navios sem carga e, geralmente, eles partem totalmente carregados para seu destino. A água de lastro captada desses navios deve ser armazenada, tratada e depois descartada, pois não há possibilidade de ser transferida para tanques de lastro de navios, a não ser que o mesmo porto tenha operação de importação de produtos. Mesmo assim, o volume de água de lastro recebida de grandes navios nem sempre é compatível com o volume requisitado pelos navios de importação. Sendo assim, sempre poderá haver um problema de balanço de massa.

No entanto, pode ser uma alternativa reutilizar esta água para processos industriais, ou até mesmo utilizá-la em processos de dessalinização, em que não existiria nenhuma chance de sobrevivência dos organismos presentes na água de lastro. Por mais que busquemos soluções robustas e complicadas para o problema

---

<sup>4</sup> Imagem extraída do vídeo institucional da Damen.

da água de lastro, nos parece que a solução mais viável nem sempre é a mais cara. Talvez a solução para o problema esteja no reuso da água despejada pelos navios, de modo, que a mesma seja coletada, tratada e depois reutilizada.

### **4.3 DISCUSSÃO**

Existem, portanto, alternativas para tratamento da água de lastro nos portos, ou no seu entorno. Elas não devem ser descartadas quando se examinam as possibilidades de tratamento da água de lastro.

Idealmente, o navio não deveria ser fonte de poluição, nem durante a operação nem na chegada aos portos. Porém, como isso não é possível, deve-se considerar que o tratamento dos resíduos possa ser feito a bordo, mas também nas pontas da viagem.

Existe um grande mercado para os fabricantes de sistemas de tratamento a bordo dos navios, o que está motivando as pesquisas e o desenvolvimento destes equipamentos. Contudo, não existe ainda um sistema de elevada eficiência que garanta ao navio alta segurança operacional e ambiental. Pode ser questionável, então, para os armadores a aquisição de uma série de equipamentos de alto custo que não proteja plenamente o meio ambiente e ainda coloque em risco sua operação, junto aos órgãos fiscalizadores. Dotar todos os navios existentes no mundo com sistemas de tratamento a bordo é praticamente impossível, devido às dificuldades de ordem de projeto, espaço, idade do navio e custos gerais. Então, por que as pesquisas não são focadas nas extremidades, onde essencialmente todos os navios são obrigados a parar para operar, ou seja, nos portos?

Se a engenharia conseguiu resolver problemas complexos para a transferência de petróleo em terminais dedicados a Gás Natural Liquefeito – GNL, bem como as operações de transferência de petróleo em alto mar, não seria mais factível dotar os portos com sistemas de recepção e os navios com sistemas transferência de água de lastro para unidades de tratamento em terra? Considerando que os navios são dotados de bombas para operações de lastro e deslastro, seria necessário, essencialmente, desenvolver um sistema de conexão e mangotes para capturar a água de lastro a bordo nos pontos de drenagem ou diretamente dos tanques. Esse sistema teria, certamente, um custo menor do que um sistema de tratamento a bordo, conforme mostrado na Tabela 6.

Segundo o Lloyd's List Group (2010) existem no mundo cerca de 1.800 berços de atracação. Considerando que existam aproximadamente 80.000 navios mercantes em operação (DONNER, 2010), a relação é de 44 navios/berço. Assim, o investimento em infraestrutura nos berços, para captação da água de lastro, bem como transporte e armazenamento da água quando necessário, será bem menor do que o investimento necessário para dotar 44 navios com sistema de tratamento de água de lastro.

A Brown & Caldwell (2007) mensurou o custo de capital para adquirir e instalar diversos sistemas e alternativas de tratamento de água de lastro no porto de Milwaukee. O sistema projetado tem capacidade de coletar 680 m<sup>3</sup>/h, armazenar 1.890 m<sup>3</sup> e tratar a água de lastro numa vazão de 100 m<sup>3</sup>/h. Considerando um sistema de tratamento a base de ozônio, sistema de dutos para coleta da água e armazenamento, o investimento é da ordem US\$ 4.850.000.

Considerando que um sistema de tratamento a bordo, como o PureBallast, custa US\$ 1.240.000, dotar 44 navios, com o mesmo sistema em condições ideais, ou seja, sem contabilizar custos adicionais para adaptação do navio ao sistema, o custo total é US\$ 54.560.000, ou seja, 11 vezes maior. Deste modo, pode ser questionável o empenho na solução a bordo, considerando a quantidade de recursos que deverão ser despendidos pelas empresas de navegação, além dos riscos que os sistemas atuais podem oferecer à operação do navio. Outra questão importante é que embora os sistemas de tratamento a bordo atendam às exigências da IMO, os estados membros podem fazer outras exigências que os sistemas atuais podem não atender, com correspondentes efeitos sobre a operação dos navios. Certamente, o controle e o monitoramento da eficiência do tratamento são mais fáceis de serem conduzidos em terra do que no mar.

Por outro lado, em relação ao Brasil, cumpre destacar que está tramitando no Congresso Nacional propostas de projetos de lei, que visam atribuir aos portos a responsabilidade de fiscalizar e monitorar a qualidade da água de lastro a bordo de todas as embarcações que atracarem em seus berços.

Como visto nas seções anteriores, para realizar sondagens nos navios é necessário um aparato tecnológico, bem como treinamento para coletar e analisar a água de lastro. De fato, uma medida de controle teoricamente simples, é a medição da salinidade da água de lastro, através de um refratômetro.

No entanto, existe a necessidade de uma infraestrutura de controle e de pessoal especializado que, atualmente, os portos não dispõem. Ou seja, de certo modo, a solução de tratar a água de lastro em terra não pode ser descartada. Além disso, o custo, tempo, mobilização de pessoal especializado para a inspeção da água de lastro, bem como de fazer com que um navio que não cumpriu a troca da água de lastro saia a 200 milhas da costa para fazê-lo seria totalmente dispensável se o tratamento fosse realizado diretamente no porto.

O problema não está somente na identificação da salinidade, mas na necessidade de se realizar análises mais amplas e profundas dos parâmetros de qualidade da água com suspeita de contaminação, pois nestes casos ela deve ser analisada mais específica em laboratório. Por outro lado, se a autorização para o navio atracar depender do resultado da análise laboratorial, o tempo de resposta para o navio tenderá a ser cada vez maior, ou seja, poderão se acentuar os problemas de filas de espera para atracação.

Um exemplo disso, foi a portaria N°18 da Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Maranhão que cria a obrigatoriedade da verificação da qualidade da água de lastro de navios por meio de uma empresa credenciada para sua realização. Esta portaria não deixou claro como o procedimento de coleta e análise dos parâmetros físico, químico e biológico deveriam ser conduzidos. Ademais, não explicitou os indicadores necessários para avaliação, bem como, os critérios aceitáveis foram baseados nos parâmetros da BWMC.

Isso fez com que a Diretoria de Portos e Costas emitisse um parecer contrário à esta portaria, mostrando que o monitoramento da qualidade da água de lastro de navios é uma obrigação da Marinha Brasileira.

Ou seja, isso mostra um pouco da fragilidade jurídica a respeito da temática de monitoramento dos parâmetros de qualidade de água de lastro, bem como, a falha na análise dos impactos que tais medidas podem causar sobre o sistema portuário brasileiro.

Cabe salientar, que a proposta da SEMA no fundo vem de encontro com a proteção do meio ambiente marinho e não é diferente na sua essência do que ocorrem em outros países como a Austrália e Nova Zelândia, onde esse serviço de verificação também é terceirizado. Porém a tarifa cobrada para o armador é pequena e serve para garantir a manutenção do sistema. No caso brasileiro, o que assustou a comunidade marítima local foram os valores sugeridos para realização deste serviço na ordem \$ 10,000, segundo informações que foram veiculadas no mercado.

Medida semelhante também foi internalizada pela Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ), em que pode ter se baseado na portaria da SEMA do Maranhão.

O impacto desta opção de verificação da água de lastro se implementada refletirá em maiores valores de “demurrage” pagos pelos portos, pois os armadores sabendo que vão operar em um porto, cujo tempo de operação pode ser impactado pela espera causada pelas filas e por liberações de ordem ambiental priorizarão outros portos que não tenham tais influências. Outra opção para compensar essas perdas de oportunidade do armador em não colocar o navio para operar em função das esperas no porto é aumentar o valor do demurrage.

Para adoção de medidas de coleta de amostras de todos os navios que atracarem no Brasil, os portos deverão dispor de laboratórios ou contratar esses serviços de empresas especializadas, conforme ocorre na Austrália, ou dotar-se de equipamentos de medição e identificação rápida de espécies, que auxiliam no processo, mas não exige a necessidade de um especialista em taxonomia. Esse tipo de solução poderá ocasionar maior tempo operacional dos navios junto ao porto. O que vai contra ao princípio da IMO que qualquer adoção para o tratamento da água de lastro deve buscar não impactar na operação do navio e do porto.

Além disso, métodos que são inviáveis para implantação a bordo dos navios, como aquecimento e uso de biocidas, por exemplo, poderiam ser instalados em

unidades de tratamento em terra. Pode-se usar gás natural, como fonte primária de energia, para alimentar as caldeiras no caso do aquecimento e dióxido de cloro, que não gera trihalometano, como biocida. Há casos de terminais portuários privados, em que existem no complexo portuário usinas de pelotização, que utilizam o carvão como fonte de energia principal, e descartam uma grande quantidade de calor ao longo do processo de produção.

Essa energia desperdiçada poderia ser recuperada e utilizada no processo de aquecimento da água de lastro. O mesmo processo pode acontecer em terminais que têm usinas siderúrgicas e termoelétricas como, por exemplo, o complexo portuário de Pecém. Nestas localidades onde o porto tem forte interação com empresas é possível que a água de lastro sirva como fonte de suprimento de água para fins industriais.

No caso do Brasil, que tem uma vocação para desenvolver produtos renováveis, poder-se-ia pensar em alternativas de energia limpa para aquecer a água de lastro. A água aquecida depois de tratada, mesmo quente, pode ser despejada no estuário através de um difusor a grande profundidade e longa distância da costa, em que a pluma tende a se dispersar e a água se resfria rapidamente. Além disso, o controle da temperatura de descarte da água poderia ser muito mais eficiente do que um sistema a bordo do navio que, em caso de falha, pode despejar grande quantidade de água quente no mar e prejudicar o meio ambiente onde a embarcação está operando.

Contudo, para que tratamento em terra seja implementado, deve conferir maior flexibilidade do que o tratamento a bordo do navio, além de ser menos custoso para o armador. Não se pode esquecer que, para os portos já construídos, podem existir barreiras a sua implantação no que tange à área disponível para tancagem, adaptações de berços e tubulações. Porém, para projeto de novos terminais portuários, esta pode ser uma alternativa interessante de controle ambiental, que deve estar na pauta de discussão dos órgãos competentes. Para minimizar os problemas relativos a espaço, alguns pesquisadores cogitam em bombear a água de lastro até uma estação de tratamento de esgoto e aplicar o tratamento.

Neste caso, quando se utiliza o método do aquecimento, a água aquecida pode ser transferida para estações de esgoto para ser utilizada no processo de tratamento. Na busca de uma solução para o problema todas as alternativas possíveis devem ser investigadas.

É neste contexto de soluções que as estações de dessalinização apresentam-se como uma boa opção. Ao invés de investimento em tratar a água de lastro no entorno do porto, todo o sistema de recepção pode ser transferido para um local próximo à usina de dessalinização. A usina também não precisa ficar ao lado do porto, pode ficar distante e dispor de um sistema de dutos que transfira a água até o local. Além disso, a água doce gerada pode ser inserida no sistema de abastecimento local e gerar uma economia para as cidades onde elas estão instaladas, bem como pode gerar receita para o operador deste sistema em caso de particular.



#### 4.4 REFERÊNCIAS

BLUEWATER NETWORK. Request for proposals: Study of the Feasibility of Shore-side Treatment of Ballast Water at the new cruise ship terminal at Piers 30-32 in San Francisco. 2005.

BROWN e CALDWELL. Port of Milwaukee Onshore Ballast Water Treatment–Feasibility 6 Study Report. Prepared for the Wisconsin Department of Natural Resources. Brown and 7 Caldwell, Milwaukee, WI. 2007. 114 p.

CARLTON, J.T. *et al.* Transoceanic and inter-oceanic dispersal of coastal marine organisms: The biology of ballast water. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, v.23. 1995.

COHEN, A.N. Ships' Ballast Water and the Introduction of Exotic Organisms into the San Francisco Estuary: Current Problem Status and Management Options. Report for California Bay Delta Authority, Sacramento, CA. San Francisco Estuary Institute, Richmond, CA. 1998.

COPPING, Andrea. Pacific Northwest Ballast Water Test Facility. 2008.

DONNER, P. BALLAST. Water Treatment Ashore Brings More Benefits. Pages 97-105 in: *Emerging Ballast Water Management Systems. Proceedings of the IMO-WMU Research and Development Forum, 26-29 January 2010, Malmö, Sweden.* A GloBallast-Global Industry Alliance and World Maritime University Initiative. Bellefontaine, N., F. Haag, O. Lindén and J. Matheickal (eds.). WMU Publication, Malmö, Sweden. 2010.

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

GREENMAN, D. *et al.* Ballast Water Treatment Systems: A Feasibility Study. United States Coast Guard Office of Response, Worcester Polytechnic Institute. 2100 2nd Street South West, Room 2100, Washington, DC 20593. 1997.

HALLEGRAEFF, G.M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologica* 32. 1993. 79–99 p.

HONDA, K. *et al.* Development of the Special Pipe Hybrid Ballast Water Management System Combined with Ozone treatment version. International ballast conference Singapore. 2008.

LEFFLER, C.E.B. *et al.* Ballast Water Processing System utilizing several advanced oxidation concepts and neutralization techniques. International ballast conference Singapore. 2008.

LLOYD'S LIST GROUP. <http://www.lloydslist.com> 2010.

PEREIRA, N.N.; BRINATI. H.L. Estudo sobre tratamento de água de lastro. 22º Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore – Rio de Janeiro. RJ. Outubro de 2008.

VALDEZ TERMINAL, 2009. <http://www.pwsrca.org/>. Acessado em 20/10/2009.

# 5

## CAPÍTULO

# ASPECTOS INSTITUCIONAIS E REGULATÓRIOS DA ÁGUA DE LASTRO

**NEWTON NARCISO PEREIRA E HERNANI BRINATI**

## **5.1 AÇÕES INTERNACIONAIS**

As ações internacionais para inibição do problema da bioinvasão por meio da água de lastro podem ser divididas em duas frentes. A primeira é a atuação da Organização Marítima Internacional – IMO na regulação e estabelecimento de regras de operação para os navios e portos e as ações dos próprios membros da IMO. A segunda refere-se aos esforços de várias nações para estabelecer regras para controlar o despejo da água de lastro em seu território.

### **5.1.1 Atuação da IMO**

A IMO tem dado importância para as implicações das introduções de espécies exóticas e organismos aquáticos oriundos de água de lastro há três décadas. Em 1973, durante a Conferência Internacional de Poluição Marítima foi aprovada a Resolução 18 de Pesquisa dos Efeitos da Descarga de Água de Lastro contendo Bactérias Epidêmicas, que passou para a IMO, a responsabilidade de elaborar medidas de controle, chamando a atenção mundial para o transporte nos tanques de lastros dos navios de espécies patogênicas em torno do mundo.

EMMANUELA (2007) apresenta um levantamento cronológico dos principais marcos alcançados para implementação de uma legislação internacional dedicada ao tratamento da questão da água de lastro, conforme descrito a seguir.

O primeiro esforço mundial efetivo de controlar a dispersão de espécies alienígenas ocorreu em 1982, com a criação da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar – United Nations Convention on the Law of the Sea – UNCLOS. A parte XII da UNCLOS impunha uma série de obrigações para os países membros, relevantes para o controle de espécies invasoras alienígenas. O Parágrafo 1º do Artigo 196 da UNCLOS prevê que “os Estados deverão tomar todas as medidas necessárias para prevenir, reduzir e controlar a poluição do ambiente marinho resultante do uso de tecnologias sob a sua jurisdição ou controle, ou a introdução intencional ou acidental de espécies, sejam elas exóticas ou novas, em uma determinada parte do ambiente marinho, que possa causar mudanças significativas e prejudiciais ao mesmo”.

Em 1990, o Comitê de Proteção Ambiente Marinho (MEPC) formou um grupo de trabalho para considerar pesquisas, informações e soluções propostas por Estados Membros da IMO e por Organizações Não Governamentais. A conclusão do grupo de trabalho foi à criação de um relatório contendo diretrizes para direcionar o problema da bioinvasão marinha por meio da água de lastro.

Em 1991, foram estabelecidas as primeiras diretrizes não obrigatórias pelo MEPC. As diretrizes indicaram para os administradores e as autoridades do Porto informações e procedimentos para minimizar o risco de introdução de espécies aquáticas indesejadas contidas na água de lastro e no sedimento no fundo dos tanques de lastro.

No início de 1997, antes da revisão das diretrizes, o Comitê de Segurança Marítima – MSC e o MEPC aprovaram diretrizes contendo os aspectos de segurança, sugerindo a troca da água de lastro no oceano. Nestas diretrizes, também foram apontadas as medidas de segurança que seriam necessárias para considerar o problema de baixa pressão nos tanques de lastro, e os requisitos operacionais para navegação em condições ambientais adversas. Em março de 1997, a Assembleia Geral da IMO adotou a Resolução A. 868 (20).

A IMO, em conjunto com a Global Environment Facility e o United Nations Development Programme, desenvolveram, em 2000, o programa Removal of Barriers to the Effective Implementation of Ballast Water Control and Management Measures in Developing Countries, mais conhecido como Global Ballast Water Management Programme ou apenas Globallast. O Globallast teve como objetivo ajudar países em desenvolvimento a lidar com o problema da água de lastro, implementando os procedimentos de controle sugeridos pela IMO (PEREIRA e BRINATI 2008; PEREIRA & CONTI, 2008).

O projeto visava reduzir a transferência de espécies marinhas alienígenas que tinha como vetor a água de lastro dos navios (PEREIRA e BRINATI, 2008). Foram selecionadas seis regiões de países em desenvolvimento: Sepetiba – Brasil, Dalian – China, Bombaim – Índia, Ilha Kharg – Irã, Saldanha – África do Sul e Odessa – Ucrânia. Dentre as várias premissas estabelecidas pelo programa, a principal delas era estabelecer parâmetros para avaliação do risco de água de lastro e um levantamento da biota dos portos.

O programa piloto permitiu que os países participantes recebessem assistência técnica, capacitação e reforço institucional. Os estudos desenvolvidos estão servindo como demonstração das dificuldades e das experiências de sucesso na gestão do problema (IMO, 2003).

A principal contribuição do programa Globallast foi o estabelecimento de uma metodologia para comparação do risco de contaminação entre o porto doador e o receptor. Esta análise é baseada na comparação de dados dos portos, na porcentagem do número de navios que chegam de um mesmo porto, e da porcentagem do volume de água que chega de um determinado porto (HENRIQUE, 2006). Assim, foram determinados os seguintes elementos de comparação:

- C-1 Coeficiente de risco de frequência de Visitas de Inoculação;
- C-2 Coeficiente de Risco de Volume de Inoculação;
- C-3 Coeficiente de Similaridade Ambiental;
- C-4 Coeficiente de Espécies de Risco do Porto Doador.

Além destes coeficientes, dois fatores de redução foram determinados:

- R-1 Fator de correção de risco em função do volume máximo por tanque descarregado;
- R-2 Fator de redução de risco de armazenamento.

Com estes fatores mapeados, pode-se utilizar as formulações disponíveis no relatório da IMO e calcular o coeficiente global de risco, para classificar o grau de risco, segundo a origem da água de lastro. Para determinar estes parâmetros foram padronizados métodos aplicados nos seis países pilotos que participaram do programa.

Deste modo, foi criado um banco de dados reunindo as informações necessárias para determinação dos coeficientes, bem como a utilização de softwares que permitiram apresentar mapas distintos com os dados de cada bioregião (LEAL NETO, 2007). A primeira parte do programa se encerrou em 2003. Maiores informações da aplicação deste procedimento podem ser encontradas no site do Globallast – [Http://globallast.imo.org](http://globallast.imo.org).

Ao término do Globallast, o MEPC consolidou uma proposta final encaminhada para a 49ª Convenção da IMO, em julho de 2003, enviada também para a

conferência diplomática, em fevereiro de 2004, com objetivo de formalizar as diretrizes já aprovadas pelo conselho da IMO. As diretrizes foram finalmente aprovadas em consenso numa conferência diplomática na sede da IMO, em Londres, em 2004, após 14 anos de complexas negociações entre a IMO, países membros, armadores e ONG's dando origem à *Convenção Internacional para Controle e Gerenciamento de Água de Lastro de Navios e Sedimentos – BWMC*.

### 5.1.2 A BWMC

Na conferência realizada em Londres de 2004, que deu origem à BWMC haviam 74 Estados Membros, além de várias organizações não governamentais. A BWMC entrará em vigor 12 meses após a data em que não menos do que 30 Estados membros, cujas frotas mercantes combinadas constituam não menos que 35% da arqueação bruta da frota mercante mundial, tenham assinado a mesma sem reservas quanto a sua ratificação, aceitação ou aprovação.

Inicialmente, oito países sinalizaram ter intenção de ratificar a BWMC em junho 2005, destes, oficialmente, apenas seis assinaram o acordo representando 0.62% da tonelagem mundial, sendo Argentina, Austrália, Finlândia, Maldivas, Holanda, Espanha, Republica Árabe Síria e Brasil. Até outubro de 2009 apenas 18 países ratificaram ou aderiram à BWMC representando aproximadamente 15,36% da arqueação bruta mundial. Em 30 de junho de 2009, a Comissão de Cidadania e Justiça – CCJ do Brasil apresentou parecer favorável para que o Brasil ratifique a BWMC, encaminhando assim o documento para ser votado no congresso (ÁGUA DE LASTRO BRASIL, 2009). Em maio de 2010 o Brasil ratificou a BWMC.

Ao longo dos anos diversos países foram ratificando a BWMC, porém com pouca expressividade em termos de frota marítima. Isso fez com que fosse necessários 12 anos entre a criação da BWMC até sua efetiva regulamentação.

Assim, até setembro de 2017, um total de 63 países ratificaram a BWMC e totalizaram 68,51% da tonelagem bruta mundial que permitiu sua entrada em vigor.

### **Principais requisitos da BWMC**

Dentre os principais requisitos estabelecidos na BWMC, podem-se destacar os seguintes:

- Todo navio deve ter a bordo um plano de gestão de água de lastro. Gestão de Água de Lastro significa processos mecânicos, físicos, químicos e biológicos, sejam individualmente ou em combinação, para remover, tornar inofensiva ou evitar a captação ou descarga de Organismos Aquáticos Nocivos e Agentes Patogênicos encontrados na Água de Lastro e Sedimentos nela contidos. Basicamente, cada navio deverá ter a bordo um

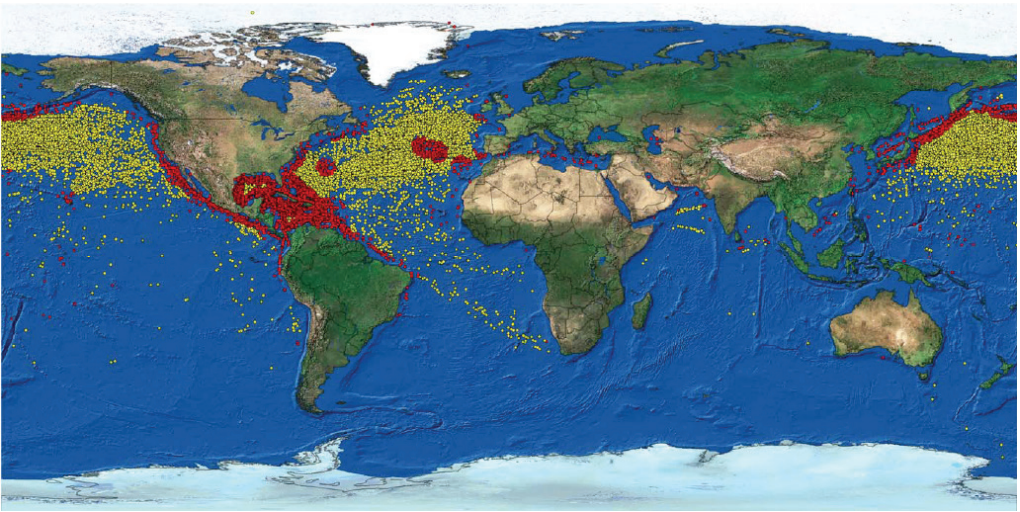
Livro Registro da Água de Lastro que poderá ser um sistema de registro eletrônico ou poderá ser integrado a outro livro ou sistema de registros e que deverá, pelo menos, conter as informações especificadas do local onde captou e despejou a água e o volume dos tanques, bem como a posição geográfica.

- Para o navio construído antes de 2009: com uma capacidade de Água de Lastro entre 1.500 e 5.000 metros cúbicos, inclusive, deverá efetuar a Gestão de Água de Lastro que pelo menos siga a norma descrita na Regra D-1 ou Regra D-2 até 2014, a partir de quando deverá obedecer pelo menos a norma descrita na Regra D-2. A Regra D2 estabelece a eficiência do tratamento da água de lastro em termos de redução de organismos presentes na água.
- Navio com uma capacidade de água de lastro menor que 1.500 ou maior que 5.000 metros cúbicos deverá efetuar a Gestão de Água de Lastro que pelo menos siga a norma descrita na Regra D-1 ou Regra D-2 até 2016.
- Um navio construído em 2009 ou a partir desta data com uma Capacidade de Água de Lastro menor que 5.000 metros cúbicos deverá efetuar a Gestão de Água de Lastro que pelo menos obedeça a norma descrita na Regra D-2.
- Um navio construído entre 2009 e 2012 com uma Capacidade de Água de Lastro de 5.000 metros cúbicos ou mais deverá efetuar a Gestão de Água de Lastro.
- Um navio construído em 2012 ou depois deste ano com uma Capacidade de Água de Lastro de 5000 metros cúbicos ou mais deverá administrar a Gestão de Água de Lastro que pelo menos obedeça à norma descrita na Regra D-2.

O navio deve cumprir a troca da água de lastro considerando:

- Sempre que possível, deve realizar a troca da Água de Lastro a pelo menos 200 milhas náuticas da terra mais próxima e em águas com pelo menos 200 metros de profundidade levando em conta as Diretrizes desenvolvidas pela Organização.
- Nos casos em que o navio não puder realizar troca da Água de Lastro, deve buscar realizá-la o mais distante possível da terra mais próxima, e em todos os casos a pelo menos 50 milhas náuticas da terra mais próxima e em águas com pelo menos 200 metros de profundidade.
- Estes parâmetros foram implementados, pois na região costeira a profundidade é reduzida. Caso o navio despeje a água de lastro dentro das 200 milhas estará aumentado a probabilidade de uma bioinvasão.

A importância da implementação destas regras é impedir que o despejo ocorra dentro das áreas mostradas por Miller *et al.* (2005). Os autores analisaram 53.503 relatórios de água de lastro entregues à Guarda Costeira Americana (USCG) no período de 2004 e 2005, para identificar os pontos de coleta e despejo de água de lastro no país. A Figura 35 mostra o resultado da análise, os pontos amarelos representam os navios que despejam fora das 200 milhas e os pontos vermelhos na área restrita. A conclusão foi que cerca de 18.145 tanques despejaram água de lastro dentro das milhas náuticas.



**Figura 35** Pontos de descarga de água de lastro dos navios que operaram em águas americanas no período de 2004 e 2005

Fonte: Miller *et al.* (2005)

Isso mostra a necessidade da ratificação da BWMC, para que todos os países sigam as diretrizes e programas de monitoramento impedindo que os navios deslastrem fora da área indicada pela BWMC.

Mesmo antes da consolidação da BWMC, muitos países criaram seus próprios mecanismos de controle pautados nas recomendações da IMO, conforme mostrado a seguir.

Ações para controlar as espécies invasoras estão sendo desenvolvidas por nações individualmente sob os auspícios da Organização Marítima Internacional. A seguir apresentam-se as políticas de algumas nações.

#### A.2) Esforços individuais das nações

Embora a IMO, por uma questão de soberania, tenha sido incumbida de tomar as iniciativas de prevenção e controle da bioinvasão por meio da água de lastro, vários países ao longo do tempo desenvolveram suas próprias políticas

para tratar o problema. Obviamente, que tais medidas estão em consonância com o que foi preconizado pela IMO. A seguir são apresentadas as principais iniciativas adotadas por algumas nações.

### A.2.1) Nova Zelândia

Na Nova Zelândia estima-se que sejam lançados cerca de 70 milhões de m<sup>3</sup> de água de lastro por ano (MS MINTON *et al.*, 2005). Em 1989, o governo, em conjunto com a Austrália, criou um grupo de trabalho para desenvolver uma estratégia com vista a minimizar o risco de introdução de espécies exóticas oriundas da água de lastro.

Em 1992, em função das ações da IMO, a Nova Zelândia estabeleceu diretrizes voluntárias para serem adotadas pelos armadores. Em 1993, a autoridade reguladora estabeleceu o *Biosecurity Act*, que compreende uma ação para o controle e prevenção da introdução não intencional de espécies invasoras de qualquer fonte, fornecendo padrões de importação, controlando o movimento do navio e a entrada em quarentena. O sistema de quarentena é mais aplicado para navios que transportem água de áreas com alto risco de contaminação, como por exemplo, a China. Além disso, foi criada uma fundação para pesquisa e disseminação das informações nos mesmos moldes da Agência Americana *National Invasive Species* – NIS (GLOBALLAST, 2003).

Atualmente, a legislação vigente no país é a *Import Health Standard for Ships Ballast Water from All Countries – IHSSBWAC* de 1998. Ela estabelece todos os procedimentos operacionais e legais que os navios estão sujeitos para adentrar nas águas da Nova Zelândia. Antes de um navio chegar ao porto, deve enviar ao *Ministério da Agricultura e Serviço de Quarentena de Silvicultura* uma solicitação de entrada junto com um formulário sobre as condições de lastro. Todos os navios que desejarem despejar água de lastro no país devem preencher e enviar o formulário “*Ballast Water Report Form*” completo, indicando o conteúdo dos tanques de lastros antes da descarga ocorrer. O inspetor responsável examina o documento e envia uma equipe de inspeção a bordo do navio para autorizar seu deslastro. Para que o navio possa deslastar, deve atender um dos três critérios:

1. Demonstrar que água foi trocada na rota ou que os tanques contenham água doce.
2. Demonstrar que a água de lastro foi tratada usando uma unidade de tratamento a bordo aprovada pela IMO.
3. Garantir que a descarga da água será realizada em uma área ou uma unidade de recepção na costa.

Com a entrada em vigor da BWM Convention este país adotou a possibilidade dos navios realizarem a troca oceânica da água de lastro, bem como, a utiliza-



ção de um BWMS a bordo. Deste modo, com as novas regras os países estão se adequando a nova realidade de gerenciar a água de lastro dos navios.

### A.2.2) Estados Unidos

Após a descoberta do mexilhão zebra nos Estados Unidos, em 1986, o país intensificou seus esforços para combater as espécies invasoras. Em 1990, foi adotado o *The Nonindigenous Aquatic Nuisance Prevention and Control Act* (NANPCA), com um conjunto de diretrizes voluntárias para o gerenciamento da água de lastro nos navios que entrassem nos Grandes Lagos vindo das U.S. EEZ (*United State Exclusive Economic Zone*). Estes requisitos tornaram-se obrigatórios em 1993; foi estabelecido que navios que não obedecessem aos requisitos impostos pela USCG pagariam multas que variavam de US\$ 250.000,00 (individual) até US\$ 500.000,00 por dia, podendo ainda cumprir 12 anos de prisão (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA, 2008).

Em 1996, a NIS estabeleceu um Programa de Gerenciamento da Água de Lastro para a USCG. Em função disto foi publicada a Lei Federal 104-332, *Aquatic Nuisance Prevention and Control* 16 U.S.C.A – Chapter 67, sobre a questão do gerenciamento da água de lastro.

Em 1999, a USCG implementou um programa em âmbito nacional, o *National Ballast Survey* (NABS), para mensurar o despejo de água de lastro oriunda dos navios mercantes que chegaram nos portos americanos de outras EEZ.

No ano de 2001, foi proposto no senado americano o *Great Lakes Ecology Act*. Esta foi uma proposta para desenvolver regulamentos mais rígidos para operação de navios nos Grandes Lagos. Além disso, foi criado pela USCG e pelo Departamento de Defesa, um programa especial, em conjunto com a IMO, para implementar novos programas de gerenciamento da água de lastro nos Estados Unidos.

Em 2004, o programa NABS foi estendido para incluir todos os navios comerciais com destino a qualquer porto dos EUA. O NABS foi projetado explicitamente para criar um banco de dados nacional de água de lastro.

Todos os navios com água de lastro nos EUA devem atender os requisitos relativos à descarga de água de lastro. Além disso, todo navio deve treinar pessoas sobre os procedimentos de gerenciamento de água de lastro e sedimentos. Devem atender também os critérios estabelecidos pela IMO, bem como, em alguns casos, só poderão ser autorizadas descargas pelo capitão dos portos da USCG. Os formulários de água de lastro devem ser entregues pelo navio 24 horas antes da chegada a qualquer porto americano.

Existem requisitos que são estabelecidos pelos Estados, tais como Califórnia, Washington, Oregon e Oakland. Ducan (2007) explica que na Califórnia, além dos navios cumprirem os procedimentos estabelecidos pela IMO, tanto para via-

gens de longo curso quanto para cabotagem, eles têm que manter o plano de gerenciamento de água de lastro e pagar uma taxa de verificação no primeiro porto de parada. O mesmo se aplica para os outros estados. No final de 2008, foi aprovada pelo congresso uma lei que permite aos estados legislarem sobre os requisitos necessários para os navios despejarem a água de lastro em sua jurisprudência.

Em Junho de 2009, o comandante juntamente com o imediato filipino e o engenheiro chefe do navio grego M/V Theotokos confessaram ter violado a lei antipoluição americana, pelo fato de terem despejado água de lastro contaminada na costa americana. A infração foi descoberta durante a vistoria da USCG, quando se aproximava de Nova Orleães, em setembro de 2008. Segundo a *ÁGUA DE LASTRO BRASIL* (2009) foram julgados a empresa e a tripulação. O comandante e o imediato foram julgados em outubro de 2009. O restante da tripulação e a empresa foram julgados em dezembro de 2009. A Corte Americana proferiu as seguintes sentenças:

- O comandante do navio foi condenado a dez meses de confinamento, uma multa de US\$ 4.000,00 e uma proibição de três anos de entrar e acessar as águas territoriais americanas, por seu papel na obstrução da justiça, bem como as violações de leis ambientais e de segurança do navio..O chefe do navio de máquinas do Charles P. Posas, em outubro, foi condenado à liberdade condicional e uma proibição de acesso por três anos no país. Charles apresentou uma declaração falsa no livro de registro de água de lastro.
- Em cinco de novembro de 2009, o engenheiro-chefe, Georgios Stamou, foi condenado a pagar uma multa de US\$ 15.000 e um mandato de prisão preventiva, incluindo a proibição de cinco anos de acesso aos EUA, após se declarar culpado de um crime violação da lei de prevenção da poluição por navios e uma violação criminal por fazer uma declaração falsa.
- Aos outros nove ex-membros da tripulação foram concedidos um valor de US\$ 540.000,00 por terem contribuído com a investigação e indicado os culpados pela infração.
- A empresa *Polembros Shipping* gestora do navio foi condenada a pagar uma multa de US\$ 2,7 milhões e um pagamento adicional de US\$ 100.000,00 para *Smithsonian Environmental Research Center*, além de três anos de serviços comunitários. Essa foi a condição para que os seus dirigentes ficassem em liberdade condicional. Além disso, todos os outros navios da empresa ficaram impedidos de operar em águas americanas por três anos.

Entre os anos de 2010 a 2016 as discussões sobre água de lastro neste país tiveram fortes repercussões. Isso devido ao fato do Estado da Califórnia terem

estabelecido critérios mais rigorosos para homologar sistemas de água de lastro em relação a IMO – D2.

Os critérios preconizados pela Califórnia estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7** Indicadores de performance para sistema de água de lastro exigidos pela Califórnia

Organism Size Class	California	IMO Regulation D-2
Organisms greater than 50 $\mu\text{m}$ in minimum dimension	No detectable living organisms	< 10 viable organisms per cubic meter
Organisms 10 – 50 $\mu\text{m}$ in minimum dimension	< 0.01 living organisms per ml	< 10 viable organisms per ml
Living organisms less than 10 $\mu\text{m}$ in minimum dimension	< $10^3$ bacteria/100 ml < $10^4$ viruses/100 ml	
<i>Escherichia coli</i>	< 126 cfu/100 ml	< 250 cfu/100 ml
Intestinal enterococci	< 33 cfu/100 ml	< 100 cfu/100 ml
Toxicogenic <i>Vibrio cholerae</i> (O1 & O139)	< 1cfu/100 ml or < 1cfu/gram wet weight zoological samples	< 1 cfu/100 ml or < 1 cfu/gram wet weight zooplankton samples

Fonte: Dobrosky, N. (2011) – Implementation of California's Performance Standards for the Discharge of Ballast Water

Como podemos observar os critérios exigidos inicialmente propostos são pelo menos 100 vezes mais restritivos para organismos maiores de 50 $\mu\text{m}$  e 1.000 vezes para organismos na faixa de 10-50  $\mu\text{m}$ . Além disso, os indicadores relacionados com a presença de organismos vivos, bem como, bactérias também apresentam-se mais restritivos. No entanto, a partir de 24 de Julho de 2017, o Estado da Califórnia passou a adotar como critério os mesmos estabelecidos pela USCG, conforme apresentado no <http://www.slc.ca.gov/Programs/MISP/USCGTALetterFinal.pdf>.

O procedimento para aprovação dos sistemas pela pode ser encontrado no Legal Information Institute LII ([www.law.cornell.edu](http://www.law.cornell.edu)) – código 162.060-10 Approval procedures.

Segundo CALIFORNIA STATE LANDS COMMISSION (2017) os padrões de desempenho de descarga de água de lastro provisórios da Califórnia estão programados para serem implementados considerando os seguintes marcos:

- Novo navio: em ou após 1 de janeiro de 2020 para navios recentemente construídos.
- Navio existente: a partir da primeira docagem programada a partir de 1º de janeiro de 2020.

Os sistemas que foram aprovados pela USCG estão apresentados a seguir.

**Tabela 8** Sistemas aprovados pela Guarda Costeira até dezembro de 2017

<b>APPROVAL NUMBER</b>	<b>MANUFACTURER</b>	<b>APPROVAL STATUS</b>	<b>ITEM DESCRIPTION</b>
<a href="#">162.060/1/1</a>	<a href="#">Optimarin AS</a>	APPROVED	Optimarin OBS/OBS Ex
<a href="#">162.060/2/2</a>	<a href="#">Alfa Laval Tumba AB</a>	APPROVED	Alfa Laval PureBallast 3 Capacities: 85 – 3000 m <sup>3</sup> /h
<a href="#">162.060/3/3</a>	<a href="#">TeamTec OceanSaver AS</a>	APPROVED	OceanSaver BWTS MKII Capacities: 200-7200 m <sup>3</sup> /h (Models and operational ranges shall be in accordance with the Range Table provided in the OceanSaver Operation, Maintenance, and Safety Manual)
<a href="#">162.060/4/0</a>	<a href="#">Sunrui Marine Environment Engineering Co., Ltd</a>	APPROVED	SUNRUI BalClor Maximum Treatment Rated Capacities: 170/350/600/1200/1700 /2200/2800/3200/3800/4300/5500/6300/7300/8500 m <sup>3</sup> /h
<a href="#">162.060/5/0</a>	<a href="#">Ecochlor, Inc.</a>	APPROVED	Ecochlor BWTS Capacities: 500/1300/3500/6900/12200/16200 m <sup>3</sup> /h
<a href="#">162.060/6/0</a>	<a href="#">ERMA FIRST ESK Engineering Solutions S.A.</a>	APPROVED	ERMA FIRST BWTS FIT Capacities: 90/140/200/300/515/600/800/1200/1250/1600 /2300/2500/3740 m <sup>3</sup> /h

Fonte: <https://cgmix.uscg.mil/Equipment/EquipmentSearch.aspx>

Cabe frisar que existem pelo menos 101 fabricantes apresentaram desde abril de 2013 sistemas de tratamento de água de lastro para serem analisados pela USCG. Isso mostra uma ideia do mercado de tratamento de água de lastro previsto pelos fabricantes internacionais.

### A.2.3) Austrália

A Austrália foi um dos primeiros países a ser signatário da IMO. É um país que tem um ecossistema marinho muito frágil com importantes corais e recifes com espécies raras. Além disso, o país dispõe de uma grande atividade pesqueira. A entrada de espécies invasoras tem comprometido todos os ecossistemas locais, afetando a pesca e a saúde humana. Neste sentido, em 1991, a *Australia's Ballast Water Management Strategy* detalhou um plano para o controle da água de lastro e de incrustações dos cascos.

O país implementou em 1994 um plano nacional para lidar com o problema, incluindo suporte para pesquisa e técnicas de gerenciamento. Em adição, foi criado um Sistema de Suporte a Decisão – DSS – para determinar os navios vindos de áreas de alto risco, assim como identificá-los e inspecioná-los. O *Ballast Water Research Development Levy* foi implantado para dar suporte a estas atividades. A legislação vigente é a *Quarantine Regulations* criada em 2000, uma implementação do *Quarantine Act*, 1908.

O *Quarantine Act*, 1908 define água de lastro como “mercadoria”; deste modo, pessoas não podem remover mercadorias (incluindo água de lastro) de um navio ou instalação quando ele estiver em quarentena. É proibida a descarga sem permissão. Entre 12 e 48 horas antes da chegada de um navio no país, deve ser enviado o formulário de água de lastro para a *Australian Quarantine Inspection Service*, ou seja, um relatório de pré-chegada que detalha todas as questões para indicar se um navio deve ficar ou não em quarentena.

O navio é monitorado através do DSS via internet, Inmarsat-C ou através do agente de navegação que informa o último porto de parada, cinco dias antes da chegada na Austrália. A informação é analisada usando um software que associa o risco biológico, tanque por tanque. Para os navios, então, é dado um *Risk Assessment Number* (RAN) que é inserido nos arquivos do *Quarantine Pré Arrival Report* – QPAR para uso dos inspetores. Este sistema é avaliado pela internet no site (<http://www.aqis.gov.au/shipping>).

Além disso, os formulários devem ser mantidos a bordo do navio por dois anos. O navio pode optar pelos seguintes métodos de gerenciamento da água de lastro:

1. Os três métodos propostos pela IMO (troca oceânica, diluição e sequencial);
2. Análises do DSS que caracteriza os navios com baixo risco;
3. Transferência de tanque para tanque de alto risco para evitar descargas nas águas australianas;
4. Outros tipos de tratamentos poderão ser avaliados caso a caso.

Cabe salientar que é proibido descarregar sedimentos. Nestes casos, eles devem ser descartados em unidade apropriada em terra. Além disso, os navios devem fornecer acesso seguro para inspeções nos tanques de lastro. Os inspetores estão autorizados a conduzir processos específicos de verificação para navios que contenham pestes, enfermidades trazidas na água de lastro. A verificação do livro de registro dura aproximadamente 30 minutos e em casos de violações e entregas de documentos falsos, pode gerar cerca de um ano de prisão, mais multa.

Em julho de 2017, foi realizada uma atualização *Ballast Water Management* (BWM) do país. Neste são apresentados elementos relativos aos BWMS a bordo

dos navios. Todos os navios que tenham estes sistemas a bordo deverão apresentar o Type Approval Certificate (Certificado de aprovação) relativo especificamente ao BWMS. Além disso, foram estabelecidas as datas para a instalação de BWMS a bordo dos navios, conforme a data de entrada em vigor da BWMC.

#### A.2.4) Canadá

O Canadá, em 1998, apresentou o relatório de um estudo para a IMO intitulado “*The Presence and Implication of Foreign Organisms in Ship Ballast Water Discharged in the Great Lakes*” ao MEPC. Como no caso dos Estados Unidos, o Canadá foi fortemente atingido pelo impacto da água de lastro com a introdução de espécies não nativas de mexilhões na Baía de St Lawrence e nos Grandes Lagos.

A *Shipping Federation of Canadá*, uma associação industrial, foi a primeira a encorajar uma ação de troca de água de lastro para prevenir a invasão de espécies exóticas no país em meados de 1988. Em 1989, a *Voluntary Guidelines for Control of Ballast Water Discharges from Ships Proceeding to the St. Lawrence River and Great Lakes* foi criada pela Guarda Costeira Canadense. As diretrizes estabelecidas contemplavam a criação de uma zona de descarga de água de lastro no Canadá, diferentemente do que acontece em outros países. Entretanto, no que diz respeito aos investimentos na questão da água de lastro, o Canadá não apresenta grandes esforços como Estados Unidos e Austrália.

Todos os navios que adentrarem no país devem seguir as normas impostas pela IMO. Em casos de infração, a penalidade é de CND\$ 20.000,00 e em caso de reincidência CND\$ 50.000,00, mais um ano de prisão.

Em dezembro de 2017 também foram realizadas alterações nas regras para despejo de água de lastro no país. Estas modificações consideram a utilização de BWMS a bordo dos navios, como alternativa para gerenciamento. Contudo, mantem-se a possibilidade de troca oceânica da água de lastro, bem como, a manutenção dos registros de ocorrência e a proposição de medidas alternativas em caso de impedimento da operação de deslastro. Maiores informações podem ser obtidas pelo site: <http://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/SOR-2011-237.pdf>.

#### A.2.4) Brasil

No caso do Brasil, antes mesmo do início do programa Globallast, o presidente da república sancionou as leis n. 9605/1998 e n. 9.966/2000, em 1998 e 2000 respectivamente, sendo a primeira conhecida como Lei de Crimes Ambientais e a segunda conhecida como Lei do Óleo. Ambas as leis dispõem sobre as questões ambientais, sendo que Lei n. 9.966/2000 dispõe mais especificamente sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição na-

cional e dá outras providências. Estabelece a Lei: “os princípios básicos a serem obedecidos na movimentação de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em portos organizados, instalações portuárias, plataformas e navios em águas sob jurisdição nacional”.

Além disso, determina que “É proibida a descarga, em águas sob jurisdição nacional, de substâncias nocivas ou perigosas classificadas na categoria “A”, definida no art. 4º desta Lei, inclusive aquelas provisoriamente classificadas como tal, além de água de lastro, resíduos de lavagem de tanques ou outras misturas que contenham tais substâncias.”

A Lei determina também que “Todo porto organizado, instalação portuária e plataforma, bem como suas instalações de apoio, disporá obrigatoriamente de instalações ou meios adequados para o recebimento e tratamento dos diversos tipos de resíduos e para o combate da poluição, observadas as normas e critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente”.

A Lei também esclarece que: “a definição das características das instalações e meios destinados ao recebimento e tratamento de resíduos e ao combate da poluição será feita mediante estudo técnico, que deverá estabelecer, no mínimo:

- I – as dimensões das instalações;
- II – a localização apropriada das instalações;
- III – a capacidade das instalações de recebimento e tratamento dos diversos tipos de resíduos, padrões de qualidade e locais de descarga de seus efluentes;
- IV – os parâmetros e a metodologia de controle operacional;
- V – a quantidade e o tipo de equipamentos, materiais e meios de transporte destinados a atender situações emergenciais de poluição;
- VI – a quantidade e a qualificação do pessoal a ser empregado;
- VII – o cronograma de implantação e o início de operação das instalações”.

No que tange à responsabilidade dos portos e armadores a lei estabelece “as circunstâncias em que a descarga, em águas sob jurisdição nacional, de óleo e substâncias nocivas ou perigosas, ou misturas que os contenham, de água de lastro e de outros resíduos poluentes for autorizada não desobrigam o responsável de reparar os danos causados ao meio ambiente e de indenizar as atividades econômicas e o patrimônio público e privado pelos prejuízos decorrentes dessa descarga”.

Em relação às sanções, “respondem pelas infrações previstas neste artigo, na medida de sua ação ou omissão:

- I – o proprietário do navio, pessoa física ou jurídica, ou quem legalmente o represente;

*II – o armador ou operador do navio, caso este não esteja sendo armado ou operado pelo proprietário;*

*III – o concessionário ou a empresa autorizada a exercer atividades pertinentes à indústria do petróleo;*

*IV – o comandante ou tripulante do navio;*

*V – a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que legalmente represente o porto organizado, a instalação portuária, a plataforma e suas instalações de apoio, o estaleiro, a marina, o clube náutico ou instalação similar;*

*VI – o proprietário da carga.*

*§ 2º O valor da multa de que trata este artigo será fixado no regulamento desta Lei, sendo o mínimo de R\$ 7.000,00 (sete mil reais) e o máximo de R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais)”.*

Embora, existam todos os procedimentos estabelecidos, durante a investigação bibliográfica, seminários, em fontes do governo e contatos com empresas de navegação e gestores portuários, não foram encontrados registros ou relatos de aplicação de multas por despejo de água de lastro no Brasil. Embora as infrações tenham ocorrido conforme apresenta (LEAL NETO, 2007). Cabe salientar, que existe uma discussão sobre a interpretação da lei no tocante a água de lastro, pois a lei sugere que seja a água misturada com óleo, contudo, a Lei n. 9966/00 coloca claramente “água de lastro” sem fazer distinção à água misturada com óleo ou não, então deve ser tratada a água de lastro despejada nos portos.

Neste contexto, para estabelecer os critérios para o gerenciamento da água de lastro, surge a primeira regulamentação nacional para lidar especificamente com a questão da água de lastro, denominada como NORMAM 20, que entrou vigor em 15 de outubro de 2005. A norma estabelece que todos os navios devem realizar a troca oceânica 200 milhas antes de entrar em um porto brasileiro, seguindo os mesmos parâmetros estabelecidos pela BWMC.

No entanto, a NORMAM 20/2005 estabelecia parâmetros diferenciados para a operação na região amazônica: navios oriundos de viagens internacionais devem realizar duas trocas de água de lastro. Isto se deve às características do local, que apresenta trechos com ecossistema bastante frágil, e também porque ocorre nestas regiões, o deságue dos rios no mar, o que pode gerar uma similaridade ambiental, devido à menor salinidade da água nestes trechos.

Assim, para navios que adentrassem o rio Amazonas, a primeira troca deveria ser realizada nos padrões da IMO, a segunda deveria ser realizada em Macapá, em que a água dos tanques devem ser recicladas apenas uma vez. Os navios que entram pelo Rio Pará, devem fazer a troca a 70 milhas da costa, entre Salinópolis e a Ilha do Mosqueiro.



O relatório de água de lastro deveria ser enviado para as autoridades 24 horas antes de o navio chegar ao porto brasileiro. Entretanto, navios de guerra nacionais e estrangeiros, navios supply boat, barcos de pequeno porte e navios com lastro segregado são excluídos desta regulação. No entanto, a revisão da NORMAM 20/2014 retirou a obrigatoriedade da segunda troca da água de lastro, bem como, permitiu que os formulários fossem entregues durante o processo de atracação.

Atualmente, já está sendo aceito certificados relativos aos sistemas de tratamento de água de lastro a bordo que sejam homologados pelos órgãos internacionais. Neste caso, os navios não precisam realizar troca da água de lastro. Com a ratificação da BWM a tendência é que nos próximos anos grande parte dos navios tenham sistemas de tratamento a bordo, sendo realizada a troca da água de lastro somente em condições extremas.

Além das ações do governo, surgem ações isoladas de universidades e organizações não governamentais buscando avaliar os impactos causados pela água de lastro. Como o assunto ainda não tem uma questão fechada, existe sempre a necessidade de estudos e discussões contínuas sobre o assunto.

### **A.3) Competência brasileira**

A responsabilidade legal pelo controle e preservação do meio ambiente aquático é atribuição dos seguintes órgãos: Marinha do Brasil, Ministério dos Transportes, Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Saúde pela Anvisa.

A Marinha do Brasil, como Autoridade Marítima, é uma das instituições brasileiras responsáveis, entre outras, pela prevenção e controle da poluição marinha gerada por navios. Apesar da água de lastro não estar relacionada a casos típicos de poluição, como óleo, lixo, produtos químicos e esgoto urbano, a introdução de espécies exóticas tem sido assunto discutido no âmbito da responsabilidade da Autoridade Marítima. A Marinha do Brasil também está vinculada a três instituições muito envolvidas com esse assunto: a Comissão Coordenadora dos Assuntos da IMO (CCA-IMO), a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), ambas com suas Secretarias estabelecidas na Marinha, e a Representação Permanente do Brasil na IMO (RPBIMO).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) além de responsável, entre outros, pela política nacional do meio ambiente e dos recursos hídricos; pela política de preservação, conservação e utilização sustentável de ecossistemas, e biodiversidade e florestas e pela proposição de estratégias, mecanismos e instrumentos econômicos e sociais para a melhoria da qualidade ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais, tem em sua estrutura o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, responsável pelo controle da poluição em águas marítimas.

O Ministério do Meio Ambiente também exerce a Secretaria-Executiva do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão responsável pelo estabelecimento, privativamente, de normas e padrões nacionais de controle da poluição causada por embarcações, mediante audiência dos Ministérios competentes. O MMA, o IBAMA, o CONAMA fazem parte do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA).

O Ministério da Saúde é responsável por lidar com saúde pública, e, em particular, quarentena e fiscalização sanitária (controle de fronteiras) através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Sob a legislação brasileira, assuntos de saúde não se restringem à saúde humana.

A ANVISA também é um ator extremamente importante na gestão da água de lastro. A IMO permite que cada país tenha sua legislação específica para tratar o problema da água de lastro. Deste modo, ela define o Estado do Porto, ou seja, a entidade legalmente reconhecida que define as normas e formas de controle para os navios que operam nos portos na sua jurisdição.

Nenhuma outra instituição está autorizada a legislar sobre a temática de água de lastro no Brasil.

#### **A.4) Projetos de Lei**

Ao longo dos anos foram criados diversos projetos leis para buscar inibir a contaminação por meio da água de lastro. Esses projetos foram encaminhados à Câmara e não tiveram aprovação. Para consultar estes projetos é necessário digitar no site a palavra-chave: água de lastro.

Alguns outros projetos foram propostos por Secretarias Estaduais do Meio Ambiente. O caso mais notório é do Maranhão. A SEMA criou a Portaria SEMA n. 18 DE 16/08/2016 que buscava implementar um processo de monitoramento da água de lastro por meio de uma empresa terceirizada que prestaria este serviço ao Estado. Contudo, a ação foi considerada inconstitucional, pois ultrapassava as competências do Estado que estava legislando sobre uma questão federal. Esta iniciativa sofreu uma forte resistência da comunidade marítima e portuária local.

Em outubro de 2016, a Companhia Docas do Rio de Janeiro também aprovou a INSTRUÇÃO NORMATIVA n. 53/2016 para Procedimento para credenciamento de empresas especializadas em implementação e administração de serviços técnicos de conformidade, monitoramento e efetivação (CME) da água de lastro e sedimentos provenientes de plataformas, navios e embarcações similares, nas áreas dos portos organizados da CDRJ. Em ambos os casos as ações não tiveram respaldo legal e até dezembro de 2017 não ocorreu nenhuma mudança na forma de fiscalização e verificação da água de lastro realizada pela Marinha do Brasil.

## 5.2 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. *Água de lastro*. Projetos GGPAF. 2002-2003. Brasil.

ÁGUA DE LASTRO BRASIL. *A água de lastro e os seus riscos ambientais*. Disponível em: <http://www.aguadelastrobrasil.org.br>. Acessado em 05/07/2009. 2009.

CALIFORNIA STATE LANDS COMMISSION (2017). Disponível em: <http://www.slc.ca.gov/Programs/MISP.html>.

DUCAN, J. L. *Ballast water: extremely convenient for the shipping industry but disastrous for coastal waters and environment: a study on the effect of ballast water on various coasts and the laws and regulations in place regarding ballast water*. Institute of Marine and Environmental Law. Faculty of Law. University of Cape Town. Master Dissertation in Marine and Environmental Law. 2007.

EMMANUELA, K. T. *The international convention for the control and management of ship's ballast water and sediments 2004: a critical appraisal*. Institute of Marine and Environmental Law. Faculty of Law. University of Cape Town. Master Dissertation in Marine and Environmental Law. 2007.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA, BALLAST WATER TREATMENT. 2008. *Environmental Protection Association*. Disponível em: [http://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/DAE3502A9D618F11852577CE0060A774/\\$File/Draft+Onshore+Treatment+for+Subgroup+3.+Cohen.+10.28.2010.pdf](http://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/DAE3502A9D618F11852577CE0060A774/$File/Draft+Onshore+Treatment+for+Subgroup+3.+Cohen.+10.28.2010.pdf).

GLOBALLAST WATER MANAGEMENT PROGRAMME. *On guidelines and standards for ballast water sampling*. Monograph. 2003.

HENRIQUE, M. M. *Estudo do risco de introdução de espécies exóticas e agentes patogênicos através da água de lastro de navios cargueiros no Porto de Tubarão*. Monografia. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Instituto de Ensino Continuoado. Curso de Especialização em Engenharia Ferroviária. 2006.

LEAL NETO, A. C. *Identificando similaridades: uma aplicação para a avaliação de risco de água de lastro*. Tese (Doutorado) apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro em Ciências em Planejamento Energético. 2007.

MILLER, A. W.; G. M., Ruiz; K., Lion. *Status and trends of ballast water management in the United States*. Third biennial report of the National Ballast Information Clearinghouse (January 2004 to December 2005). Submitted to the United States Coast Guard 3.3 (2007): 1-62.

MINTON, M. S. *et al. Reducing propagule supply and coastal invasions via ships: effects of emerging strategies*. Research Communications. Front Ecol. Environ. 2005.

PEREIRA, N. N.; BRINATI, H.L. *Estudo sobre tratamento de água de lastro*. 22º Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore – Rio de Janeiro. RJ. Outubro de 2008.

PEREIRA, N. N.; CONTI, M. *Técnicas para avaliação de um sistema de gerenciamento de água de lastro*. *Revista Fatecnologia*. 2008.

## **SEÇÃO 2**

### CASOS PARTICULARES



# TRANSPORTE DE MICRORGANISMOS DE RISCO PARA SAÚDE PÚBLICA VIA TANQUE DE ÁGUA DE LASTRO E SUAS IMPLICAÇÕES

SOLANGE LESSA NUNES

## 6.1 INTRODUÇÃO

Neste artigo será apresentado uma visão geral de alguns microrganismos que possam ser encontrados em tanques de água de lastro de navios em portos brasileiros, de modo a apresentar a importância do controle da qualidade microbiológica da água da região do entorno portuário, bem como, seu potencial de impacto na região por meio da invasão de microrganismos patogênicos, que possam influenciar na qualidade de vida das pessoas.

Portanto, dentro deste capítulo, serão apresentados os principais microrganismos de interesse para saúde pública que possam estar na água do entorno portuário. São eles: *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella* spp. A detecção destes organismos em tanques de água de lastro indica um risco potencial para o meio ambiente onde esta água será despejada provavelmente ao longo da costa brasileira.

## 6.2 CONTROLE DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DA REGIÃO DO ENTORNO PORTUÁRIO

O lançamento de esgoto sanitário é um dos tipos mais comuns da poluição nos oceanos, por meio da poluição difusa nos cursos d'água ou via emissários

submarinos que se constituem conhecidas fontes deste tipo da poluição. Um dos impactos ambientais gerados por estes lançamentos resultam em contaminação microbiológica, aumentando a substância orgânica no meio marinho que consequentemente leva a turbidez da água num processo conhecido como eutrofização, um ciclo que tem seu ponto alto na questão da saúde pública. Durante a captação desta água eutrofizada pelo tanque de lastro do navio e sem nenhum tipo de tratamento prévio, a água chega ao seu destino final transportando espécies de microrganismos, bactérias, fungos e vírus, de risco, que causam doenças diarreicas e alguns com um comportamento característico em epidemias<sup>1</sup> que podem se transformar em pandemias<sup>2</sup> dentro de determinadas áreas geográficas.

Regiões portuárias compõem o cenário dos ambientes costeiros, rodeados por cidades que se estendem por todo seu entorno. De modo que as diversas atividades humanas realizadas nesta localidade promovem mudanças tanto na vida marinha contida neste ambiente como na qualidade da água como forma de sobrevivência da comunidade ribeirinha como das atividades de captação do navio que acosta no porto, aumentando o risco de doenças de transmissão hídrica e prejudicando a saúde ambiental (FORSHELL e WIERUP, 2006).

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde, 80 % das doenças nos países em desenvolvimento são causados por transmissão hídrica (WHO, 2006).

A globalização mundial promoveu o crescimento no transporte de produtos e outras mercadorias, principalmente pela via marítima (SAKER *et al.*, 2006), contribuindo para o aumento em problemas ambientais que incluem a predação do peixe, a poluição química, contaminação por matéria orgânica (fezes e urina), a alteração física do habitat, a introdução de espécies exóticas e o possível transporte de microrganismos causadores de doenças graves carregados no momento do deslastre da água de navios em regiões portuárias (NRC, 1996; 1999).

No ano de 2004, o relatório técnico da ANVISA, estimou que o movimento do comércio de mercadorias por via marítima era da ordem de 96 % em nível nacional e de 80 % em nível mundial (RT/ANVISA, 2004). Uma vez que estes navios se utilizam da água desses portos onde se encontram ancorados para carregar os seus tanques de lastro, dependendo da qualidade microbiológica destas águas, existe uma enorme possibilidade do transporte de bactérias patogênicas para outras áreas de porto que esses navios se dirijam.

---

<sup>1</sup> Epidemia é a concentração de determinados casos de uma doença em um mesmo local e época, sem necessariamente fosse esperado para um determinado período.

<sup>2</sup> Pandemia: é uma epidemia de doença infecciosa que se espalha entre a população de uma mesma região de maneira desenfreada. Por exemplo, gripe aviária, Cólera entre outras doenças que surgiram ao longo do tempo e causaram a infecção de inúmeras pessoas ao mesmo tempo.

A distribuição destes microrganismos em águas oceânicas depende de fatores, tais como condições físico-químicas, mas é influenciada principalmente pelas atividades humanas. A principal via de transmissão destes microrganismos presentes neste ambiente ao homem pela ingestão de alimentos de origem marinha; embora, as doenças transmitidas pela água também possam ter consequência através de contato primário, recreativo ou ocupacional dessas águas contaminadas (NCR, 1999).

Deste modo, os moluscos bivalves<sup>3</sup> (ostras, mariscos, sururus, mexilhões etc.) considerados “sentinelas” do ambiente marinho, com a finalidade de se alimentarem, concentram o plâncton filtrando até cinco litros de água por hora. É através deste mecanismo o bivalve concentra também alguns microrganismos patogênicos (causadores de doenças) presentes no ambiente aquático (WOOD, 1976; LOPES *et al.*, 1979). Os bivalves por serem “sentinelas” ambientais também podem ser utilizados como um modelo do estudo da poluição fecal da água estuarina e do mar.

Do ponto de vista da qualidade microbiológica a água para o uso recreacional de contato primário (banho, esportes e lazer) é constantemente avaliada, contudo, os dados que se referem à qualidade microbiológica de água das áreas portuárias em todo o mundo são escassos (JOACHIMSTHAL *et al.*, 2003).

Considerando que o Brasil possui aproximadamente 8.500 km de litoral com mais de 100 terminais portuários para operação de navios, mostrando que o tráfego comercial marítimo que cresce cada ano e que aproximadamente 95 % de todo o comércio externo brasileiro são conduzidos por mar (SILVA & SOUZA, 2004); observa-se uma crescente necessidade ampliar o controle da qualidade microbiológica nas áreas do entorno portuário e dos focos de despejo de esgoto sanitário sem tratamento com a finalidade de prevenir o transporte de microrganismos de interesse para saúde pública entre regiões geográficas diferentes.

Nesta direção a proteção do ecossistema marítimo é uma obrigação de vários ministérios, inclusive Ambiente, Transporte, Turismo e Marinha. O Ministério do Ambiente é responsável por dirigir o processo que integra águas costeiras aos altos mares, inclusive biodiversidade e impacto de organismos aquáticos transportados pela água de lastro. O Ministério da Saúde também está implicado nesta atividade, realizando o serviço da inspeção sanitária responsável pelo controle preliminar de doenças nos navios.

---

<sup>3</sup> Moluscos bivalves são ostras, mariscos, vieiras e berbigões que como características são animais filtradores que se alimentam de algas microscópicas e material em suspensão que existem na água onde são cultivados.



ANVISA (BRASIL, 2002) concluiu um estudo exploratório pioneiro no Brasil, para identificar e caracterizar agentes patogênicos presentes na água de lastro de navios atracados em portos brasileiros. Os resultados obtidos neste estudo demonstrou que em 99 amostras coletadas de nove portos brasileiros selecionados, foram encontrados pelos pesquisadores em 71 % das amostras de água de lastro aproximadamente  $10^3$  a  $10^6$  UFC (Unidade Formadora de Colonia)/L (Litro), os seguintes microrganismos, respectivamente: *Vibrio cholerae* (31%), coliformes fecais (13%), *Escherichia coli* (5%), enterococos fecais (22%), *Clostridium perfringens* (15%), colifagos (29%), *Vibrio cholerae* O1 (7%), *Vibrio cholerae* (23 %) e *Vibrio cholerae* em plâncton (21%) foram também observados.

Apesar dos dados encontrados, os comandantes de 62% dos navios selecionados, declararam ter realizado a troca oceânica da água contida nos tanques de lastro, de acordo como preconizado pela International Maritime Organization (IMO). Contudo, pelos dados corroborados das análises laboratoriais realizadas na campanha, demonstra que provavelmente não deve ter sido realizada a troca ou que a mesma deva ter sido realizada de forma parcial em alto mar. Uma prova disso é porque a água de lastro coletada em seus navios mostrou um nível de salinidade muito menor do que 32 ppm (partes por milhão).

Em 1991, *Vibrio cholerae* foi detectado na América Latina e até os dias de hoje, o que tem causado mais do que 1.2 milhões de casos de cólera, resultando em 12.000 mortes (MARTINS *et al.*, 1991; 1993). No Brasil, um surto durante 1993 e 1994 demonstrou o maior número de casos. Mais recentemente, em 1999, 467 casos foram confirmados na costa do Estado do Paraná (Paranaguá) (BRASIL, 2002).

A frota de navios comerciais tem se espalhado ao redor do globo, mas pouco se conhece a respeito da extensão e do significado desta transferência. O movimento global de água de lastro cria um mecanismo de dispersão à longa distância pelo mundo da distribuição destes patógenos humanos, os quais consequentemente aumentam o número de doenças de origem hídrica, afetando humanos, plantas e outros animais (PIERCE *et al.*, 1997; RUIZ, 2000).

O conceito sobre a transmissão destas bactérias potencialmente danosas a saúde humana via água de lastro teve início em 1992, quando a Food and Drug Administration (FDA) e o Centers for Disease Control and Prevention (CDC) dos EUA detectaram *Vibrio cholerae* em ostras coletadas em larvas de bivalves dos tanques de água de lastro de navios que haviam chegado da América do Sul (TAKAHASHI *et al.*, 2008).

Um estudo realizado por Delille and Delille (2000) encontrou a presença de bactéria entérica (que tem afinidade por intencinos) contida no gelo Antártico. Em Janeiro de 1991, um surto de cólera foi primeiro detectado no Peru e em Setembro deste mesmo ano, se dispersou rapidamente através da América do Sul e México. Em Junho de 1992, o microrganismo foi detectado no EUA após serem

realizados testes nos tanques de água de lastro de vários navios da América do Sul (McCARTHY & KHAMBATHY, 1994). Delille and Dellile (2000) também mencionam que um surto de cólera teve início na Indonésia em 1961 e completou seu ciclo global em 1991 e que essa mesma infecção foi introduzida nos anos 90 na América Latina pelo tráfego marítimo.

Um levantamento feito em 19 amostras de água de lastro de navios cargueiros nos portos de Mobile (Alabama) Gulfport e Pascagoula (Mississippi) acompanhados por MacCarthy and Kambathy (1994), encontrou *Vibrio cholerae* em cinco deles. A parada mais recente desses navios foi: Brasil, Colômbia, Chile e Porto Rico. De acordo com estes autores, em julho de 1991 o Committee of Protection of the Sea Atmosphere dos EUA adotaram uma resolução intitulada: “International Guidelines for the Prevention of Introduction of Undesirable Pathogens for the Discharge of Water of Ballast and Sediments of the Ships” (McCARTHY & KHAMBATHY, 1994). Estes manuais foram publicados após a completa investigação feita por MacCarthy e Kambathy (1994) com Registro Federal de 12 de Dezembro de 1991. A Guarda Costeira Norte Americana questionou agentes e capitães dos navios ao aceitar e seguir as recomendações de que a água de lastro deveria ser carregada duas vezes em alto mar para reduzir a possibilidade de contaminação das águas costeiras Americanas.

Em 1991 e 1992 *Vibrio cholerae*, foi detectado na água não potável de cinco navios de cabotagem acostados na baía do golfo do México. Quatro desses navios carregavam água de lastro desde seus países afetados por surto de cólera e o quinto navio era proveniente de uma área não afetada por cólera (MATTÉ *et al.*, 1994).

Um esforço global coordenado pelo FDA em associação com a Guarda Costeira Norte Americana e oficiais de quarentena do CDC, naqueles mesmos anos, demonstraram que seis das 109 amostras – obtidas de mais do que 90 navios que haviam chegado da América Latina – estavam contaminados com *Vibrio cholerae*. Ruiz (2000) encontrou *Vibrio cholerae* presente em amostras de plâncton em todos os navios estudados.

Nesta investigação, Ruiz (2000) também constatou que os estados daqueles ecossistemas costeiros são frequentemente invadidos por microrganismos provenientes da água de lastro e este fato se deve basicamente a três fatores:

- A concentração de bactéria e vírus excedendo outros grupos de microrganismos.
- A biologia de alguns desses microrganismos pode facilitar a invasão, por exemplo, sua alta capacidade de multiplicação celular, reprodução assexuada, habilidade de formar colônias.
- Tolerância a variação de todas as condições ambientais, incluindo salinidade e temperatura (TAKAHASHI *et al.*, 2008).

### 6.3 MICRORGANISMOS DE INTERESSE PARA A SAÚDE PÚBLICA EM CIRCULAÇÃO NA ÁGUA DO ENTORNO PORTUÁRIO: *ESCHERICHIA COLI* (*E. COLI*), *VIBRIO CHOLERAE* (*V. CHOLERAE*), *SALMONELLA* SPP.

#### 6.3.1 *E. coli*

##### Descrição e Significado

*E. coli* foi descrita sua primeira descoberta em 1885 por Theodor Escherich, um bacteriologista Alemão. *E. coli* tem sido comumente usada para experimentos laboratoriais e na pesquisa desde sua descoberta. *E. coli* é uma bactéria que pode ser comumente encontrada nas fezes tanto humanas como animais, e quase sempre nos limites de fontes termais de água.

Elas preferem viver em temperaturas mais altas a temperaturas mais baixas. Contudo, sua erradicação é bastante simples através de fervura simples ou por esterilização básica. *E. coli* pode também ser classificada em 100 cepas com base em seus diferentes sorotipos. *E. coli* O157:H7, por exemplo, é cepa melhor estudada entre todas compreendidas dentro da classificação da bactéria *E. coli*, isto porque, tal cepa é capaz de produzir um tipo de defesa contra o ambiente em que se encontra e que será colonizado.

Além desta, os sorotipos de *E. coli* podem ser classificados dentro de seis categorias baseadas em suas propriedades de virulência, como *E. coli* enterotoxigênica (ETEC), *E. coli* enteropatogênica (EPEC), *E. coli* enteroinvasora (EIEC), *E. coli* enterohemorrágica (EHEC), dentro da qual se encontra o sorotipo O157:H7, *E. coli* enteroagregativa (EAggEC), e *E. coli* verotoxigênica (VTEC).

Estas *E. coli* entéricas podem causar várias infecções intestinais e extra-intestinais (aparelho urinário e bexiga humano e animal, i.e.) e mastite (inflamação dos tetos mamários) principalmente em bovinos. Contudo, *E. coli* quase sempre não é muito destrutiva ao corpo humano ou de outros animais de sangue quente.

A maioria das *E. coli* vivem em nossos intestinos, onde auxiliam nossos corpos a quebrar os alimentos bem como tem papel importante no processo de expelir o “lixo” do que não é absorvido em nossa digestão, também produz vitamina K, e auxilia na absorção dos alimentos ingeridos.

Devido à ecologia de distribuição ambiental de *E. coli*, a bactéria é comumente usada como um indicador de campo para qualidade microbiológica da água de uso em contato primário (praias, consumo humano e animal). O índice de *E. coli* amostras de água podem indicar quanto de fezes humanas ou animais se encontram presentes nesse tipo de amostra. A razão para que *E. coli* seja usada como um indicador se deve pela quantidade significativamente maior de *E. coli*

presente em fezes humanas e animais do que outros organismos bacterianos. A maioria das cepas de *E. coli* não são muito virulentas para seus hospedeiros; embora, mais e mais cepas recentemente descobertas estão contribuindo dentro de uma população existente através de processos de mutação e evolução e, assim, algumas podem causar quadros mais severos da doença, como o sorotipo de *E. coli* O157:H7.

O mecanismo da causa da diarreia causada por alguns dos sorotipos dos grupos de *E. coli* pode gerar graves infecções vários animais, incluindo humanos, ovelhas, cavalos, cães *etc.*; porém a fase da duração da doença normalmente é bastante autolimitada e de fácil tratamento, o perigo mais extremo se deve ao cuidado para reposição da perda de líquidos, durante a fase aguda da doença diarreica. Apenas um único grupo de sorotipos, que é encontrado apenas em humanos, chamado de *E. coli* Enteroagregativa, é a principal causa de infecção do trato urinário, que ocorre devido a sua ascensão através da uretra. Tais infecções podem ser encontradas tanto em homens quanto em mulheres adultos, e mais raro, mas crianças podem ser também infectadas.

*E. coli* O157:H7 seu sorotipo pertence ao grupo das *E. coli* Enterohemorrágicas, é um dos sorotipos mais infectantes, causa principalmente intoxicação alimentar, levando o indivíduo a manifestar diarreia com sangue e falência renal. A principal rota de transmissão deste sorotipo enterohemorrágico ocorre pelo consumo de carne bovina mal passada, mas pode também ocorrer através do consumo de leite não pasteurizado e água contaminada. Apesar de quase sempre os sintomas desaparecerem entre 1 a 3 dias, esses sorotipos podem ser letal para alguns indivíduos que apresentam comprometimentos de sua resposta frente a severidade da infecção e sintomas apresentados, e muitas vezes permanecer uma seqüela aos sintomas e agressões da expressão da bactéria fora dos intestinos.

Contudo, *E. coli* é um indicador da contaminação ambiental de fezes humanas e/ou animais de sangue quente, e não deve ser confundida como parâmetro com o gênero dos coliformes fecais que são frequentemente usados como indicador bacteriano de qualidade sanitária de alimentos e da água. Bactérias do gênero coliforme são encontradas no ambiente aquático, no solo e em vegetais, caracteristicamente produzem ácido e gás por fermentação e crescem melhor em temperaturas que variam entre 35-44,5 °C; apesar de universalmente presentes em grande número nas fezes dos animais de sangue quente não são a causa principal das doenças sérias ou graves, pois alguns não são de origem fecal e se inserem dentro do grupo denominado coliformes totais.

### 6.3.2 *V. cholera*

#### Descrição e Significado

Filippo Pacini foi quem primeiro descobriu o *V. cholerae* na Itália em 1854, muito embora isto tenha sido acreditado que originalmente que Robert Koch quem descobriu o microrganismo 30 anos mais tarde em Berlin no ano de 1884. Italianos que acreditavam neste tempo que as doenças como cólera chegavam através de “ar mal” (“bad air”) ou do termo grego “miasma.” John Snow, um médico conhecido como o pai da epidemiologia, havia estudado em Londres durante a epidemia de cólera de 1854, a qual ele concluiu que o cólera não era transmitida pelo ar, mas sim pela água contaminada, e descobriu que um poço que fornecia água para o abastecimento público era captada próxima a uma fossa séptica onde a água da chuva carregava para dentro da fossa por lixiviação uma massa de terra carregada de bactérias. Snow teve que remover manualmente da bomba d’água que se encontrava na vizinhança como fonte da água contaminada, e imediatamente o quadro epidêmico de cólera começou a regredir.

Existem numerosas cepas de *V. cholerae*, algumas das quais são patogênicas e outras não. O tipo de cepa patogênica do gênero mais difundida geograficamente é o *V. cholerae* sorotipo O1 El Tor N16961 que causa cólera de caráter pandêmico. O último sorotipo patogênico O139 foi descoberto em 1992. A cepa El Tor foi ativa no sétimo e mais recente quadro de disseminação pandêmica de cólera que ocorreu de 1960 a 1970, já no início dos anos 90 o sorotipo O139 foi a cepa detectada nos acometimentos de cólera, mas ambos sorotipos desenvolveram múltipla resistência a vários agentes antimicrobianos de uso para combate ao agente.

A bactéria infecta o intestino e aumenta a produção de muco causando diarreia aquosa profusa (com muito líquido) e vômito que resultam em desidratação extrema e, se não tratada, causa morte. Frequentemente sua transmissão ocorre através das fezes de uma pessoa infectada, quase sempre por uma condição de baixo saneamento, que contaminam água e alimentos. Desde que a água receba tratamento devido e saneamento como nos países desenvolvidos, cólera não se aproxima de um grave problema de saúde pública.

A política de vigilância dentro dos EUA pelas altas autoridades em saúde é bastante rígida e fiscalizada, para que não seja permitida a entrada do microrganismo causador de cólera no país. Contudo, em países densamente povoados, áreas economicamente deficientes como Índia ou África subsaariana onde a tecnologia usada no tratamento de água e esgoto é bastante deficitária, constituindo uma porta de entrada bastante eficiente para o vibrião colérico.

*V. cholerae* possui uma ecologia de meio aquático onde prospera muito bem, particularmente na sua superfície. A conexão primária entre humanos e cepas

que causam doença ocorre através da água, os demais gêneros contidos dentro da Família *Vibrionaceae*, não causam doenças de agravo a saúde pública, mas também são autóctones do ecossistema aquático.

As metodologias convencionais dos ensaios laboratoriais não determinam sozinhas quais cepas realmente são portadoras das estruturas que provocam a doença diarreica e qual não é apenas pelo isolamento e a identificação de seu determinante sorológico é que se pode endereçar o tipo de bactéria desse gênero estamos lidando. Recentemente, com o conhecimento das técnicas em biologia molecular para a identificação e isolamento do DNA dos microrganismos conseguem identificar com boa precisão que além de corroborar com dados obtidos rotineiramente por métodos convencionais de sorologia e bioquímica bacteriana, auxiliam na determinação e reduzem o tempo da identificação precisa da presença ou não do patógeno no ambiente aquático.

*V. cholerae* entra no corpo humano pela ingestão de alimento ou água contaminada, ao atingir o intestino, ela entra na célula do intestino e impede a absorção intestinal, aumentando a produção de água dentro do órgão. As respostas fisiológicas (do corpo humano) e os sintomas que se seguem são vômito e diarreia aquosa e profusa que se assemelha “água de arroz”. A morte pode ocorrer pela desidratação extrema e quando não tratada pode ocorrer em 50-70% das vezes.

O tratamento inclui reidratação e reposição dos eletrólitos perdidos, dentre os importantes íons, tais como sódio e potássio, utilizados em processos bioquímicos para manutenção do bom funcionamento do corpo e da vida. Devido à queda da qualidade do tratamento da água de abastecimento dentro de algumas populações de países em desenvolvimento, reidratação com água limpa pode ser impossível sem que haja ajuda médica e suprimento adequado.

Como já descrito a transmissão ocorre devido as baixas condições de saneamento básico que levam a contaminação fecal da água e dos alimentos ingeridos, uma vez que esta bactéria, vive naturalmente em qualquer ambiente que a favoreça.

Cerca de cem milhões de bactérias devem ser ingeridas para causar cólera em um indivíduo adulto saudável. Crianças são mais suscetíveis quando possuem dois até quatro anos de idade possuindo uma das maiores taxas de infecção. A suscetibilidade dos indivíduos a cólera é também afetada pelo tipo sanguíneo, dentre os quais aqueles que estão dentro do grupo de sangue do tipo O são mais suscetíveis. Pessoas com baixa imunidade, como os indivíduos HIV positivos ou crianças mal nutridas são mais comumente associadas com os casos mais severos relatados ao contraírem a infecção. Entretanto, o que deve ser notado que em nenhum paciente em particular, cada indivíduo adulto saudável na meia idade, pode experimentar um caso mais grave da doença, e cada pessoa possui particularidades que deve ser medido de forma particular, observando em separado atra-

vés da perda de fluidos preferencialmente em consulta com um médico ou outro profissional da área da saúde.

Em países desenvolvidos, alimentos marinhos, é uma causa frequente, enquanto nos países em desenvolvimento a principal causa de veiculação de cólera é a água não tratada. Cólera tem sido relatada em apenas duas outras populações animais: moluscos bivalves (ostras, mariscos, mexilhões) e no plâncton.

Embora cólera se relacione ao saneamento ambiental e aos modos de vida e hábitos populacionais, sua prevenção consiste normalmente do reforço de boas práticas sanitárias a serem adotadas. Nos países desenvolvidos, pela proximidade de um avançado tratamento universal da água e boas práticas sanitárias, cólera não é mais o principal problema de saúde pública a ser tratado. Práticas sanitárias efetivas, se instituídas e aderidas em tempo, são suficientes para parar uma epidemia.

Cloração e fervura pelo menos são sempre métodos menos caros e mais eficazes no que se refere a evitar a transmissão da doença. O pano de filtragem da água, embora bastante básico, tem reduzido significativamente a ocorrência de cólera quando utilizado nos vilarejos mais pobres de Bangladesh que dependem de água superficial não tratada. Melhor dos filtros antimicrobianos, como aqueles presentes em kits de tratamento individual avançado de água para praticantes de caminhadas, são bastante eficientes.

Educação em saúde pública e aderir a práticas de higiene apropriado são de primeira importância no auxílio da prevenção e controle da transmissão de cólera bem como de outras doenças. Vigilância e notificação imediata dos casos de surto permitem a contenção dos episódios epidêmicos de cólera rapidamente. Cólera ocorre como uma doença de perfil sazonal (estação de clima) em alguns países onde é considerada endêmica, ocorrendo anualmente principalmente durante as estações chuvosas.

Sistemas de Vigilância podem enviar alerta sobre a ocorrência de surtos o mais cedo possível, portanto levando a uma resposta coordenada e assessorar a preparação de planos de prevenção. Um sistema de vigilância eficiente pode também providenciar um levantamento do risco de um provável surto de cólera a ser mitigado. Entendendo a sazonalidade a localização desses surtos providenciando diretrizes para programar atividades de controle de cólera para regiões de maior vulnerabilidade. Para a prevenção ser efetiva é importante que os casos sejam reportados as autoridades nacionais de saúde.

Há uma estimativa de que cólera afeta de 3-5 milhões de pessoas em todo o mundo, e causa entre 100.000-130.000 de mortes por ano como levantado em 2010. A mesma possui ocorrência principalmente em países em desenvolvimento. No começo dos anos 80, a taxa de morte ocorrida por cólera acreditava-se ser muito maior do que 3 milhões por ano.

O que é difícil de calcular o número exato de casos, já que alguns casos não foram registrados devido ao conceito de que o anúncio de um surto teria um impacto negativo em países turísticos. Embora muito se conheça a respeito dos mecanismos que se iniciam para disseminação de cólera, esta não tem sido usada para o completo entendimento do que faz os surtos de cólera acontecer em alguns locais e não em outros. A falta de tratamento aos dejetos humanos e a falta de tratamento da água de consumo facilitam fortemente sua disseminação, mas os corpos d'água podem servir como reservatório, e os alimentos de origem marinha comprados pelos lugares mais distantes e podem disseminar a doença. Cólera não era conhecida nas Américas antes do Século XX, mas reapareceu pelo final daquele século e parece persistir.

A doença se espalhou primeiro pelas rotas de comércio (terra e mar) na Rússia em 1817, então para o Oeste europeu, e da Europa para América do Norte. Foram descritas sete pandemias de cólera, a sétima pandemia teve origem na Indonésia em 1961.

De uma doença local, cólera tornou-se uma das doenças mais disseminadas e letais do século XIX, matando uma estimativa de 10 milhões de pessoas. Somente na Rússia, entre 1847 e 1851, mais de 1 milhão de pessoas pereceram desta doença. Durante a segunda pandemia chegou a matar 150.000 Americanos. Entre 1900 e 1920, cerca de oito milhões de pessoas morreram de cólera na Índia.

Cólera tornou-se a primeira doença de notificação compulsória nos EUA pela gravidade do agravo à saúde humana. John Snow, em 1854, foi o primeiro a identificar a importância de boas práticas em saneamento básico como causa de disseminação da doença. Cólera foi recentemente considerada uma pressão no trato da saúde na Europa e na América do Norte devido à filtração e cloração da água para consumo em seus reservatórios, mas ainda continua tendo efeitos devastadores nas populações de países em desenvolvimento.

No passado, pessoas viajavam em navios deveriam carregar uma bandeira amarela indicando quarentena caso houvesse um ou mais tripulantes contaminados com cólera entre seus membros. Passageiros de embarcações com a bandeira amarela hasteada não eram permitidos desembarcar em nenhum porto por um período de tempo que variava, tipicamente de 30 até 40 dias. Na sinalização moderna de bandeiras, a bandeira de quarentena é amarela ou negra.

Um caso notável envolvendo morte causada por cólera é do compositor Tchaikovsky, seu falecimento foi tradicionalmente atribuído à cólera porque alguns dias antes o notável músico havia consumido água de origem não tratada.



### 6.3.3 *Salmonella* spp.

#### Descrição e Significado

*Salmonella* é um gênero de bactérias, vulgarmente chamadas salmonelas, pertencente à família Enterobacteriaceae, sendo conhecida há mais de um século. Tem em seu nome uma referência ao cientista estadunidense chamado Daniel Elmer Salmon, que associou a doença à bactéria pela primeira vez.

Este gênero pode ser distinguido atualmente em 2.501 espécies e subespécies representadas em sorovares ou sorotipos, subdivididos em duas espécies: (1) *S. enterica* dividida em seis subespécies: *S. enterica* subespécie *enterica* (I), *S. enterica* subespécie *salamae* (II), *S. enterica* subespécie *arizonae* (IIIa), *S. enterica* subespécie *diarizonae* (IIIb), *S. enterica* subespécie *houtenae* (IV) e *S. enterica* subespécie *indica* (VI); e (2) *S. bongori* ou “V”, formalmente denominada *S. enterica* subespécie *bongori*. A classificação em sorogrupos ou sorovares depende do antigênio O, enquanto que a classificação em sorotipos depende do antígeno H.

Dentre as de maior importância para a saúde humana destacam-se a *Salmonella* Typhi (*Salmonella enterica* subespécie *enterica* sorovar Typhi), que causa infecções sistêmicas e febre tifoide – doença endêmica em muitos países em desenvolvimento – e a *Salmonella* Typhimurium (*Salmonella enterica* subespécie *enterica* sorovar Typhimurium), um dos agentes causadores das gastroenterites (quadro de diarreia bastante severo).

*Salmonellas* vivem no trato intestinal tanto de animais de sangue quente quanto nos de sangue frio. Algumas espécies são ubíquas, ou seja, estão difundidas em qualquer ambiente e hospedeiro. Outras espécies são especificamente adaptadas a um hospedeiro em particular. Ocorreu no início do século XIX, a febre tifoide foi definida com base nos sinais clínicos e em sintomas e nas mudanças patológicas (anatomia). Embora, nesta mesma época os tipos de febre entérica eram caracterizados como “tifoide”.

Em 1880, o bacilo tifoide foi primeiro observado por Eberth em cortes de baço e dos linfonodos mesentéricos de um paciente que havia morrido por febre tifoide. Robert Koch confirmou que o relatado achado por Gaffky e conseguiu cultivar a bactéria em 1881. Mas pela falta de características de diferenciação, a separação do bacilo tifoide de outras bactérias entéricas ainda era incerta.

Em 1896, foi demonstrado que o soro de um animal imunizado com o bacilo tifoide aglutinava (formam um botão de grumos) com células da bactéria tifoide, e assim como foi visto no soro de pacientes acometidos com tifo aglutinavam de forma semelhante a aglutinação apresentada pelo bacilo tifoide.

Como em todas as bactérias pertencentes à família das *Enterobacteriaceae*, o gênero *Salmonella* tem três tipos principais de antígenos com aplicações diagnósticas ou de identificação: somático, superfície, e flagelar.

O antígeno somático, designado como antígeno O, está localizado na parede celular da bactéria, por isso, também podem ser denominados como antígenos de parede celular ou antígenos somáticos (do grego – soma = corpo). Esses antígenos são termoestáveis (ou seja, não se alteram em determinada temperatura, tolerando o calor, caso haja aumento da temperatura, a composição se altera) e resistentes a álcool. Estudos de absorção cruzada individualizaram um grande número de fatores antigênicos, 67 dos quais são usados para identificação sorológica ou soroglutinação. Os fatores são marcados com o mesmo número e são proximalmente relacionados, contudo não são sempre antigenicamente idênticos.

O principal nicho das salmonelas é o trato intestinal de humanos, aves e outros animais de sangue quente, mas também podem ser encontrados no trato intestinal de animais de sangue frio (répteis; tartaruga terrestre e marinha etc.). Os sorotipos de *Salmonella* podem ser encontrados predominantemente em um único hospedeiro, podem também estar amplamente difundido no ambiente sem parasitar um hospedeiro específico, ou ainda podem estar presentes em um ambiente desconhecido.

Os sorotipos Typhi e Paratyphi A, B, C são estritamente humanos e causam graves doenças, febre tifoide e febre paratifoide, respectivamente, que são também conhecidos como sorotipos de salmonelose tifoide. A gravidade do acometimento por esses sorotipos hospedeiro-específicos recai na seqüela que a infecção pode deixar, no carreamento que se dá através da transformação do comedido em portador da doença (microrganismo continua a ser dejetado no ambiente até 01 mês após o tratamento dos sintomas) e esse histórico ocorre porque a doença quase sempre está associada com invasão do microrganismo na circulação sanguínea. A salmonelose tifoide é transmitida principalmente através da contaminação fecal da água ou de alimentos manipulados por portadores do bacilo tifoide, a contaminação e disseminação das salmonelas tifoides ocorrem unicamente do humano para outro.

Gallinarum, Abortusovis e Typhisuis são sorotipos de *Salmonella* bem adaptados às espécies animais, respectivamente, aviário, ovinos, e suínos e exatamente por isso são designados como sorotipos hospedeiro-adaptados que não conseguem crescer em um meio contendo fatores de crescimento minimamente médios (ao contrário dos sorotipos amplamente distribuídos *Salmonella*).

Ubíquo é o termo utilizado para descrever os sorotipos de *Salmonella* (i.e., *Typhimurium*) não adaptados a um só tipo de hospedeiro. São esses os sorotipos mais representativos deste gênero porque são a principal causa de toxinfecção por

alimentos de origem animal e se encontram amplamente distribuídos na natureza e geograficamente, contudo, não são de notificação compulsória às autoridades de saúde pública, como os sorotipos que são agentes causais das salmoneloses tifoides.

As salmoneloses não tifoides causadas por esses sorotipos amplamente distribuídos são a principal causa de vários sintomas clínicos, desde uma infecção assintomática até uma síndrome semelhante ao quadro tifoides, principalmente em crianças menores de 02 anos, adultos com mais de 65 anos, que podem desenvolver sequelas ou até mesmo vir a óbito; outros grupos preocupantes são os compostos por indivíduos imunodeprimidos (imunidade baixa devido a algum tipo de agravo, HIV, por exemplo) e/ou imunosuprimidos (são indivíduos que permanecem muito tempo interno em hospitais, aqueles em tratamento quimio/rádio terapico, aqueles com algum tipo de doença autoimune), bem como em animais altamente suscetíveis como camundongos, por exemplo, que chega a desenvolver uma síndrome bastante semelhante à febre tifoide humana, frente uma infecção causada pelo sorotipo *Typhimurium*.

*Salmonella* sobrevive ao tratamento da água de esgoto se não utilizado o tratamento com germicidas adequados nesse processo. Os efluentes de uma estação de tratamento de esgoto passam dentro do rio costeiro onde os moluscos bivalves aderidos aos bancos naturais de colonização, buscam nutrientes e filtram essa água parcialmente tratada. Esses animais conseguem concentrar bactéria através da filtração de litros por hora e, portanto, a ingestão desses alimentos de origem marinha por humanos ('in natura' sem nenhum tipo de cocção) pode levar o indivíduo a desenvolver tanto salmonelose tifoide como não tifoide.

Salmonelose tifoide é uma doença de transmissão estritamente humana. A incidência dessa doença humana diminuiu de nível aumentando apenas em países em desenvolvimento (i.e., saneamento básico precário). Devido às baixas condições higiênico-sanitárias, a probabilidade de contaminação fecal da água e alimentos permanece elevada e contínua.

As infecções por *Salmonella* de origem alimentar são causadas pelos sorotipos ubíquos (exemplo, *Typhimurium*). Ocorrem em média em torno de 12 a 24 horas após ingestão de alimento de origem animal contaminado por *Salmonella*, os sintomas aparecem (diarreia, vômito, febre) e pelo menos 2-5 dias. É bastante frequente que ocorra cura espontânea.

*Salmonella*. Contaminação da carne bovina, suína, caprina, aves por *Salmonella* pode ter origem na salmonelose animal, mas a maioria delas é resultado da contaminação dos músculos com o conteúdo intestinal durante o processo de abate, lavagem e transporte das carcaças. A contaminação da superfície da carne sempre oferece uma menor consequência quase sempre, com o cozimento apro-

priado será esterilizado (contudo a manipulação da carne crua contaminada pode resultar na contaminação das mãos, tábuas de carnes, utensílios da cozinha, panos de prato, outros alimentos resultando em contaminação cruzada).

Embora, quando a carne é contaminada profundamente, a multiplicação de *Salmonella* pode ocorrer por dentro e se o preparo constar de apenas uma cocção superficial, a ingestão deste alimento contaminado massivamente irá causar infecção por *Salmonella*. A infecção pode ocorrer pela ingestão de qualquer alimento que forneça suporte ao desenvolvimento de *Salmonella* tais como ovos, cremes, maionese, alimentos com densidade mais cremosa e açucarada, presença de glicose, como para causar infecção salmonelas devem ser ingeridas em um grande número, esses alimentos fornecem um ecossistema adequado a multiplicação e sobrevivência de um número muito elevado de células dessas bactérias quando manipulados sem higiene e em larga escala de produção.

A prevenção da infecção causada por *Salmonella* baseia-se em evitar a contaminação (melhoria das condições de higiene), prevendo a multiplicação de *Salmonella* em alimentos (diminuir a quantidade, evitar confecção de alimentos em larga escala que não possam ser mantidos estocados a uma temperatura constante de 4°C), e usar produtos lácteos pasteurizados e esterilizados. Os vegetais e frutas podem conter *Salmonella* quando contaminados pela utilização de fertilizantes de origem fecal, ou quando irrigados com água sem tratamento prévio e contaminada com material de origem fecal.

A ocorrência de infecção por *Salmonella* de origem alimentar permanece relativamente alta em países em desenvolvimento devido a comercialização de alimentos manipulados sem higiene. Em países em desenvolvimento, surtos de *Salmonella* de origem alimentar são menos notificados, pela ausência de um rápido diagnóstico para o microrganismo. Contudo, a incidência da infecção por *Salmonella* em países subdesenvolvidos é conhecidamente bastante elevada.

O gênero *Salmonella* está disseminado no ambiente natural (água, solo, às vezes em vegetais e leguminosas de consumo humano e animal) através de excretos humanos ou animais e do baixo saneamento da água utilizada para irrigação. Humanos e animais (sejam selvagens ou domésticos) podem excretar *Salmonella* ou quando clinicamente diagnosticada a infecção ou durante a convalescência da infecção causada por salmonelose tifoide ou não tifoide, permanecendo como um carreador. Microrganismo *Salmonella* não parecem se multiplicar significativamente no meio ambiente (fora do trato digestivo), mas podem sobreviver por várias semanas na água e por anos no solo se encontrar condições favoráveis.

## 6.4 CONCLUSÕES

Como estes microrganismos podem circular na área do entorno portuário e sobreviver no interior do tanque de água de lastro e possivelmente ser dissemina-

do causando surtos de veiculação hídrica afetando a Saúde Pública e sua Vigilância dentro dessas áreas?

Como mencionado anteriormente, as áreas portuárias, de acordo com a atual legislação vigente no Brasil (CONAMA, 2000; 2005) não possuem um parâmetro de controle microbiológico para qualidade das águas utilizadas para navegação, o que é bastante diferente dos parâmetros preconizados para as águas destinadas a recreação ou de contato primário pelo homem onde a legislação brasileira estabeleceu uma fiscalização de controle mais rígida com relação a quantificação dos coliformes termotolerantes (fecais) e totais, incluindo microrganismos infecciosos (patogênicos) como *Salmonella*, *Vibrio* e algumas *E. coli*.

Sabendo que os portos estão instalados em locais onde não há um tratamento adequado sendo dado ao esgoto de origem doméstica e industrial há uma grande possibilidade dessas águas estarem contaminadas por vírus e bactérias, e, desta forma, a água do entorno portuário ser captada e transportada para outras áreas geográficas, tal ação é o que pode estar contribuindo para difusão de doenças e assim, comprometendo os padrões microbiológicos de balneabilidade para água.

Durante a chegada do navio, em uma determinada região portuária, não é possível afirmar se a condição da água encontrada em seu tanque é adequada ou não. Mas dentro de um trabalho pioneiro, realizado em seis regiões portuárias brasileiras por especialistas, os microrganismos causadores de doenças (patógenos) que poderiam estar sendo carregados dentro da água de lastro de navios foram investigados (NUNES, 2007). No levantamento feito por esses especialistas existe a sugestão *V. cholerae* e *Salmonella* spp, responsáveis, respectivamente, por surtos de cólera e salmonelose possam estar circulando na área do entorno portuário (presentes na água, bivalves, plâncton) devido a uma atividade humana intensa, e péssimas condições sanitárias apresentadas nestas áreas. Surtos de cólera, principalmente, têm sido associados muito estreitamente com água de lastro dos navios, sendo utilizados como um dos parâmetros para verificação a eficácia do tratamento dado a água de lastro.

No Brasil, o transporte de cólera pela água de lastro do navio foi demonstrado, em um estudo pioneiro conduzido em 2001, sendo evidenciada a presença de mais de 5.4 milhões de bactérias por litro de água de lastro de navio de cabotagem, contando que em onze – dos cem cinco – amostras do agente de cólera foi identificado.

*V. cholerae* é considerada uma bactéria autóctone do ecossistema aquático, capaz de sobreviver no mar, estuário e na água doce, bem como em associação na superfície e no conteúdo intestinal de animais vertebrados ou invertebrados (plâncton, larvas de molusco bivalve, peixes, água e larvas de crustáceos), o que

facilita a sua disseminação e ser carregado pelos cursos d'água até a água de lastro (SOUZA, 2007).

Quanto se sabe a cerca de sua epidemiologia, *V. cholerae* tem ocorrido de forma endêmica desde o subcontinente Indiano por séculos. A primeira disseminação de cólera para a Europa e Américas ocorreu em 1817, e, até o momento, sua trajetória pôde ser dividida em seis grandes pandemias. A sétima pandemia, e mais recente, se iniciou em 1961, primeiramente na Indonésia, espalhando-se rapidamente pela Ásia e Meio Leste, chegando a América Latina em 1991, e onde atingiu o Brasil, pelo rio Solimões e, depois, o rio Amazonas. Em abril de 1999, um episódio foi associado à água de lastro de vários navios que chegaram à cidade de Paranaguá, que o navio de cabotagem havia trazido a cepa ao porto durante aquele período (SOUZA, 2007).

É muito difícil garantir que um navio não esteja carregando no interior do seu lastro alguma espécie patogênica; neste caso, o mais importante é ter certeza de que o navio não irá deslastrar a água de lastro sem obter nenhum tipo de controle. Também não é possível garantir que em nenhuma ocasião isso não ocorra, mas cabe a autoridade sanitária local informar os comandantes dos navios sobre os riscos, bem como obter procedimentos específicos para captação da água nessas condições.

Dentre os patógenos (causadores de doença), a *Salmonella*, como descrito neste capítulo, é uma bactéria que causa uma infecção cujos sintomas principais são vômitos e diarreia. Atualmente, as salmoneloses ocupam uma das mais destacadas posições no campo da saúde pública, devido as suas características de endemicidade, morbidade e, em particular, pela dificuldade de ser controlada.

*Salmonella* pode ser distinguida em 2.501 espécies e subespécies representadas dentro de sorovares ou sorotipos, divididos em duas classes, respectivamente: (1) *S. enterica*, subdividida em seis subespécies, sendo dentro da subespécie I que agregam o maior número dos sorotipos ou sorovares de mais representatividade (n=1.478), responsáveis por 97% das principais infecções que acometem animais de sangue quente, incluindo o homem; e (2) *S. bongori*, frequentemente associadas com animais de sangue frio, sendo as infecções humanas consideradas meramente acidentais. Epidemiologicamente, salmonelose pode ser dividida entre tifoide (*S. Typhi*, *Paratyphi*, B and C, como agentes causais dessas doenças) e não tifoídes (todos os demais sorotipos de *S. enterica* subespécie I, como, *Enteritidis* and *Typhimurium*, e.g.).

Como muitos sorotipos não tifoídes estão envolvidos em surtos de salmonelose, é suficiente associar a transmissão hídrico-alimentar, devido as baixas condições sanitárias, principalmente observadas nos países em desenvolvimento. Uma estimativa global, de acordo com a World Health Organization (WHO),

casos de febre tifoide ocorrem dentro da ordem de 16 milhões de pessoas doentes, 600.000 mortes em todo mundo (WHO, 2000; 2007).

Mas são os sorotipos não tifoídes de *Salmonella* que estão principalmente envolvidos em surtos de salmonelose causados em todo o mundo que tem alarmado as autoridades de saúde. Sendo sua origem alimentar, incluindo a água do mar e alimentos de origem marinha, estes sorotipos têm emergido devido à dificuldade em programas de vigilância epidemiológica para rastrear o microrganismo, devido à ausência de barreira geográfica que estes microrganismos apresentam (CRUMP *et al.*, 2004; GALANIS *et al.*, 2006; FORSHELL and WIERUP, 2006).

Estes microrganismos espalham-se principalmente pelo mundo devido à ausência de dados de notificação; isto é, o diferencial do que ocorre com a febre tifoide, pois os Centros de Monitoramento em Epidemiologia não consideram a salmonelose não tifoide de notificação compulsória (CVE\_DTA, 2003).

No Brasil, foi registrado pelo Departamento de Saúde que cerca de 190 surtos foram causados por *Salmonella* não tifoide entre 1999 e 2004 (CARMO *et al.*, 2004). Em 2000, o CDC estimou aproximadamente a ocorrência anual de 1,4 milhões de casos. Em um estudo realizado entre 2002 e 2003, em sete regiões portuárias brasileiras (Belém, PA; Fortaleza, CE; Recife, PE; Itaguaí, RJ; Santos, SP; Paranaguá, PR; Rio Grande, RS), foram selecionados seis pontos de coleta de água, e dentre estes seis regiões foram avaliadas com relação a qualidade da água do entorno e para o perigo microbiológico do hábito de consumo de moluscos bivalves “in natura” (NUNES, 2007).

Neste estudo a presença de *Salmonella* da subespécie I foi observada em 20% (18/90) das amostras de água (Belém, PA; Recife, PE; Santos, SP e Paranaguá, PR) e em 19% (04/21) dos bivalves coletados em bancos naturais de proliferação localizados em áreas próximas das regiões portuárias de Santos e Recife, respectivamente e 93,6% (89/214) confirmaram pertencerem aos principais sorogrupos envolvidos em surtos de salmonelose não tifoide quando utilizamos ferramentas de biologia molecular para caracterizar os sorovares de *Salmonella* spp. Alguns desses sorotipos identificados mostraram-se circulantes na área da baía de Santos por mais de trinta anos (NUNES, 2007).

A presença de sorovares de *Salmonella* subespécie I compromete a qualidade microbiológica da água em quatro das sete áreas portuárias pesquisadas, por estarem diretamente envolvidos em surtos clínicos de salmonelose humanos e/ou animais, mostrando que existe perigo microbiológico e sanitário se eventualmente houver captação e transporte através da água de lastro desses navios que, que podem através de longos percursos entre regiões carrear microrganismos patogênicos, até áreas onde a água é utilizada para recreação e para áreas onde não existe contaminação por esses microrganismos ao chegar ao porto de destino (NUNES, 2007).

## 6.5 REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup> ed.; American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation (APHA/AWWA/WEF): Washington, D.C., 1998.

ANDREWS, W.H. and HAMMACK, T.S. (Eds). Bacteriological Analytical Manual *On line.*, 8 ed., Revision A, 1998. Ch. 1. 1998. Available from: Food and Drug Administration. FDA. Revisions: Apr. 2003 Rev. sec. A.1.a, *Salmonella* species sample collection <<http://vm.cfsan.fda.gov/~mow/chap1.html>>. Assessed on: 16 abr. 2003.

AOAC INTERNATIONAL. 1995. Official Methods of Analysis, 16<sup>th</sup> ed. AOAC International, Arlington, VA.

BARNES, R. D. Zoologia dos invertebrados. 4<sup>o</sup> ed., Roca, São Paulo, p. 419-463, 1984.

BRANDS, D. A.; INMAN, A. E.; GERBA, C. P.; MARÉ, C. J.; BILLINGTON, S. J.; SAIF, L. A.; LEVINE, J. A.; and JOENS, L. A. Prevalence of *Salmonella* spp. in oysters in the United States. *Appl. Environ. Microbiol.*; 71 (2): 893-897, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Água de Lastro. Brasília: Projetos GGPAF, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 451, de 19 de Setembro de 1997. *Diário Oficial*, 124-E, 02 de Julho de 1998. Seção 1, p. 6. Aprova o regulamento técnico e princípios gerais para o estabelecimento de critérios e padrões microbiológicos para alimentos e seus anexos I, II e III.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional da Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução (Res.) n. 12, de 02 de janeiro de 2001:** Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos em alimentos. Available from: <<http://www.anvisa.gov/legis/resol/1201redc.htm>>. Assessed on: 27 ago. 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretária de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. 320 p. Doenças infecciosas e parasitárias: guia de bolso/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. 6. Ed. Rev. – Brasília: Ministério da Saúde, 2005 (Série B. Textos Básicos em Saúde). Available from: <<http://www.saude.gov.br/>>. Assessed in: 16 jun. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenadoria Geral de Vigilância em Saúde Ambiental/ Secretaria de Vigilância em Saúde/ Ministério da Saúde, Brasil (CGVAM/SVS/MS). Vigilância em Saúde Ambiental: dados e indicadores selecionados – 2006 (Anual). 2 p. – v. 1, n. 1. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BREZENSKI, F.T. Estuary water quality and *Salmonella*. In: National Speciality Conference on Desinfection, New York, 1970 (Proceedings); New York, *Amer. Soc. Civil Eng.*, p. 481-514, 1970.

BURNETT, S.L.; GEHM, E.R.; WEISSINGER, W.R.; BEUCHAT, L.R. Survival of *Salmonella* in peanut butter and butter spread. *J. Appl. Microbiol.*; 89: 472 – 477, 2000.



BUTTIAUX, R. & LEURS, T. Survie des *Salmonella* dans l'eau de mer. **Bull. Acad. Nat. Med.**; 137(25,26,27): 457-459, 1953.

BUXTON, A. & FRASIER, G. *Animal Microbiology*. Blackwell Scientific Publication (Ed.); London, U.K., 1977.

CABELLI, V.J.; LEVIN, M.A.; DUFOUR, A.P.; McCABE, L.J. The development of criteria for recreational water. In: International Symposium on Discharge of Sewage from Sea Outfalls. Paper n. 7 [Proceedings], London Press; London, 1974.

CARMO, G.M.I.; ALVES, R.M.S.; de ALMEIDA, M.G.; DIMECH, C.P.N.; OLIVEIRA, A.A.; CARMO, E.H. Perfil Epidemiológico dos Surtos de Doenças Transmitidas por Alimentos no Brasil, 1999 – 2004. Secretaria de Vigilância em Saúde – SVS / Ministério da Saúde – MS, 2004. Available from: <[http://www.cbmvha.org.br/publicacoes/perfil\\_epidemiologico.doc](http://www.cbmvha.org.br/publicacoes/perfil_epidemiologico.doc)>. Assessed on: 02 fev. 2007.

CATALÃO-DIONISIO, L.P.; JOÃO, M.; SOARES FERREIRO, V.; HIDALGO, M.I.; GARCIA ROSADO, M.E.; BORREGO, J.J. Occurrence of *Salmonella* spp. in estuarine and coastal waters of Portugal. **Ant. Leeuwenhoek**. 78: 99-106, 2000.

CDC. Centers for Diseases Control and Prevention. Surveillance for food-borne disease outbreaks – United States, 1993-1997. **Morb. Mortal. Wkly. Rep. Surveill. Summ.**; 49: 1-51, 2000.

CENTRO DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (CVE\_DTA). Surtos de doenças notificados transmitidos por alimentos. Available from: <[http://www.cve.saude.sp.gov.br/htmlDTA\\_TAB201.html](http://www.cve.saude.sp.gov.br/htmlDTA_TAB201.html)>. Assessed on: 14 ago. 2003.

COETZEE, O. J. The viability of *Salmonella typhi* in sea water. **Publ. Health. Johannesburg**. 63: 5-11; 1963.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução (Res.) CONAMA n. 274, de 29 de novembro de 2000 (274/00): “Revisa os critérios de Balneabilidade em Águas Brasileiras”. Resolução publicada no D.O.U. em: 08 jan. 2001.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Res. CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005 (357/05): “Reconhece a vigência da Res. CONAMA 274/00, dispõe diretrizes sobre a classificação dos corpos d'água para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões dos lançamentos de efluentes e dá outras providências”. D.O.U. from: 21 mar. 2005.

CRUMP, J.A.; LUBY, S.P.; MINTZ, E.C. The global burden of typhoid fever. **Bull World Health Organ.**; 82: 346-353, 2004.

DELILLE D. and DELILLE E. Distribution of enteric bacteria in Antarctic seawater surrounding the Dumont d'Urville Permanent Station (Adélie Land). **Mar. Pollut. Bull.**; 40: 869-872, 2000.

EFSA. EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and antimicrobial resistance in the European Union in 2004. **EFSA J.**; 310 (10): 23-95, 2006.

FAYER, R.; GAMBLE, H.R.; LICHTENFELS, J.R.; BIER, J.W. Waterborne and foodborne parasites. In: VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D. (Eds). Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 3<sup>th</sup> ed. chapter 41. Washington, D. C.: APHA, 1992.

FEACHEM, R.G.; BRADLEY, D.J.; GARELICH, H.; MARA, D.D. Sanitation and Disease: health aspects of excreta and wastewater management. New York: John Wiley. p. 501. World bank in studies in water supply and sanitation, no. 3, 1983.

FORSHELL, L. P. and WIERUP, M. *Salmonella* contamination: a significant challenge to the global marketing of animal food products. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epi.*; 25(2): 541-554, 2006.

FUNASA, 2001. Avaliação dos indicadores de qualidade das atividades de Vigilância Epidemiológica e Ambiental em Saúde. Relatório Técnico, Brasília, DF. Available from: <<http://www.funasa.gov.br>>. Assessed on: 11 nov. 2005.

GALANIS, E.; LO FO WONG, D.M.; PATRICK, M.E.; BINSZTEIN, N.; CIESLIK, A.; CHALERMCHIKIT, T. E *et al.* Web-based Surveillance and Global *Salmonella* Distribution. World Health Organization Global Salm-Surv. 2001-2002. *Emerg. Infect. Dis.*; 12: 381-388, 2006.

GELDREICH, E.E. Applying bacteriological parameters to recreational water quality. *J. Amer. Water Works Assoc.*; 62 (1): 113-120, 1970.

GREENBERG, A.E. Survival of enteric organisms in sea water. *Publ. Health Rep.*; 71 (1): 77-86, 1956.

HERIKSTAD, Y.; MOTARJEM, I.; TAUXE, R.V. *Salmonella* surveillance: a global survey of public health serotyping. *Epidemiol. Infect.*; 129:1 – 8, 2002.

HITCHINS, A.D.; FENG, P.; WATKINS, W.D.; RIPPEY, S.R.; CHANDLER, L.A. *Escherichia coli* and Coliform bacteria. Available from: <<http://cfsan.fda.gov>>. Assessed on: 14 out. 2001.

JOACHEMISTHAL, E.L.; IVANOV, V.; TAY, J-H; TAY, S.T-L. Flow cytometry and conventional enumeration of microorganisms in ships's ballast water and marine samples. *Mar. Pollution Bull.*; 46: 308 – 313, 2003.

KRAMER, M.H.; HERWALDT, B.L.; CRAUN, G.F.; CALDERON, R.L.; JURANEK, D.D. Surveillance for waterborne-disease outbreaks, United States, 1993-1994. *J. Am. Water Works Assoc.*; 88: 66 – 80, 1996.

LOPES, C.A.M.; MORENO, G.; WATANABE, D.A.S.; CONCEIÇÃO, A.H. Isolamento de *Salmonella* em moluscos marinhos. *Arq. Inst. Biol. São Paulo*; 46(3/4): 103 – 106, 1979.

McCARTHY, S.M. & KHAMBATHY F.M. International dissemination of epidemic *Vibrio cholerae* by cargo ship ballast and other non potable waters. *Am. Soc. Microbiol.*, 60: 2597-2601, 1994.

MARTINS M.T.; PESSOA G.V.A.; SANCHEZ P.S.; SATO M.I.Z.; COIMBRÃO C.A.; MONTEIRO C.K.; MARQUES E. Occurrence of *V. cholerae* O1 non-toxigenic in wastewaters from São Paulo, Brazil. *Wat. Sci. Tech.*, 1991, 24, 363-6.

MARTINS M.T.; PESSOA G.V.A.; SANCHEZ P.S.; SATO M.I.Z.; BRAYTON P.R.; COLWELL R.R. Detection of *Vibrio cholerae* O1 in the aquatic environmental in Brazil employing direct immunofluorescence microscopy. **World J. Microbiol. Biotechnol.**, 1993, 9, 390-2.

MATTÉ, G.R.; MATTÉ, M.H.; SATO, M.I.Z.; SANCHEZ, P.S.; RIVERA, I.G.; MARTINS, M.T. Potentially pathogenic vibrios associated with mussels from a tropical region on the Atlantic coast of Brazil. **Intern. J. Food Microbiol.**; (116): 297-300, 1994.

MORSE, E.V. & DUNCAN, M.A. Salmonellosis an environmental health problem. **J. Am. Vet. Med. Assoc.**; 165: 1015 – 1019, 1974.

NUNES, S.L. *Salmonella* spp. Isoladas de Água e Moluscos Bivalves de Regiões Portuárias Brasileiras – Suscetibilidade Antimicrobiana e Caracterização Molecular dos Sorogrupos (A – D1, B E C2-C3). 137f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, 2007.

NRC. National Research Council. Stemming the tide: Controlling introductions of nonindigenous species by ships' ballast water. Washington D.C.: **National Academic Press**, 1996.

NRC. National Research Council. Understanding the ocean's role in human health: from monsoons to microbes. Washington D.C.: **National Academic Press**, 132p. 1999.

OLAFSEN, J.A.; MIKKELSEN, H.V.; GIEVER, H.M.; HANSEN, G.H. Indigenous bacteria in hemolymph and tissues of marine bivalves at low temperatures. **Appl. Environ. Microbiol.**; 59 (6): 1848-1854, 1993.

PIERCE, R.; CARLTON, J.T.; CARLTON, D.; GELLER, J.B. Ballast water as a vector for tin tinned transport. **Mar. Ecol. Progr. Ser.**, 149: 295-7, 1997.

RIVERA N.G.I. & MARTINS, M.T. Bactérias enteropatogênicas no ambiente aquático. **Rev. Ciênc. Farm. São Paulo**; 17: 115-136, 1996.

RT/ANVISA. Relatório Técnico Projeto: “Diagnóstico Microbiológico de Áreas de Risco nos Portos de: Belém/PA; Itaguaí/RJ; Fortaleza/CE; Recife/PE; Santos/SP; Paranaguá/PR e Rio Grande/RS”, colaboração entre equipe do laboratório de Microbiologia Ambiental do Instituto Ciências Biomédicas II da Universidade de São Paulo (ICBII/USP) e Agencia Nacional de Vigilância Sanitária de Portos, Aeroportos e Fronteiras (ANVISA). 187 p.; 2004.

RUIZ, G.M. Global spread of microorganisms by ships: Ballast water discharge from vessels harbors a cocktail of potential pathogens. **Nature**; 408: 49-50, 2000.

SAKER, L.; LEE, K.; CANNITO, B.; GILMORE, A.; CAMPBELL – LENDRUM, D. Globalization and Infectious Diseases: A Review of the Linkages. Steering Committee for Social, Economic and Behavioral Research UNDP/World Bank/WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases (TDR/STR/SEB/ST) In: **World Health Organization (WHO)**, 67 p. 2004.

SILVA, J.S.V.; FERNANDES, F.C.; SOUZA, R.C.C.L.; LARSEN, K.T.S.; DANELON, O.M. Água de lastro e a bioinvasão. In: SILVA, J.S.V & SOUZA, R.C.C.L. Água de Lastro e Bioinvasão. Rio de Janeiro: **Ed. Interciência**. p. 1 – 10. 2004.

SOUZA, K.M.C. Qualidade microbiológica de água de lastro de navios, água e bivalves da região portuária brasileira, com ênfase na detecção, pesquisa de fatores associados à virulência e epidemiologia molecular de *Vibrio cholerae* O1. 400 f (?). Tese (Doutorado em Microbiologia) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. [Hardcover]. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In: GREENBERG, A.E.; CLESCERI, L.S.; EATON, A.D. (Eds.), 18<sup>th</sup> ed.; p. 9 -14., 1992.

STEINIGER, F. *Salmonella panama* in polluted harbors. *Arztl. Wochensch.*; 7(2): 42 – 44, 1952.

TAKAHASHI C.K., LOURENÇO N.G.G.S., LOPES T.F., RALL V.L.M., LOPES C.A.M. Ballast Water: A Review of the Impact on the World Public Health. *J. Venom. Anim. Toxins incl. Trop. Dis.*, 14(3): 394 – 408, 2008.

WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Global water supply and sanitation assessment 2000 report. Geneva: WHO/UNICEF; 2000.

WHO Global Salm-Surv. Progress report (2000 – 2005); building capacity for laboratory-based foodborne disease surveillance [monograph on the Internet]. [cited 2005 Dec 28]. Available from: <[http://www.who.int/salmsurv/GSSProgressReport2005\\_2.pdf](http://www.who.int/salmsurv/GSSProgressReport2005_2.pdf)>.

WHO. Cholera, 2005. *Wkly Epidem. Rec.* 81: 297-308, 2006.

WHO. Water supply data at global level. Available from: <[http://www.wssinfo.org/en/22\\_wat\\_global.html](http://www.wssinfo.org/en/22_wat_global.html)>. Sanitation data at global level. Available from: <[http://www.wssinfo.org/en/32\\_san\\_global.html](http://www.wssinfo.org/en/32_san_global.html)>. Assessed on: 13 jan. 2007.

WOOD, P.C. Guide to shellfish hygiene. World Health Organization offset publication no. 31. WHO, Geneva, 1976.



# ESTUDO EXPERIMENTAL E NUMÉRICO SOBRE REMOÇÃO DE SEDIMENTOS NUM TANQUE DE LASTRO

**LIANG-YEE CHENG, PEDRO HENRIQUE SAGGIORATTO OSELLO,  
LUCAS SOARES PEREIRA, GABRIEL HENRIQUE DE SOUZA RIBEIRO,  
FABIO KENJI MOTEZUKI**

## 7.1 INTRODUÇÃO

O transporte de água de lastro a longas distâncias pelas embarcações e seu despejo no destino são fontes de preocupação por causa do impacto ambiental que pode ser gerado pela introdução de espécies e/ou materiais não nativos. Como medida de controle, diversas técnicas de monitoração e tratamento de água de lastro têm sido propostas. Uma das abordagens são as técnicas de renovação da água de lastro durante a viagem, tais como *flow-through* ou *sequential exchange*.

Nos últimos anos, diversos estudos sobre a eficácia destas técnicas foram realizados focando essencialmente na qualidade da água de lastro e segurança operacional. No entanto, a presença dos sedimentos, que apresentam propriedades distintas da água, é sistematicamente desprezada. No caso de tanques de duplo fundo das embarcações, que normalmente são utilizados como tanques para água de lastro, os sedimentos depositados e carregados à longa distância são agravantes do impacto ambiental, porque podem propiciar ambientes favoráveis para a proliferação de micro-organismos.

Remoção de sedimentos é um processo importante em diversas áreas de engenharia e um fenômeno extremamente complexo devido ao grande número de fatores intervenientes e neste trabalho o processo de remoção de sedimento nos tanques de duplo fundo é investigado por meio de abordagens experimental e numérica.

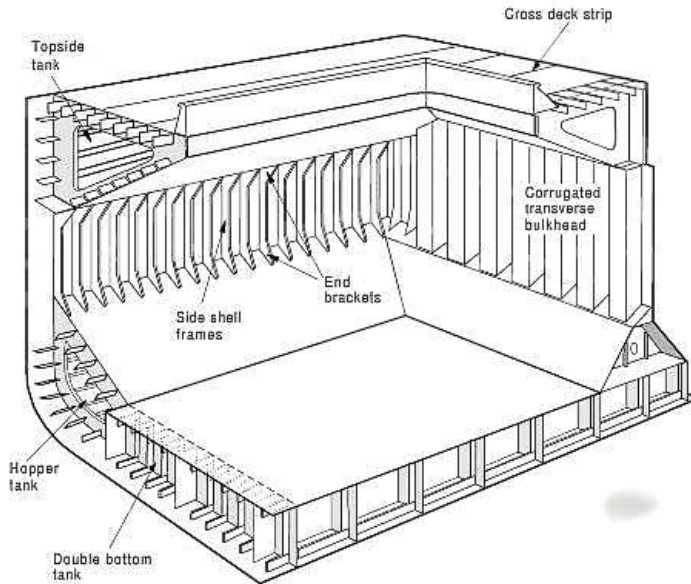
Por simplicidade, experimentos físicos foram conduzidos, onde o sedimento é aproximado por pequenas esferas de material homogêneo. Numericamente, tendo em vistas as propriedades distintas entre a água e o sedimento, que é essencialmente uma camada de material lamacento, ambos foram modelados como fluídos homogêneos, newtonianos, imiscíveis e de densidades diferentes. A fim de capturar melhor a complexa interface entre os fluídos, o método de simulação Moving Particle Semi-Implicit (MPS), que é baseado em descrição lagrangeana e discretização do meio contínuo em partículas foi adotado. Por meio da análise comparativa entre os resultados numéricos e experimentais, e levando em conta as semelhanças e diferenças, entre os dois, são discutidos os mecanismos da remoção do sedimento, assim como os méritos e deficiências do modelo numérico.

## **7.2 MODELO EXPERIMENTAL**

O experimento foi concebido baseado em modelos de tanque de lastro de duplo fundo com duto conectado a uma bomba para promover a circulação de água. Apesar do procedimento de troca de água do lastro ser realizado num ambiente dinâmico, com excitação provocada pelas ondas, o ensaio será realizado considerando condições estáticas, objetivando facilitar a análise do fenômeno.

### **7.2.1 Dimensões do modelo experimental**

A Figura 36 apresenta um exemplo da configuração estrutural do tanque de lastro de um navio graneleiro. O espaço onde é armazenada a água de lastro do navio se encontra entre o chapeamento do fundo do porão de carga e o chapeamento do fundo do casco, e por isso é conhecido como duplo fundo. Nessa região estão localizados diversos elementos estruturantes da embarcação, além disso é compartimentada por anteparas estanques ou comunicantes, resultando em diversos tanques de geometria similar.

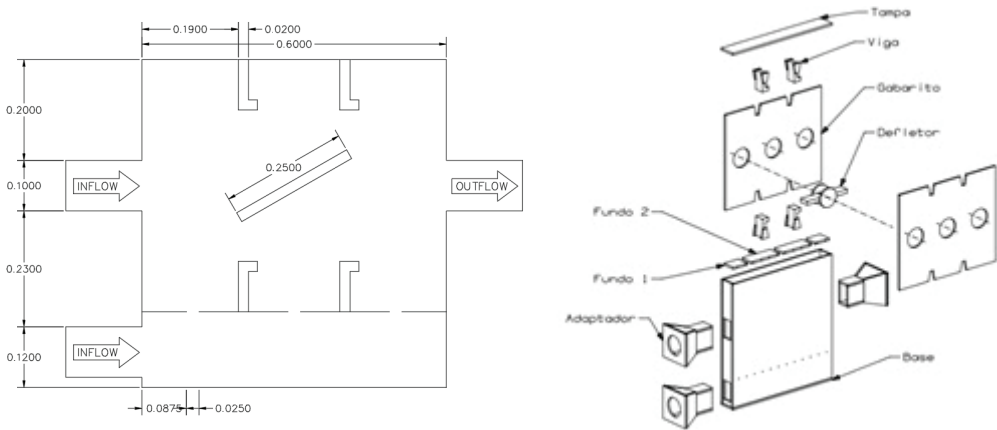


**Figura 36** Perspectiva em corte do porão de uma embarcação com tanque de duplo fundo

O modelo experimental projetado é uma representação em escala reduzida de um tanque de duplo fundo, ao considerar as dimensões típicas do tanque e o espaço disponível no laboratório foi adotada a escala de 1:4. A concepção do modelo foi realizada de forma a tornar o experimento flexível, possibilitando diversas configurações e reutilização das peças. De maneira geral o modelo projetado é constituído por um tanque externo resistente e um gabarito interno adaptável, possibilitando a modificação da configuração interna do tanque sem a necessidade de construção de um novo.

Além de modelar a configuração normal do tanque de lastro, o modelo utilizado nesse trabalho também foi projetado para investigar a influência da instalação de defletor e sua inclinação (ângulo de ataque) no direcionamento do escoamento dentro do tanque e a sua eficácia na remoção dos sedimentos durante a operação de troca da água de lastro. Por simplicidade, o modelo experimental apresentado será o relativo às simulações 2D, como pode ser visto na Figura 37. A espessura do tanque é de 5,0 cm, desconsiderando a espessura das placas.





**Figura 37** Seção longitudinal média do tanque (esquerda) e visualização explodida do modelo laboratorial (direita). O duto de saída da parte inferior do tanque do tanque (abaixo da linha pontilhada) não foi usado nesta fase inicial dos estudos

## 7.2.2 Conjunto Experimental

O conjunto experimental completo abrange o sistema de armazenamento da água, os dispositivos de medição, o mecanismo de controle de vazão, o sistema de recuperação da água utilizada nos ensaios e o dispositivo para realização do recalque.

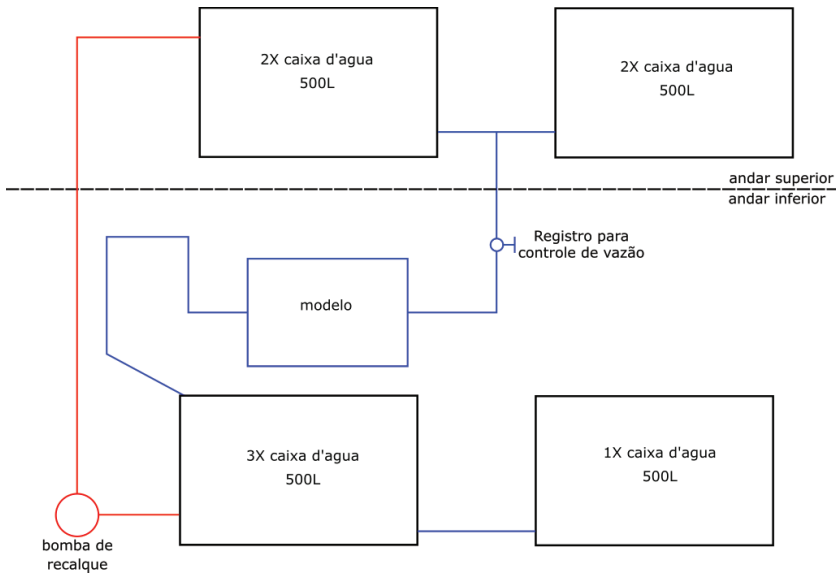
As caixas d'água responsáveis por fornecer a água para o tanque estão localizadas em pavimento superior ao modelo, esse desnível é responsável pela circulação da água durante os ensaios. O desnível entre os pavimentos é de cerca de 2,7 m. O sistema instalado no pavimento superior consiste de quatro caixas interconectadas por tubulações. No barrilete superior estão instalados dois dispositivos de perda de carga localizados, que possibilitam a medição da vazão.

Após a passagem pelos dispositivos de perda de carga, o fluido segue pelo tubo de queda vertical, onde está localizado o registro gaveta, que é responsável pelo controle de vazão durante os ensaios. Depois da curva da queda vertical o fluido entra no modelo, que já foi visto em detalhes na subsecção anterior. No tanque estão instalados sensores de pressão, que juntamente com os sensores de pressão do barrilete superior formam o painel de manômetros.

Depois de passar pelo modelo, a água segue pela tubulação até alcançar o reservatório inferior. No fim dessa tubulação foi instalada uma rede para a separação do material utilizado como sedimento durante os ensaios, de forma a evitar que o material pudesse ser succionado pela bomba de recalque. O reservatório inferior é formado por um conjunto de quatro caixas d'água, que são conectadas de forma a distribuir o volume de água proveniente dos ensaios.

O conjunto experimental fica completo com a utilização de bomba e mangueira, que é responsável pelo recalque do fluido utilizado durante os ensaios. A bomba é posicionada dentro do reservatório inferior, enquanto a saída fica no reservatório superior.

A Figura 38 apresenta uma visão esquemática do conjunto completo do experimento.



**Figura 38** Esquema completo do conjunto do experimento de tanque de lastro

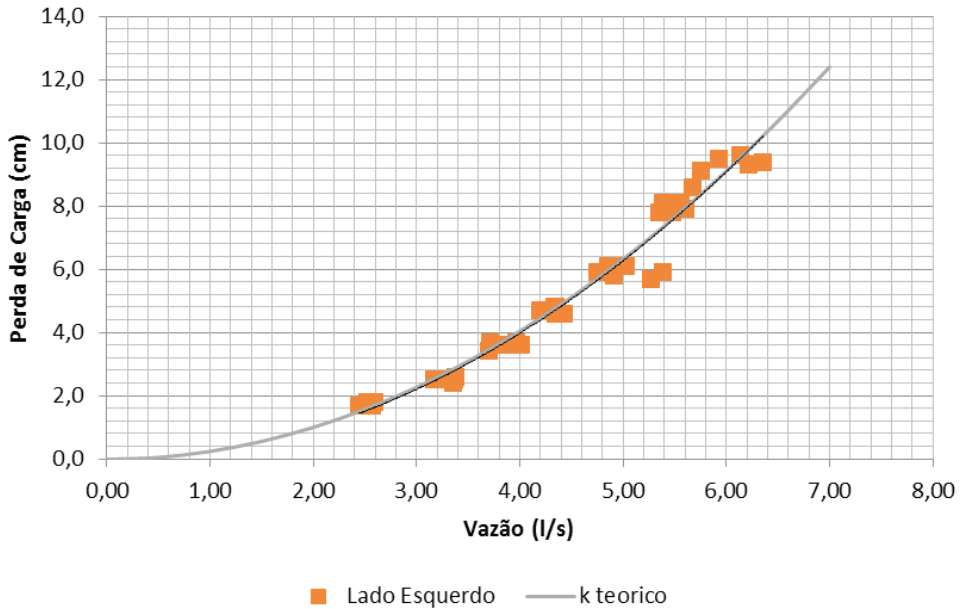
### 7.2.3 Calibração dos manômetros

Os sensores de pressão instalados antes e depois da perda de carga localizada no barrilete superior foram projetados especificamente para que fosse possível a medição da vazão durante os ensaios. A correlação entre a perda de carga medida e a velocidade do escoamento é realizada a partir da seguinte formulação:

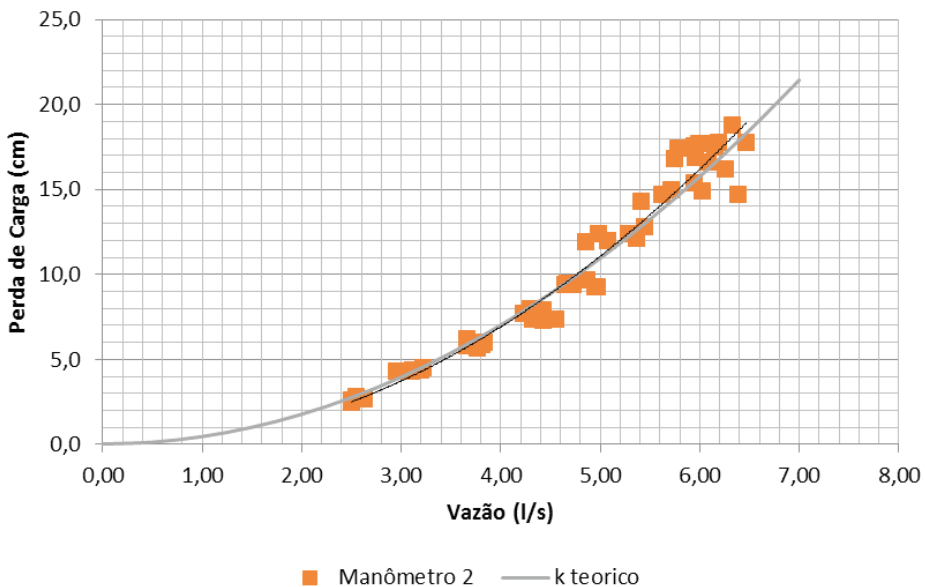
$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Sendo  $h_f$  a perda de carga localizada,  $K$  o coeficiente relativo do dispositivo em uso,  $g$  a aceleração da gravidade e  $v$  a velocidade do fluxo. Portanto, a correlação entre perda de carga localizada medida nos manômetros e a velocidade do fluxo depende apenas do coeficiente  $K$ , que pode ser determinado experimentalmente. A determinação desse valor dá-se o nome de calibração do manômetro e foi realizada experimentalmente a partir da medição da vazão de saída do conjunto de acordo com diversas aberturas do registro gaveta. A medição da vazão

de saída foi realizada a partir da medição do tempo necessário para encher um balde de 22,45 l. Enquanto isso, foi realizada a filmagem da variação do nível dos manômetros. As Figura 39 e Figura 40 mostram a relação dos valores obtidos para os dispositivos de perda de carga localizada:



**Figura 39** Curva de calibração do manômetro 1



**Figura 40** Curva de calibração do manômetro 2

A curva do  $K$  teórico foi obtida a partir da média dos valores de cada ponto, calculados a partir da Equação 1. A proximidade entre essa curva e a linha de tendência dos pontos demonstra a consistência do método empregado. Para o manômetro 1, o valor de  $K$  é igual a 0,968 e para o manômetro 2, o valor de  $K$  é igual a 1,676.

### 7.3 MÉTODO NUMÉRICO

#### 7.3.1 Equações governantes

As equações governantes para o escoamento incompressível são as equações da conservação de massa e do momento, Eqs. (2) e (3):

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \nabla^2 \vec{v} + \vec{f} \quad (3)$$

onde  $\rho$  é a massa específica,  $t$  o tempo,  $\vec{v}$  a velocidade,  $P$  a pressão,  $\nu$  a viscosidade cinemática e  $\vec{f}$  a força externa.

#### 7.3.2 Operadores diferenciais discretos

No método MPS, todos os termos das equações governantes, representados por operadores diferenciais, são substituídos por operadores diferenciais discretos em uma distribuição irregular de nós, onde, para cada partícula  $i$ , a influência de uma partícula vizinha  $j$  é definida pela função peso  $\omega_{ij}$ :

$$\omega_{ij} = \begin{cases} \frac{r_e}{\|\vec{r}_{ij}\|} - 1 & \|\vec{r}_{ij}\| \leq r_e \\ 0 & \|\vec{r}_{ij}\| > r_e \end{cases} \quad (4)$$

onde  $r_e$  é o raio efetivo, que estabelece quais partículas  $j$  devem ser consideradas no cálculo das grandezas físicas da partícula  $i$ , e  $\|\vec{r}_{ij}\|$  é a distância entre as partículas  $i$  e  $j$ .

Para cada partícula  $i$ , a somatória dos pesos de todas as partículas vizinhas  $j$ , é definido como a densidade do número de partículas  $n_i$ :

$$n_i = \sum_{j \neq i} \omega_{ij} \quad (5)$$

Desta forma, para uma função escalar  $\phi$ , os operadores gradiente e laplaciano são definidos pelas Eqs. (6) e (7), respectivamente:

$$\langle \nabla \varphi \rangle_i = \frac{d}{n_{\max}^0} \sum_{j \neq i} \frac{(\varphi_j - \varphi_i)}{\|\tilde{r}_{ij}\|^2} \tilde{r}_{ij} \omega_{ij} \quad (6)$$

$$\langle \nabla^2 \varphi \rangle_i = \frac{2d}{\lambda n_{\max}^0} \sum_{j \neq i} (\varphi_j - \varphi_i) \omega_{ij} \quad (7)$$

onde  $d$  é a dimensão espacial,  $n_{\max}^0$  é o valor inicial máximo de  $n_i$  e  $\lambda$  é um parâmetro de correção, que faz o ajuste do crescimento da variância e pode ser calculado como:

$$\lambda = \frac{\sum_{j \neq i} \|\tilde{r}_{ij}\|^2 \omega_{ij}}{\sum_{j \neq i} \omega_{ij}} \quad (8)$$

Para o escoamento incompressível, um algoritmo semi-implícito é utilizado no método MPS. Inicialmente, velocidade e posição são calculadas explicitamente, considerando os termos de viscosidade e força externa da equação de conservação do momento, Eq. (3). Após os cálculos da parte explícita, a pressão de todas as partículas é calculada implicitamente pela solução do sistema linear formado pela equação de Poisson para a pressão:

$$\langle \nabla^2 P \rangle_i^{t+\Delta t} - \alpha \frac{\rho}{\Delta t^2} P_i^{t+\Delta t} = -\gamma \frac{\rho}{\Delta t^2} \frac{n_i^* - n_{\max}^0}{n_{\max}^0} \quad (9)$$

onde  $n_i^*$  é a densidade do número de partículas calculada após os deslocamentos das partículas na fase explícita,  $\alpha$  é o coeficiente de compressibilidade artificial que permite uma compressibilidade limitada e acelera a convergência da solução do sistema linear e  $\gamma$  é o coeficiente de relaxação que é utilizado para reduzir oscilações de pressão artificiais. Além disso, o gradiente de pressão também é modificado para melhora da estabilidade do MPS (KOSHIZUKA *et al.*, 1996):

$$\langle \nabla P \rangle_i = \frac{d}{n_{\max}^0} \sum_{j \neq i} \frac{(P_j - \hat{P}_i)}{\|\tilde{r}_{ij}\|^2} \tilde{r}_{ij} \omega_{ij} \quad (10)$$

onde  $\hat{P}_i$  é a pressão mínima entre os vizinhos da partícula  $i$ , garantindo exclusivamente forças de repulsão, evitando sobreposição entre partículas.

Por fim, a velocidade das partículas é atualizada, considerando somente o termo do gradiente de pressão, e a nova posição das partículas é obtida.

## 7.4 CONDIÇÕES DE CONTORNO

### 7.4.1 Superfície livre

A identificação das partículas de superfície livre é feita com base no número de densidade de partículas. Uma partícula é definida como partícula de superfície livre e sua pressão igualada à zero, quando seu número de densidade de partículas  $n_i$  é menor do que  $\beta n_c$ , com  $0 < \beta < 1$ .

### 7.4.2 Paredes rígidas

As paredes sólidas são representadas por três camadas de partículas fixas. As partículas em contato com fluido são denominadas partículas de parede, com suas pressões calculadas pela equação de Poisson para a pressão, Eq. (9), juntamente com as partículas de fluido. As partículas que formam as outras duas camadas são denominadas partículas *dummy*. As partículas *dummy* são utilizadas para garantir o cálculo correto do número de densidade de partículas nas partículas de parede, não sendo calculada a pressão destas partículas.

### 7.4.3 Contorno com recirculação

Para a modelagem das condições de entrada e saída de fluxo no tanque, foi utilizada a condição de contorno de recirculação proposta por BELLEZI *et al.* (2013). A condição de contorno essencialmente tenta reproduzir um escoamento em circuito fechado, melhorando a eficiência computacional e reduzindo o domínio de todo circuito por meio da adoção de condição de periodicidade associada a uma região de transição, onde as velocidades são ajustadas de forma que o fluido é reintroduzido no domínio computacional segundo um perfil desejado. A esta região de ajuste convencionou-se chamar de controlador de fluxo.

O funcionamento do controlador de fluxo é dividido em dois estágios sucessivos ao longo do tempo. O primeiro estágio, em regime transiente, aplica um campo de acelerações horizontal para iniciar o escoamento das partículas em repouso. A duração desta etapa, definida como  $t_{ramp}$ , é determinada com base no tempo necessário para uma partícula em repouso atingir a velocidade desejada para a injeção. Passado este período de tempo dá-se início ao segundo estágio, em regime permanente. No segundo estágio o ajuste para a circulação do fluido ocorre exclusivamente na região do controlador de fluxo, definida no início da simulação como um dos parâmetros de entrada necessários, o controlador de fluxo compreende um trecho na entrada da geometria e um trecho na saída. Considerando o fluxo na direção horizontal, dentro do controlador, a velocidade ho-

horizontal das partículas é ajustada para a velocidade desejada e a velocidade vertical suprimida. O controle da velocidade é realizado por meio da adição de uma componente de velocidade horizontal durante a etapa explícita de cálculo.

A aceleração é imposta adicionando-se um termo à equação de conservação de momento resolvida durante o passo explícito do algoritmo do MPS aplicado às partículas dentro do volume de controle conforme mostrado na Eq. 11, onde  $\rho$  é a densidade do fluido,  $u$  a velocidade,  $g$  a aceleração da gravidade,  $f$  as forças externas,  $\nu$  a viscosidade cinemática e  $t$  o tempo.

$$\left[ \frac{D\vec{u}}{Dt} \right]_{\text{explícito}} = \nu \nabla^2 \vec{u} + \frac{f}{\rho} + \vec{g} + \frac{\partial \vec{u}_{\text{fluxo}}}{\partial t} \quad (11)$$

O termo  $\frac{\partial \vec{u}_{\text{fluxo}}}{\partial t}$  é calculado comparando-se a velocidade atual de cada partícula do fluido dentro do volume de controle e aplicando uma aceleração proporcional à diferença entre a velocidade atual da partícula e a velocidade desejada  $U$ . A aceleração é ainda ponderada por um fator de suavização do tipo senoidal para evitar descontinuidade no domínio computacional. Dessa forma o termo pode ser calculado conforme mostrado na Eq. 12, onde  $x_o$  e  $x_f$  são os limites horizontais do volume de controle e  $a_1$  uma calibração da intensidade de aceleração.

$$\frac{\partial \vec{u}_{\text{fluxo}}}{\partial t} = (U - u) \cdot a_1 \frac{\sin\left(\pi \frac{x - x_o}{x_f - x_o} - \frac{\pi}{2}\right) + 1}{2} \quad (12)$$

Por fim, para evitar que as partículas de sedimento saindo da simulação sejam reintroduzidas, um filtro de partículas foi implementado junto ao controlador de fluxo, de modo que na saída da geometria, é feita uma verificação adicional do tipo de material, e caso não corresponda ao material do fluido, suas propriedades como densidade e viscosidade, bem como o identificador de tipo de material, são alteradas (BELLEZI *et al.*, 2013).

## 7.5 CASOS ESTUDADOS

No caso do fenômeno estudado, por se tratar do escoamento por uma sequência de compartimentos idênticos, uma forma utilizada para reduzir o domínio experimental e o da computação sem comprometer a qualidade dos resultados é focar a análise do fenômeno de forma localizada, individualmente em um dos compartimentos. Adicionalmente, por simplicidade, foi utilizada uma geometria bidimensional, correspondente à seção longitudinal média do compartimento. Nos experimentos físicos, para aproximar o comportamento bidimensional, a

espessura interna do tanque modelo é de 5 cm. A seção longitudinal do tanque tem formato retangular, com 0,5 m de altura e 0,6 m de comprimento, ambos os dutos de entrada e saída do escoamento têm 0,1 m de altura e alinhadas horizontalmente. No interior do tanque existem 4 componentes estruturais na forma de vigas “L”, dois na parte superior do tanque e dois na parte inferior. Adicionalmente, como uma possível medida de potencializar a remoção do sedimento, um defletor de 0,25 m com inclinação ajustável foi instalado no centro do tanque. Uma representação da geometria é apresentada na Figura 37, junto a uma visualização explodida do modelo físico usado em laboratório.

Com a finalidade de verificar a efetividade do método computacional, tanto simulações como experimentos físicos foram realizados. Para isso, 8 casos foram escolhidos, levando em consideração duas vazões de bombeamento diferentes, correspondentes às velocidades de entrada de 0,45 m/s e 0,9 m/s, duas densidades de sedimentos diferentes, sendo 1040 kg/m<sup>3</sup>, correspondente às esferas de ABS com diâmetro médio de 5 mm; e 2400 kg/m<sup>3</sup>, correspondente às esferas de vidro com diâmetro médio de 2 mm, e duas geometrias distintas: uma contendo apenas as vigas estruturais e uma com a adição de um defletor de fluxo, com o intuito de melhorar a eficiência na remoção de sedimentos. Para os casos aqui apresentados, a inclinação do defletor usada foi de 45° no sentido horário. Para facilitar a compreensão, os casos estudados serão referidos de acordo com a nomenclatura fornecida na Tabela 9.

**Tabela 9** Casos estudados

NOME	SEDIMENTO	DENSIDADE (KG/M <sup>3</sup> )	DEFLETOR	ÂNGULO DO DEFLETOR (°)	VELOCIDADE (M/S)
AS1	ABS	1040	Não	-	0,45
AS2	ABS	1040	Não	-	0,90
AC1	ABS	1040	Sim	45	0,45
AC2	ABS	1040	Sim	45	0,90
MS1	Vidro	2400	Não	-	0,45
MS2	Vidro	2400	Não	-	0,90
MC1	Vidro	2400	Sim	45	0,45
MC2	Vidro	2400	Sim	45	0,90

### 7.5.1 Parâmetros computacionais

Os 8 casos foram modelados com distância inicial entre partículas,  $l_0$ , de 0,002 m, resultando em geometrias com cerca de 100 mil partículas. Foi usado



um passo de tempo de  $10^{-4}$ . O coeficiente de relaxação  $\gamma$  usado foi de 0,003 e o coeficiente de compressibilidade artificial  $\alpha$  de  $2,0 \cdot 10^{-8}$ , estes valores foram obtidos empiricamente de modo que as oscilações de pressão e o número de iterações para a convergência do sistema linear fossem minimizados enquanto o escoamento continua sendo considerado incompressível.

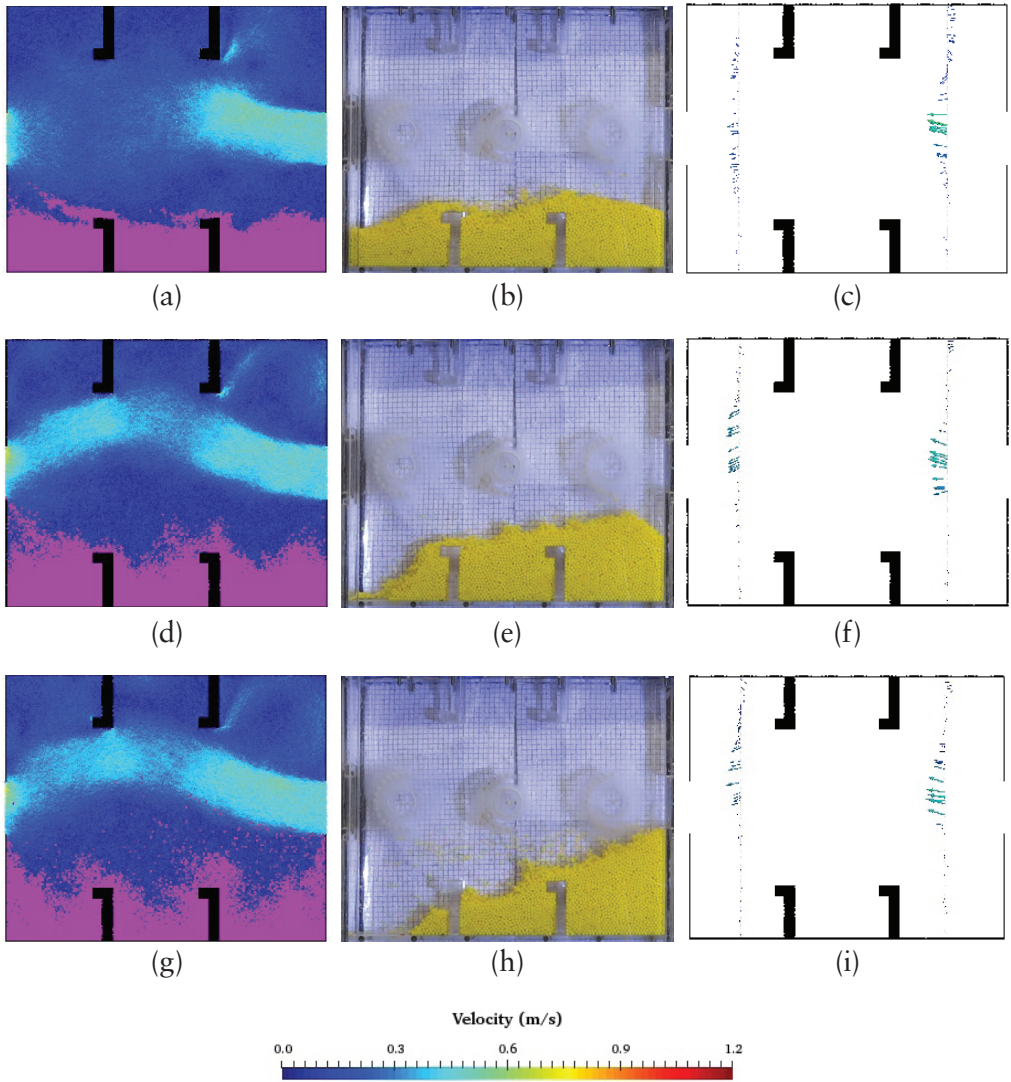
Em todos os casos o intervalo de estudo do fenômeno foi de 30 s, com dois segundos adicionais utilizados para acelerar o escoamento até a velocidade desejada e estabilizá-lo pela condição de recirculação. Além disso, para levar em consideração a água presente nos interstícios do sedimento no experimento laboratorial, foi utilizada a densidade submersa do sedimento, de modo que para o ABS a densidade utilizada foi de  $1020 \text{ kg/m}^3$  e para o vidro  $1700 \text{ kg/m}^3$ . Ambas as densidades foram determinadas em laboratório.

A plataforma computacional utilizada possui dois processadores Intel® Xeon® E5-2680 @2.80GHz com 10 núcleos de processamento cada e 125Gb de memória RAM. Neste equipamento, utilizando o modelo do tanque de lastro com 32s de simulação, são consumidos por volta de 30 horas de processamento.

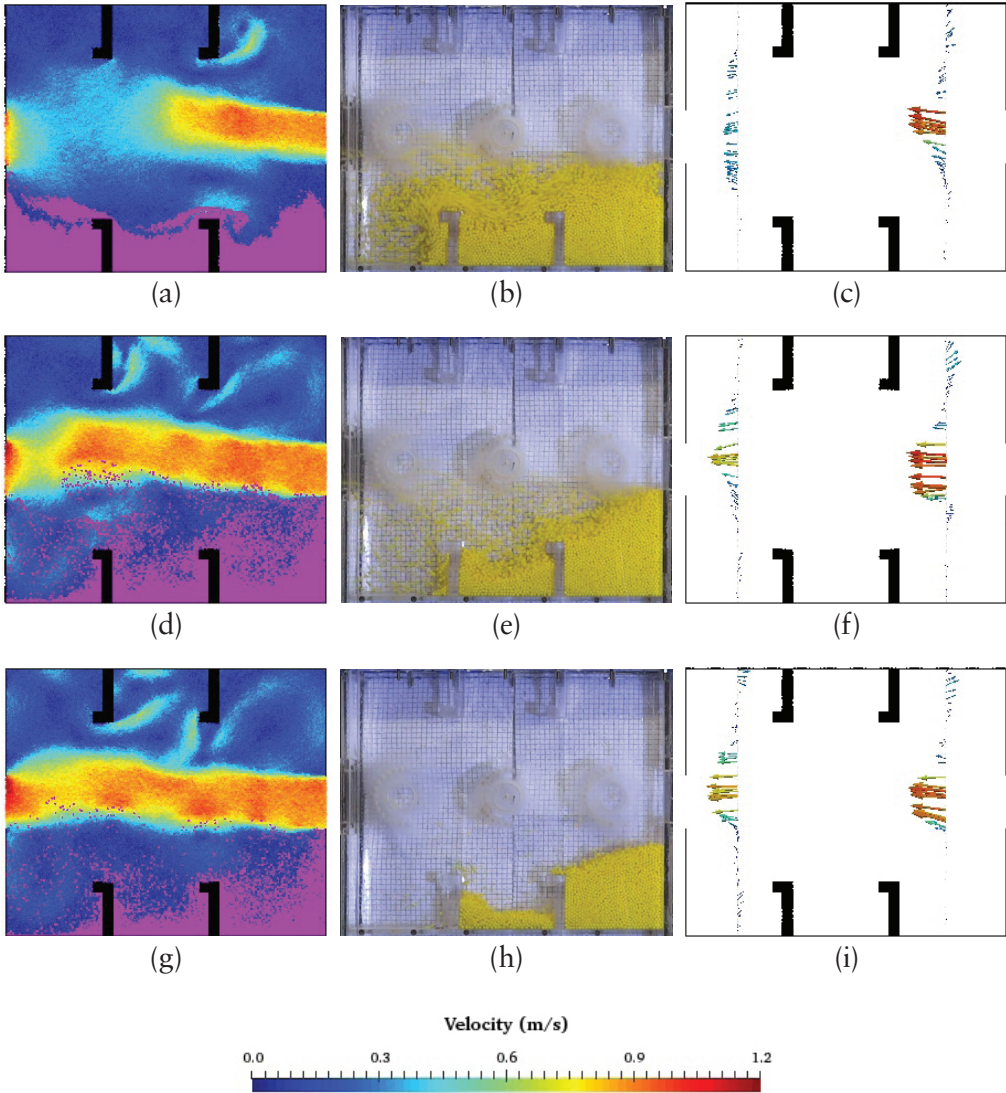
## 7.6 RESULTADOS

A análise dos resultados será baseada na comparação de imagem em três instantes. O primeiro instante se refere ao momento de estabilização da velocidade do fluido dentro do tanque, ou seja, instante em que o fenômeno está em regime permanente, que no modelo numérico corresponde ao instante de alcance da velocidade final pelo controlador de fluxo e no modelo experimental ao instante de estabilização dos manômetros de pressão relativos ao tanque. O segundo instante será considerado o tempo necessário para a circulação de uma quantia de fluido correspondente a três vezes o volume do tanque a partir do instante de estabilização da velocidade. O terceiro instante será relativo ao momento de término de remoção de sedimentos do tanque.

Os resultados obtidos para seis dos casos estudados (AS1, AS2, AC1, AC2, MS2 e MC2) serão discutidos a seguir das Figura 41 – Figura 46.



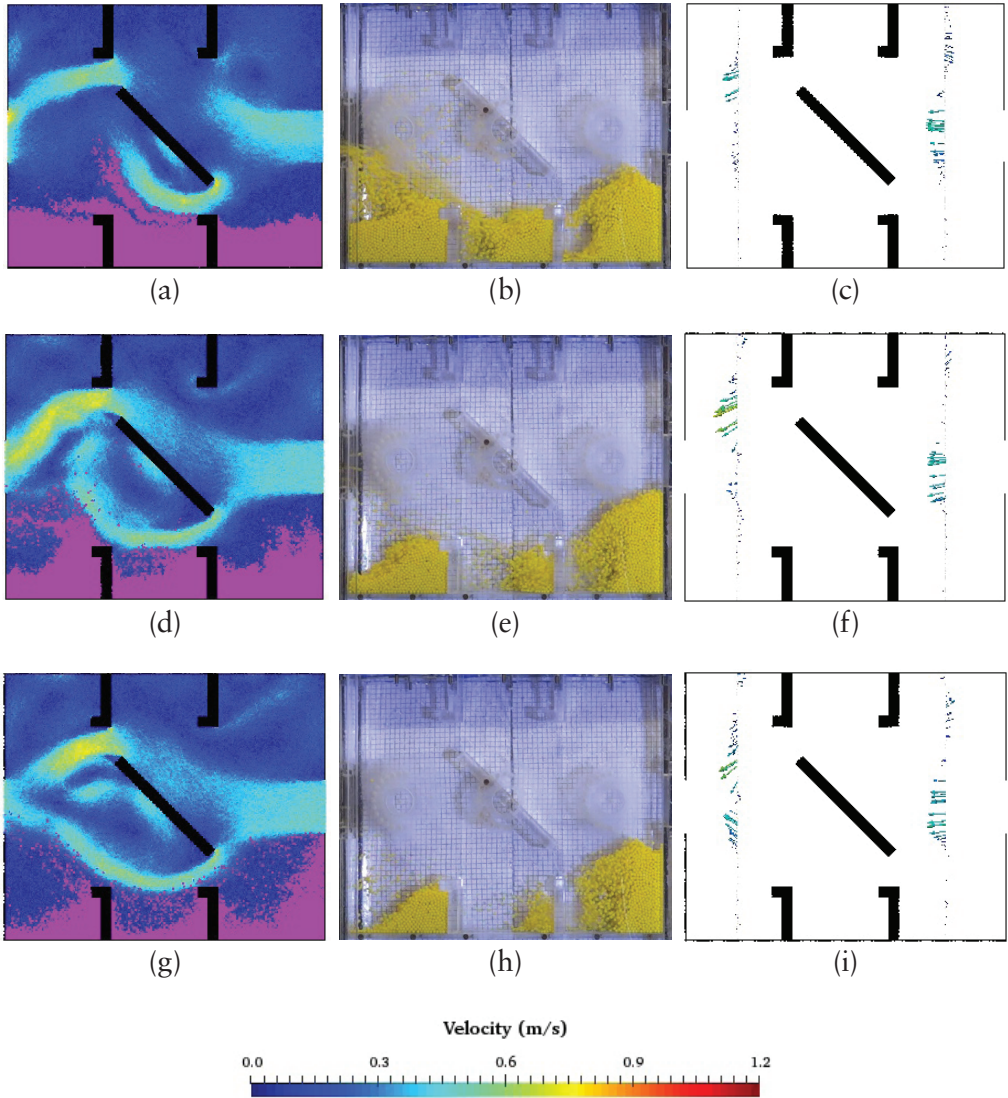
**Figura 41** Comparação dos resultados dos casos AS1: resultado numéricos (a, d, g), resultados experimentais (b, e, h), perfis de velocidade (c, f, i), primeiro instante (a – c), segundo instante (d – f) e terceiro instante (g – i)



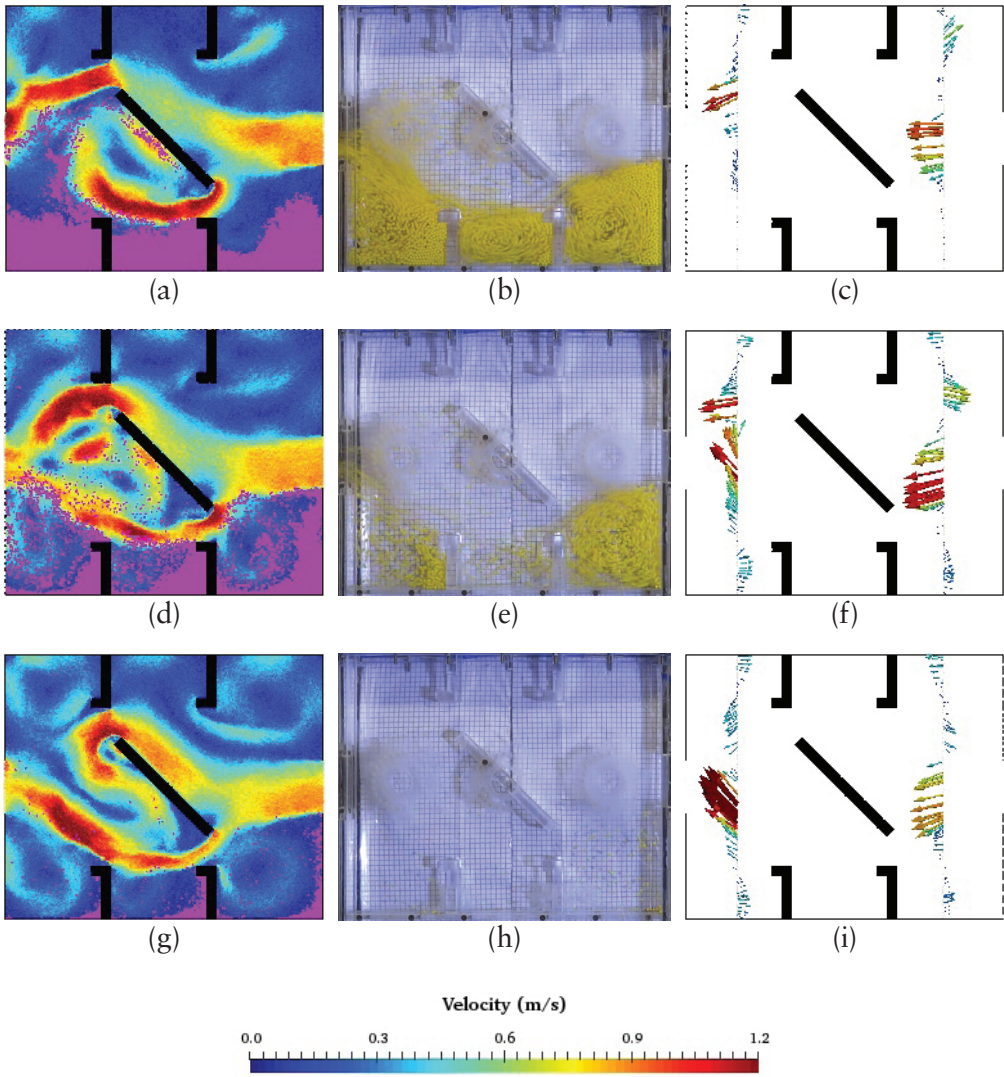
**Figura 42** Comparação dos resultados dos casos AS2: resultado numéricos (a, d, g), resultados experimentais (b, e, h), perfis de velocidade (c, f, i), primeiro instante (a – c), segundo instante (d – f) e terceiro instante (g – i)

Comparando os casos AS1 e AS2, Figs. 41 e 42 respectivamente, devido a maior vazão o caso AS2 apresenta formação de vórtices mais intensa enquanto que no caso AS1 os vórtices são menores e concentrados próximos ao centro do tanque, como mostram os resultados numéricos e observado na baixa remoção de sedimento no experimento.

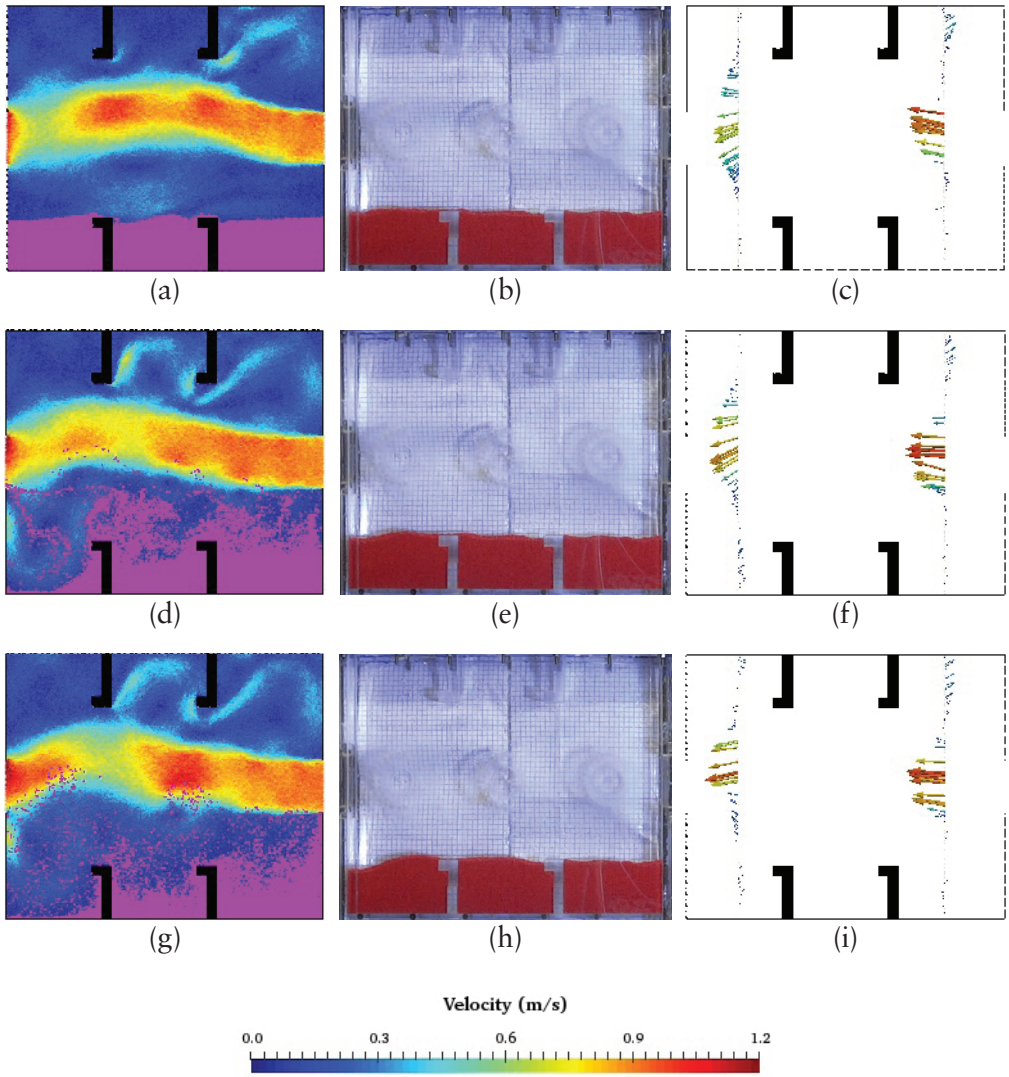
O caso AS2 também mostra nos resultados experimentais uma maior suspensão e remoção de sedimentos comparado ao caso AS1, este comportamento também é observado nos resultados numéricos que mostram uma boa aproximação com o experimento no caso AS2.



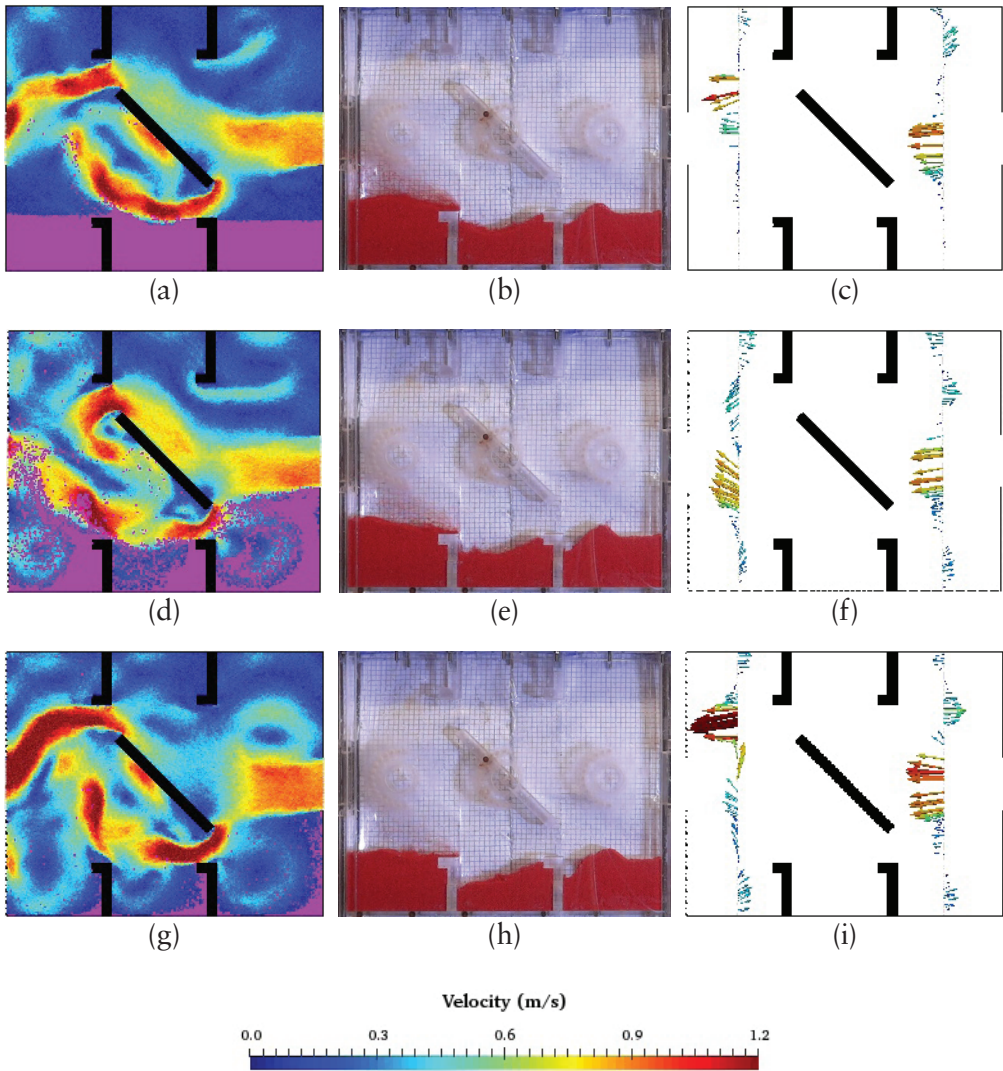
**Figura 43** Comparação dos resultados dos casos AC1: resultado numéricos (a, d, g), resultados experimentais (b, e, h), perfis de velocidade (c, f, i), primeiro instante (a – c), segundo instante (d – f) e terceiro instante (g – i)



**Figura 44** Comparação dos resultados dos casos AC2: resultado numéricos (a, d, g), resultados experimentais (b, e, h), perfis de velocidade (c, f, i), primeiro instante (a – c), segundo instante (d – f) e terceiro instante (g – i)



**Figura 45** Comparação dos resultados dos casos MS2: resultado numéricos (a, d, g), resultados experimentais (b, e, h), perfis de velocidade (c, f, i), primeiro instante (a – c), segundo instante (d – f) e terceiro instante (g – i)



**Figura 46** Comparação dos resultados dos casos MC2: resultado numéricos (a, d, g), resultados experimentais (b, e, h), perfis de velocidade (c, f, i), primeiro instante (a – c), segundo instante (d – f) e terceiro instante (g – i)

Analisando os resultados apresentados na Figura 47, no primeiro instante, verifica-se a remoção intensiva de sedimentos nos compartimentos do centro e da esquerda, e a formação de um perfil altamente inclinado de sedimentos no compartimento da direita. O resultado numérico permite identificar que a formação de um escoamento de alta velocidade na parte inferior do defletor é responsável pela alta remoção dos sedimentos no compartimento do meio.

Além disso, em consequência deste escoamento, dois vórtices são formados nos outros dois compartimentos, responsáveis pela remoção dos sedimentos ali acumulados. No segundo instante é possível observar um grande número de partículas em suspensão nos compartimentos da esquerda e da direita, de modo que uma parte significativa dos sedimentos foi removida, no compartimento do meio é possível observar uma resistência maior do sedimento na simulação em relação ao caso experimental. No terceiro instante, é possível verificar quase total remoção de sedimentos no caso experimental, restando poucas partículas em suspensão no compartimento esquerdo. Na simulação houve permanência um pouco maior de sedimentos nos compartimentos, em específico nas quinas, regiões pouco afetadas pelo vórtice.

É importante ressaltar aqui que, para reduzir o tempo de processamento, as durações de aceleração do experimento e da simulação computacional são diferentes. Enquanto no modelo computacional a duração foi considerada próxima de 2 s e imposta a partir do controlador de fluxo, já apresentado em subsecção anterior, no modelo experimental pode ser considerada uma característica resultante das dimensões do modelo, sendo que a duração média observada do período transiente está próxima de 6 s. Disso, pode-se explicar a diferenças observadas nas Figuras 41 – 44. Exemplo desse fato pode ser notado ao se comparar as Figuras 43 (a) e (b), enquanto no experimento são observadas partículas sendo removidas do tanque, na simulação computacional as partículas ainda estão posicionadas próximas da condição inicial.

Enquanto os dois primeiros instantes são influenciados pela duração do período de aceleração inicial, o terceiro instante foi considerado na condição de estabilização do fenômeno de remoção de partículas do tanque. De forma simplificada, o tempo computacional para alcançar esse estágio girava em torno de 30 s após o fim do período transiente e devido a isso foi adotado como uniforme em todos os casos, possibilitando redução do custo computacional. Em contrapartida, no caso experimental esse instante variava de caso para caso, conforme apresentado na Tabela 10. Alguns casos apresentaram maior tempo, exemplo disso é o caso AS1, que demorou 210,0 s para a estabilização.

A Figura 47 apresenta a evolução da quantidade de partículas de sedimento na simulação ao longo do tempo, com o intuito de verificar as diferenças na remoção de sedimentos para as duas velocidades testadas e para o caso com defletor no interior do tanque de lastro.



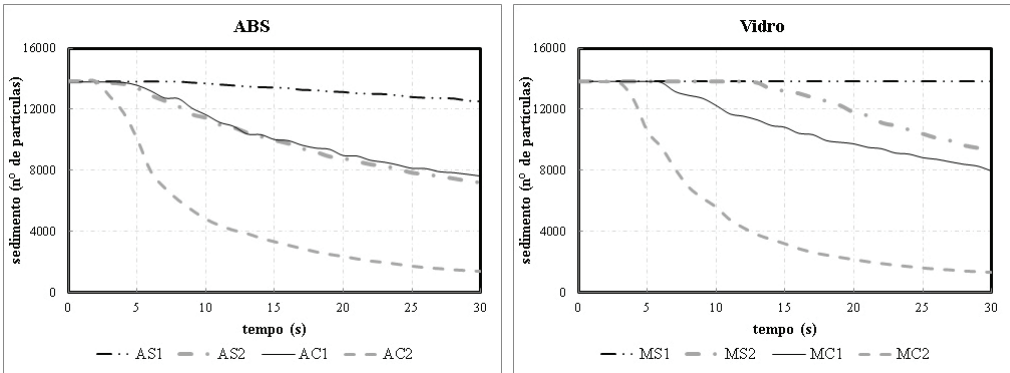


Figura 47 Quantidade de partículas de sedimento ao longo do tempo

Tabela 10 Comparação do tempo

Caso	Primeiro instante (s)		Segundo instante (s)		Terceiro instante (s)	
	MPS	EXP.	MPS	EXP.	MPS	EXP.
AS1	2,00	6,00	22,00	29,47	32,00	210,00
AS2	2,00	8,00	12,00	17,17	32,00	93,00
AC1	2,00	7,00	22,00	28,84	32,00	73,00
AC2	2,00	6,00	12,00	14,95	32,00	39,00
MS1	2,00	5,00	22,00	25,85	32,00	32,00
MS2	2,00	7,00	12,00	15,69	32,00	54,00
MC1	2,00	9,00	22,00	35,20	32,00	80,00
MC2	2,00	8,00	12,00	17,69	32,00	77,00

## 7.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho abordagens experimental e numérica são adotadas para investigar os mecanismos de remoção de sedimento nos tanques de duplo fundo. Por simplicidade, experimentos físicos foram conduzidos, onde o sedimento é aproximado por pequenas esferas de material homogêneo. Numericamente o sedimento e a água foram modelados como fluidos homogêneos, newtonianos, imiscíveis e com diferente densidade e o método Moving Particle Semi-Implicit (MPS), baseado em descrição lagrangeana e discretização do domínio em partículas, foi adotado para melhor capturar a complexa interface entre fluidos. A fim de estimular o processo de remoção, introdução de um defletor no tanque foi considerado, e os seus efeitos analisados.

Como resultado, para o sedimento leve (ABS) é possível observar que com velocidade de escoamento relativamente baixa, em torno de 0,45 m/s, a remoção de sedimentos é ineficaz em um tanque de geometria complexa usual. Quando a velocidade do escoamento é duas vezes maior, ocorre uma remoção mais eficaz de sedimentos, retirando aproximadamente 50% do material depositado.

A adição do defletor facilita a remoção dos sedimentos ao criar vórtices de maior intensidade nos compartimentos do tanque, de modo que com baixa velocidade de escoamento obtém-se um desempenho similar a alta velocidade de escoamento sem defletor. A maior eficácia pode se alcançada pela combinação de alta velocidade de escoamento e presença do defletor, situação em que os vórtices têm energia suficiente para remoção quase completa dos sedimentos.

Os resultados experimentais e numéricos mostram que os sedimentos de maior densidade (vidro) dificultam a remoção. No entanto, enquanto existe boa aderência dos resultados numéricos e experimentais ao se considerar o sedimento de baixa densidade, a diferença entre os resultados numéricos e experimentais aumenta para o caso do sedimento com maior densidade. Uma explicação para isso é a modelagem computacional simplificada que não leva em conta o atrito estático entre as esferas, que é mais relevante no caso do sedimento de maior densidade, impedindo a suspensão e a remoção dos sedimentos.

Outro fator que deve ter influenciado é a diferença dos diâmetros dos sedimentos utilizados nos ensaios experimentais, que no caso de ABS é próximo de 6 mm e para o vidro é aproximadamente de 2 mm. O maior diâmetro das partículas resulta em interstícios maiores para o ABS, o que não é observado no caso dos sedimentos de vidro, onde as forças coesivas tendem a ser maiores.

No entanto, apesar das simplificações adotadas na modelagem do sedimento, foi possível observar uma boa concordância da hidrodinâmica entre os resultados numéricos e os resultados experimentais principalmente no caso de alta vazão com ABS. Além disso, a modelagem computacional permitiu reproduzir o comportamento geral do processo e, para velocidades maiores e com sedimentos de menor densidade, a modelagem utilizada é eficaz.

## 7.8 AGRADECIMENTOS

Os autores desse estudo agradecem à FINEP pelo financiamento ao projeto “Desenvolvimento de sistemas de monitoramento da água de lastro com avaliação de forçantes hidrodinâmicas, operacionais e biológicas”.

## 7.9 REFERÊNCIAS

Bellezi, C. A., Cheng, L.-Y, Nishimoto, K, 2013. Flow conditioning modelling and application to particle method, III International Conference on Particle-based Methods – Fundamentals and Applications PARTICLES 2013.

Koshizuka, S., Oka, Y., 1996. Moving-Particle Semi-Implicit method for fragmentation of incompressible fluid. *Nuclear Science and Engineering*, vol. 123, p. 421-434.

# MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE LASTRO COMO SUPORTE À GESTÃO NO PORTO DE SANTANA-AP – AMAZÔNIA ESTUARINA/BRASIL

**JOSÉ PINHEIRO FRAGOSO NETO PEREIRA,  
NEWTON NARCISO PEREIRA, ALAN CAVALCANTI DA CUNHA**

## **8.1 INTRODUÇÃO**

Em capítulos anteriores, foi observado o notável número de navios que circulam pelos oceanos e estuários em todo o globo. Na atualidade esse número é próximo de 55 mil embarcações, com proporcional volume de mercadorias (*commodities*) e água de lastro transportados devido ao fenômeno econômico da globalização. Em relação ao transporte e transferência de água de lastro, entre diversos países e regiões do planeta (UNCTAD, 2008), há uma forte preocupação sobre quais consequências a circulação de navios pode causar ao ambiente.

São estimados aproximadamente 10 bilhões de toneladas de água de lastro transferidas anualmente entre portos, contendo cerca de 3.000 espécies de plantas e animais transportadas por dia em todo o mundo. Alguns estudos mostram que mais de 50.000 espécies de zooplânctons e 10 milhões de células de fitoplânctons podem ser encontradas em 1m<sup>3</sup> de água de lastro, e mais de 22.500 cistos foram observados em sedimentos de tanques de lastro durante estudos na Austrália (SILVA e SOUZA, 2004). Portanto, o descarte de água de lastro por embarcações é frequentemente responsabilizada pela introdução acidental das espécies invasoras nas regiões do mundo (BURKHOLDER *et al.*, 2007).

A água de lastro pode conter protozoários, dinoflagelados tóxicos (algas), e outros micro-organismos incluindo formas patogênicas (MEDCOF, 1975; CARLTON, 1985; WILLIAMS *et al.*, 1988; McCARTHY e KHAMBATY, 1994; GOLLASCH *et al.*, 2000; RUIZ *et al.*, 2000; DRAKE *et al.*, 2007). É, provavelmente, considerada como a principal transportadora das AIS (introdução de espécies invasoras), organismos aquáticos perigosos e patogênicos, no transporte global, e por isso foi identificada como a quarta maior ameaça aos oceanos do mundo (CARLTON, 1985; RUIZ *et al.*, 2000; CARLTON, 2010).

O potencial da descarga de água de lastro como dano ambiental foi reconhecido não só pela Organização Marítima Internacional (IMO), mas também pela Organização Mundial de Saúde (WHO), preocupada com a dispersão de bactérias que causam doenças epidêmicas (LEAL NETO, 2007; CLARKE *et al.*, 2003; CARON Jr, 2007).

O transporte de longa distância tem contribuído para eliminar ou reduzir barreiras naturais que sempre separaram ecossistemas e mantiveram sua integridade. Este processo tem aumentando a homogeneização da flora e fauna em todo o mundo, com sérios prejuízos ao meio ambiente, à biodiversidade e à saúde humana (PEREIRA, 2013).

A detecção da presença de espécies vivas em água de lastro, determinada por intermédio de análises microbiológicas, pode revelar-se em risco sanitário ou de bioinvasão. Altas concentrações de diferentes tipos de bactérias (patogênicas ou não) na água de lastro representam risco à saúde humana em zonas habitadas (HUA e HUANG, 2012) e com vulnerabilidade sanitária pré-estabelecida (CUNHA *et al.*, 2004).

A IMO começou a discutir a adoção de diretrizes internacionais para o gerenciamento da água de lastro em resposta aos referidos problemas, em 1991, como a epidemia Sul Americana de cólera. Após a adoção de algumas resoluções prévias nos anos 90, e a criação do Programa GloBallast no ano 2000, em 2004 foi finalmente elaborada a “BWMC Internacional para o Controle e Gerenciamento de Água de Lastro e Sedimentos dos navios – BWMC”.

A troca de água de lastro é a medida mais importante adotada por países para o seu gerenciamento. Acredita-se que, se aplicada corretamente, pode reduzir significativamente o risco de bioinvasão porque os “organismos oriundos da costa não sobrevivem em alto mar e vice versa” (CARLTON, 2010).

Além dos problemas básicos da água de lastro, ocorrem inúmeros impactos negativos ao meio ambiente, incluindo desastres como derramamentos de óleo, poluição das águas, poluição do ar e ameaça aos organismos vivos em função de revestimentos anti-incrustação em cascos de navios (BUCK, 2007). Estes problemas tendem a se agravar porque o Comércio Marítimo Internacional (CMI)

transporta mais de 90% das mercadorias mundiais através das águas internacionais (IMO, 2004). Mais de 92.000 embarcações navegam nessas águas para realizar tais transações. No Brasil, esses números ultrapassam 95% de movimentação comercial (ANTAQ, 2014).

## 8.2 A LEGISLAÇÃO E A NORMAM-20/DPC/2005/2014

A troca de água de lastro em alto mar passou a ter caráter obrigatório no Brasil em 2005, quando entrou em vigor a NORMAM-20/DPC, que tem como principais pontos de acordo a (Tabela 11):

**Tabela 11** Demonstrativo dos principais itens da NORMAM-20/2005

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exigência aos navios da posse de um Plano de Gestão de Água de Lastro e apresentação do BWRf;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Apresentar as Diretrizes para a troca e captação de Água de Lastro, assim como para a descarga de sedimentos dos tanques de lastro dos navios;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estabelecer a inspeção de conformidade dessa norma em escala aos navios nos terminais brasileiros;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estabelece a obrigatoriedade de troca aos navios em cabotagem entre bacias hidrográficas distintas.</li> </ul>

Basicamente, os navios devem realizar a troca da Água de Lastro a uma distância mínima de 200 milhas náuticas (mn) da costa, em águas com pelo menos 200m de profundidade e com eficiência de pelo menos 95% de água de lastro trocada. Em tal procedimento, com seus respectivos impactos negativos por introdução de organismos transportados pela água de lastro, a IMO desenvolveu a BWMC que foi adotada em 2004. Neste contexto, a BWMC preconiza que a água de lastro precisa ser trocada para substituir a água contendo os organismos bombeados em um porto com água oceânica (Padrão de Troca de Água de Lastro D-1) como uma solução provisória.

Ultimamente, apenas água de lastro contendo um baixo número de indivíduos pode ser descartada (Padrão de Desempenho de Água de Lastro D-2). Essa Regulação da BWMC estipula os padrões de tamanhos e quantidades dos organismos vivos permitidos no descarte de água de lastro pelos navios (IMO, 2004).

Apesar dos requerimentos da NORMAM – 20, em um estudo da ANVISA foi constatado que 62% dos navios amostrados, cujos capitães afirmam ter realizado a troca em alto mar em acordo com as diretrizes da IMO, provavelmente não o fizeram, ou o fizeram apenas parcialmente (CARON Jr., 2007, PEREIRA, 2013; PEREIRA *et al.*, 2014). Em alguns estudos têm sido observado que a troca

de água de lastro pode ser considerada apenas uma solução provisória, devido às suas limitações de eficácia (CLARKE *et al.*, 2003).

A Legislação Brasileira contém também uma série de dispositivos que podem ser utilizados como ferramentas nesse processo de Gerenciamento da Água de Lastro, além da NORMAM – 20/2005, que é uma adaptação das diretrizes da IMO. Mas, é essencial que o Brasil, na busca do crescimento de sua economia no cenário mundial, adote medidas que garantam a efetiva proteção de sua Costa Fluvial e Marítima contra os impactos da navegação, principalmente a água de lastro na Amazônia (PEREIRA, 2013).

Na Amazônia, o aumento das transações comerciais com outros países do mundo, nos últimos cinco anos, se refletiu na região portuária da cidade de Santana, no Estado do Amapá. Este porto está localizado no extremo norte do Brasil, e nesta área circulam embarcações que fazem parte da navegação comercial na Bacia Amazônica (RAS, 2012; PEREIRA, 2013). De acordo com informações fornecidas pela DPC – 20 (Departamento de Portos e Costas da Marinha do Brasil – Escritório de Santana / AP), e somente no ano de 2011 circularam pelas águas amazônicas 639 embarcações de grande porte que fizeram sua entrada pelas águas do Rio Amazonas, passando pela orla das cidades de Macapá e Santana.

Torna-se evidente a existência de risco de águas de lastro possam atingir não só os ecossistemas aquáticos locais (SILVEIRA Jr., 2012), mas também o principal sistema de captação e abastecimento de água (ETA) da capital Macapá. O sistema ETA é de responsabilidade da Companhia de Água e Esgoto do Amapá (CAESA), localizada às margens do Rio Amazonas, zona costeira da cidade de Macapá, e está relativamente próxima dos locais onde as embarcações ancoram para aguardar as trocas de cargas. Considerando o potencial aumento de uso das águas amazônicas nas rotas fluvio-marítimas, a efetividade de metas de gerenciamento, fiscalização e controle da água de lastro dependerão cada vez mais de sistemas de monitoramento nas diferentes regiões da divisão hidrogeográfica do Brasil.

No Brasil, alguns itens desta BWMC foram internalizados na forma de uma norma federal: NORMAM – 20 / 2005 – Norma da Autoridade Marítima para o Gerenciamento da Água de Lastro dos navios. Como comentado anteriormente, essa norma apresenta as diretrizes gerais para a troca de Água de Lastro, uma das mais importantes medidas adotadas na BWMC.

Na Amazônia eram exigidas duas trocas de Água de Lastro, uma em alto mar e outra nas proximidades de Macapá (NORMAM-20, 2005) devido às características específicas estuarinas das águas (SILVEIRA Jr, 2012; CUNHA *et al.*, 2012; CUNHA *et al.*, 2004; CUNHA *et al.*, 2011). A referida BWMC objetiva reduzir a transferência e conseqüentemente os impactos dos organismos aquáticos

da água de lastro dos navios agindo principalmente na redução da carga desses organismos no volume descarregado (GOLLASCH *et al.*, 2000).

Como descrito em capítulos anteriores, segundo a BWMC os navios deveriam realizar a troca da Água de Lastro a uma distância mínima de 200 milhas náuticas (nm) da costa, em águas com pelo menos 200 metros de profundidade e com eficiência de pelo menos 95% de Água de Lastro trocada (NORMAM – 20 / 2005). Nos ambientes amazônicos, por exemplo, o procedimento exigia duas trocas de Água de Lastro, que devem ocorrer no rio Amazonas. A NORMAM – 20, em seu terceiro capítulo, detalha as “situações particulares”, como na seção (3.4.1), sobre quais devem ser os procedimentos adotados nestes casos. O principal problema é que atualmente tais requisitos da NORMAM – 20 / 2005 foram alterados por meio da NORMAM – 20 / 2014, o que colocou em risco o ambiente amazônico.

Dada as incertezas sobre qual melhor sistema de tratamento e disposição final da água de lastro e sedimentos, na atualidade, a troca de água de lastro é ainda a medida mais importante, e talvez a única efetiva, e por isso é adotada por diversos países para o gerenciamento de água de lastro (BWM). Acredita-se que, se aplicada corretamente, pode reduzir significativamente o risco de bioinvasões pelo fato de organismos oriundos da costa não sobreviverem em alto mar e vice versa (CARLTON, 2010; PEREIRA, 2013; PEREIRA *et al.*, 2014), mas não se tem considerado o problema entre portos similares de água doce.

Apesar dos requerimentos da NORMAM–20/2005 e 2014, em um estudo da ANVISA foi revelado que 62% dos navios amostrados, cujos capitães afirmam ter realizado a troca em alto mar em acordo com as diretrizes da IMO, provavelmente não o fizeram, ou o fizeram apenas parcialmente (CARON Jr, 2007). Por outro lado, alguns estudos têm observado que a troca de água de lastro pode ser considerada apenas uma solução provisória, devido às limitações de sua eficácia (CLARKE *et al.*, 2003).

Por outro lado, a Legislação Brasileira contém uma série de dispositivos que podem ser utilizados como ferramentas nesse processo de gerenciamento da água de lastro, além da NORMAM – 20/2005/2014 que em resumo é uma adaptação das diretrizes da IMO.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n. 357, de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A “Lei das Águas”, n. 9433/97, veio completar o Código de Águas de 1934, no que se refere à gestão dos recursos hídricos, considerando seus múltiplos usos. Além disso, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.



Outro avanço na legislação brasileira ocorreu com a aplicação de multas por atividades danosas ao Ambiente, prescrita na “Lei dos Crimes Ambientais” (Lei n. 9.605 – 1998). Essa Lei, em acordo com a CF/88, prevê detalhadamente a aplicação de penas aos agentes que poluírem ou degradarem o ambiente em qualquer forma de ação. Considerando as consequências da introdução de Espécies Invasoras e/ou agentes patogênicos no Ambiente portuário e a Legislação específica para o BWM, não restam dúvidas de que o descarte impróprio da Água de Lastro constitui um crime ambiental e pode ser punido de acordo com as proviões dessa Lei (PEREIRA, 2013).

Além do Porto de Santana, outros seis Portos da Plataforma Continental Norte estão na relação de maiores exportadores de cargas no ano de 2006. Os Portos de Ponta da Madeira, Itaqui e Alumar, localizados no Estado do Maranhão, Porto Trombetas e Vila do Conde no Estado do Pará, e o Porto de Itacoatiara, no Estado do Amazonas, são locais com intensa circulação de navios do comércio marítimo internacional e são portadoras de águas de lastro que podem agir como contaminantes (ou dispersores) das águas dentro da própria Bacia Amazônica. Assim, os mecanismos legais para o BWM no Brasil podem ser complementados no sentido de promover um controle e prevenção dos impactos da água de lastro. Através desse novo enfoque, com uma proteção ambiental mais efetiva a ser atingida, poderá ser garantido o Direito Constitucional Brasileiro em relação ao uso e acesso ao meio ambiente equilibrado enquanto as tecnologias de tratamento de água de lastro “on-board” ou “off-board” estão em desenvolvimento (GOLLASCH *et al.*, 2000).

As perdas econômicas, sociais e ecológicas associadas às espécies invasoras aquáticas são difíceis de quantificar. Alguns custos foram estimados em US\$ 5 bilhões em danos nos cascos dos navios, nos sistemas de canos e outras superfícies pelo mexilhão zebra na região dos Grandes Lagos, localizado na América do Norte. Outras situações, como a perda de espécies nativas e a restauração do ambiente aos níveis anteriores às bioinvasões são desconhecidos (BUCK, 2007, ULIANO *et al.*, 2013).

A magnitude do problema é extensa e as invasões frequentemente interagem com outros fatores, como as perdas habitacionais, poluição e mudanças climáticas que comprometem a integridade dos ambientes marinhos e fluviais. A despeito da severidade das implicações, estudos demonstram que os impactos das espécies introduzidas nos ambientes marinhos são raros e a maioria das introduções segue não noticiada (SILVA e SOUZA, 2004).

Outros fatores têm também sido sugeridos como facilitadores do estabelecimento das espécies invasoras, entre eles os altos índices de reprodução, facilidade

de dispersão, baixos níveis de competição entre as espécies residentes e tolerância a vários tipos de condições ambientais (LOEBMANN, 2010).

Por estes motivos programas de monitoramento são necessários para permitir uma rápida detecção de introdução de espécies invasoras, que pode tornar possível a adoção de medidas para seu controle e/ou erradicação. Entretanto, na maioria dos casos, quando uma espécie invasora se estabelece, sua erradicação torna-se virtualmente impossível (OLIVEIRA, 2008). Nesse caso, a única alternativa seria controlar a população dessa Espécie Invasora para manter os impactos e perdas em níveis aceitáveis.

Apenas através de Programas de Monitoramento, principalmente nas regiões portuárias, é que os Estados poderão ter informações e desenvolver ferramentas necessárias para implementar um Sistema de Gerenciamento de Água de Lastro (FERREIRA *et al.*, 2009).

No âmbito estadual, o Amapá possui uma constituição que segue a CF de 1988. Em seu sexto capítulo, referente aos recursos naturais do estado, determina-se a criação de uma política estadual de recursos hídricos, estabelecidos através da Lei n. 686 – 2002 que cria a Política Estadual de Recursos Hídricos – PERH. O Código Ambiental do Estado do Amapá do ano de 1999, em seu capítulo VI artigo 2º, estabelece que os órgãos estaduais competentes devem realizar serviços de avaliação, fiscalização dos recursos hídricos, bem como a adoção de medidas contra a contaminação e deterioração das águas (AMAPÁ, 1999).

As zonas estuarinas próximas às cidades de Macapá e Santana, mesmo levando-se em consideração os complexos fenômenos autodepurativos das marés envolvidos devido às condições locais, têm apresentado uma forte alteração nos níveis de concentração de coliformes fecais (CF) em corpos de águas que deságuam no rio Amazonas, especialmente nas áreas de drenagem próximas das zonas urbanas e periurbanas dessas cidades (CUNHA *et al.*, 2004; PINHEIRO *et al.*, 2008; e CUNHA *et al.*, 2012). Há quase uma década tem sido observado forte deterioração destas águas estuarinas próximas da zona portuária de Santana (CUNHA *et al.*, 2011).

Somente no ano de 2011 circularam pelas suas águas 639 grandes embarcações pelas águas do rio Amazonas, percorrendo o “Canal do Norte” relativamente próximo da orla das cidades de Macapá e Santana (PEREIRA, 2013).

Neste aspecto, há ainda a preocupação com outros fatores “sinérgicos”, como os agravantes de transmissão de doenças e facilitação de processos de bioinvasão de micro-organismos exógenos. Isso porque nos portos instalados próximos de locais com condições de vulnerabilidade sanitária, como Macapá e Santa-

na, praticamente sem nenhum tipo de tratamento de esgoto doméstico e industrial, têm maiores chances de apresentar problemas de interações biológicas com águas contaminadas por vírus e bactérias (ALB, 2009; CUNHA *et al.*, 2004).

Mas a região portuária de Santana/AP é importante para a navegação comercial do Brasil, sendo a porta de entrada e saída de navios da Bacia Amazônica. O Porto de Santana, que no mapa do Ministério dos Transportes do Brasil está denominado como Porto de Macapá, é estratégico para o sistema portuário Brasileiro, pois todos os navios que realizam operações comerciais na Bacia Amazônica devem passar pelas suas águas.

Entretanto, em face ao cenário de risco potencial da atividade da navegação de grande porte no Porto de Santana, monitorar a água de lastro pode ser útil para estabelecer um paralelo entre as diretrizes adotadas pela BWMC e as medidas gerenciais e legais executadas pelas autoridades envolvidas localmente. Esta seria uma medida de precaução prevista em lei, pois se desconhece os riscos ambientais desta atividade. Além disso, há poucos estudos relacionados ao tema da água de lastro referentes à Amazônia, sendo eles raros e concentrados na região sul e sudeste do Brasil (PEREIRA *et al.*, 2014, PEREIRA, 2013; ULIANO *et al.*, 2013).

O objetivo do presente estudo é analisar o papel do Gerenciamento da Água de Lastro na região portuária de Santana-AP, e quais poderiam ser as medidas necessárias para minimizar potenciais riscos de contaminação dos ambientes aquáticos, e principalmente do entorno das águas de abastecimento de Estação de Tratamento de Água de Macapá e Santana, próximos dos locais de deslastre.

Os objetivos específicos são:

- 1) Estudar a adequação da gestão operacional das Águas de Lastro em relação às Diretrizes da BWMC, Legislação Brasileira e Internacional, com base em variáveis gerenciais e operacionais concernentes à água de lastro nas embarcações monitoradas;
- 2) Apresentar resultados de procedimentos de monitoramento da qualidade da água (físico-químicos e microbiológicos) de tanques de lastro em navios do Porto de Santana e verificar sua adequação à Resolução CONAMA 357/2005 e outras normas;
- 3) Identificar a existência de fatores de risco relacionados à Água de Lastro em relação aos ecossistemas aquáticos, saúde pública e sanitários, utilizando-se como base uma análise estatística de similaridade, considerando variáveis logísticas (último porto, porto de chegada e porto de partida), variáveis gerenciais (trocas de águas de lastro), variáveis físico-químicas da água de lastro coletada in loco (como salinidade, pH,

oxigênio dissolvido) e microbiológicos (Coliformes Totais e *E. coli*) da qualidade da água amostradas nos reservatórios de navios ancorados próximos ou no Porto de Santana.

### 8.3 MATERIAL E MÉTODOS

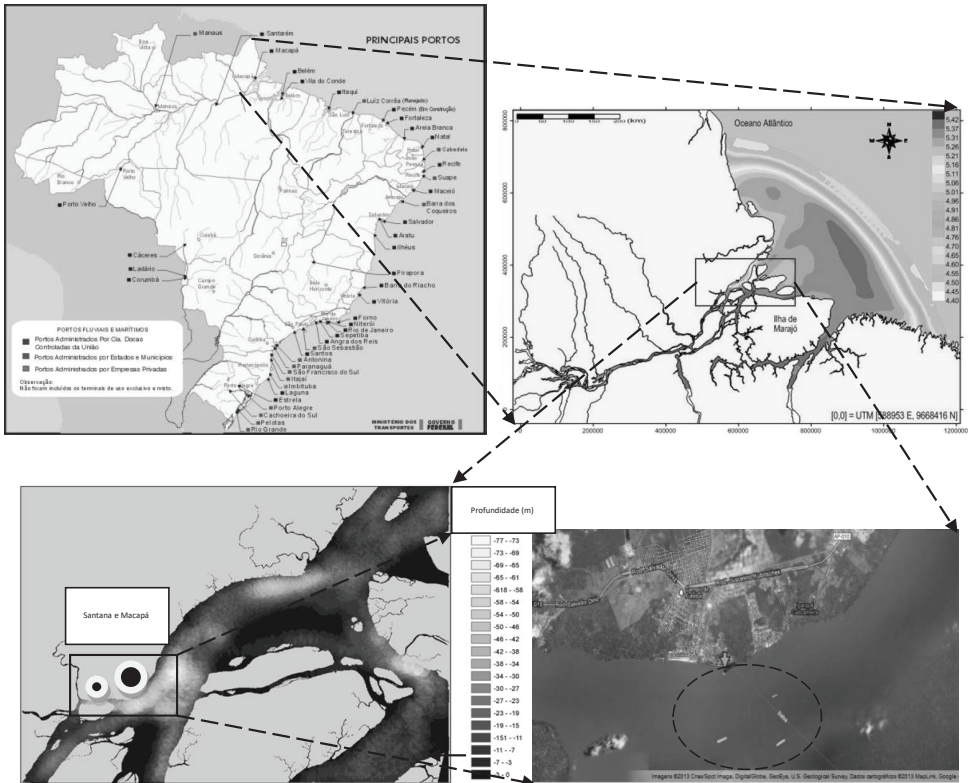
A pesquisa de campo ocorreu entre agosto de 2012 e janeiro de 2013 quando foram realizadas visitas técnicas nas embarcações ancoradas no Porto de Santana. Durante as visitas foram coletados dados técnicos acerca dos processos de gerenciamento de água de lastro previstos pela NORMAM-20/2005. As informações foram obtidas a partir de formulários preenchidos pelos comandantes e suas equipes técnicas nas próprias embarcações (*in loco*). Após preenchimento desses formulários estes eram entregues aos autores contendo as informações de procedimentos de troca de água de lastro embarcada e despejada mediante visitas técnicas, como pode ser descrita por Pereira (2013).

O objetivo desta primeira etapa foi estudar a efetividade de execução dos procedimentos gerenciais previstos nos referidos formulários e avaliar *in loc*. Um segundo objetivo foi coletar amostras de água de lastro durante estas mesmas visitas técnicas a bordo e analisá-las de forma holística e integrada com as informações dos referidos formulários, detalhados a seguir.

#### 8.3.1 Área de Estudo: Praticagem da Fazendinha – AP

A região portuária de Santana, localizada na zona estuarina do Estado do Amapá, é uma das mais importantes áreas de navegação comercial do Brasil. Sua localização está indicada nas Figura 48 a e b, no início do Estuário do Rio Amazonas. De acordo com a Figura 48 c observa-se que esta região apresenta águas relativamente profundas e variáveis, com máximas de 77m, média de 25-30m, e áreas mais rasas próximas das margens, de 3 a 5m. Esta variação permite a navegação de porte na Bacia Amazônica, mas exige cuidados em relação aos bancos de sedimentos e sua movimentação no tempo e no espaço (CUNHA *et al.*, 2012).

Próximo ao Porto de Santana a largura do Canal do Norte (canal preferencial dos navios) é de aproximadamente 12Km (CUNHA *et al.*, 2012). As embarcações ancoram no centro do canal, próximos à Ilha de Santana ou em Frente da cidade de Macapá (Figura 48 d). Esta dinâmica deveria exigir o monitoramento contínuo da qualidade da água, tanto para atender a legislação ambiental e a critérios relativos à saúde pública (CUNHA *et al.*, 2004).



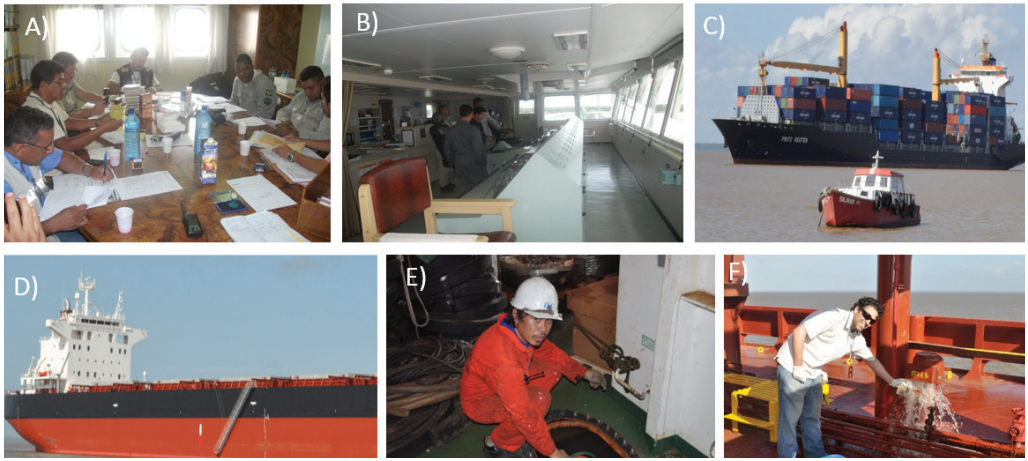
**Figura 48** Área de estudo com o mapa dos Portos no Brasil (a) (Fonte: Brasil, 2010), mapa da zona estuarina do Rio Amazonas – Amapá (b) (Fonte: Brito, 2013), mapa de profundidade das águas (c) (Fonte: Cunha *et al.*, 2012) e (d) imagem de satélite da praticagem da Fazendinha (círculo) Macapá/AP

Fonte: Pereira (2013)

As inspeções ou visitas técnicas são normalmente organizadas pelas agências de navegação que operam nessa região, as quais são responsáveis pelo recolhimento das taxas de navegação, providências de transporte e deslocamento da equipe de inspeção, recolhimento de informações sobre a embarcação, carga e tripulantes. Também são responsáveis por mobilizar outras agências governamentais como ANVISA, Secretarias de Meio Ambiente e de Saúde municipais e estaduais (PEREIRA, 2013).

De acordo com as Figura 48 a e d, a Praticagem do Distrito de Fazendinha está localizada entre as cidades de Macapá e Santana-AP, onde ocorrem as visitas aos navios do CMI há pelo menos dez anos, de acordo com informações fornecidas pelos funcionários da Praticagem em 2013. No momento em que a lancha atraca no navio (Figura 48 c), é acionado o sistema de descida de uma escada de acesso pela tripulação (Figura 48 d), momento no qual é realizada a primeira verificação de equipamentos de segurança, principalmente a rede de segurança da

referida escada. Após içamento da escada de acesso, a equipe de monitoramento da qualidade da água faz a coleta de amostras a partir dos sistemas de amostragem disponível em cada tipo de embarcação (Figura 48 e e f): amostragem manhole e amostragem por transbordamento (Fonte: PEREIRA, 2013). No total foram inspecionadas 50 embarcações no período de julho de 2010 a janeiro de 2013.



**Figura 49** (a) Reunião na sala do capitão – inspeção; (b) avaliação de equipamentos de navegação; (c) navio ancorado aguardando aproximação da lancha para inspeção; (d) navio com escada de acesso às equipes; (e) amostragem Manhole e (f) amostragem por transbordamento

Fonte: Pereira (2013)

## 8.4 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE LASTRO

As análises físicas e químicas foram realizadas por uma Sonda Multi Análises marca YSI, modelo 5556MPS (BURKHOLDER *et al.*, 2007), que forneceu instantaneamente resultados para diversos parâmetros de qualidade de água, tais como Temperatura da Água de Lastro ( $T$  °C), TDS (g/L), Salinidade (Sal. ppt), Oxigênio Dissolvido (DO g/L) e o Potencial Hidrogeniônico (pH).

As análises microbiológicas para determinação de potencial sustentação de possíveis espécies invasoras foram realizadas no Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LQMSA/UNIFAP envolvidos na Pesquisa. Para determinação de Coliformes totais e *E. coli* foi utilizado o método do substrato cromogênico (APHA, 1985) detalhados por Pereira (2013).

O sistema de amostragem seguiu os padrões estabelecidos pelas Diretrizes da BWMC, segundo proposições de Gollasch (2010). O objetivo principal desta etapa foi verificar e comparar as características físico-químicas e microbiológicas da qualidade da água de lastro nos navios e verificar sua adequação à Resolução

No357/05 da CONAMA e NORMAM-20, considerando os aspectos de origem e destino das embarcações.

#### 8.4.1 Métodos Estatísticos

Com o objetivo de avaliar similaridade entre as águas de lastro monitoradas, foram utilizadas variáveis qualitativas (atributos categóricos ou fatores) dos relatórios (BWRP), tais como bandeira internacional, último porto de partida, próximo porto, porto de chegada, tipo de navio (características do lastro) dentre outros. Além disso, foram incluídas as variáveis de qualidade da água mencionadas anteriormente. Estes dados foram processados conjuntamente no *software* R-Project 3.1.1, com uso de *scripts* ou códigos numéricos desenvolvidos especificamente para análise de agrupamentos (*clusters*) e de similaridade (PETERNELLI & MELLO, 2011; R-TEAM, 2011). No total foram processadas dezoito variáveis para quarenta e quatro unidades amostrais (navios).

A análise clusters ou análise de agrupamentos (AA) são, segundo Hair *et al.*, (2005), consideradas análises multivariadas que permitem quantificar a relação entre uma única variável dependente (critério) e diversas variáveis independentes (preditoras) ou identificar grupos ou objetos homogêneos, sejam indivíduos, produtos ou mesmo comportamentos.

A análise de similaridade com uso da análise de agrupamentos se baseia no princípio básico de maximizar a homogeneidade de objetos dentro dos grupos, ao mesmo tempo em que se maximiza heterogeneidade entre os grupos (HAIR *et al.*, 2005, R-TEAM, 2012). Várias regras podem ser utilizadas, mas o fundamental é avaliar a similaridade “média” entre grupamentos de modo que, quando a média aumenta, os grupamentos se tornam menos parecidos – ou – menos grupamentos *versus* menos homogeneidade (HAIR *et al.*, 2005, R-TEAM, 2012).

Na presente investigação testaram-se diversas “distâncias” de similaridade que melhor representassem o processo de visualização dos grupos formados. A melhor visualização de similaridade foi testada com base em diversas distâncias como Euclidiana, Média, Completa, Ward, Ponderada, Flexível, sendo a melhor escolha a distância de Ward.

### 8.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

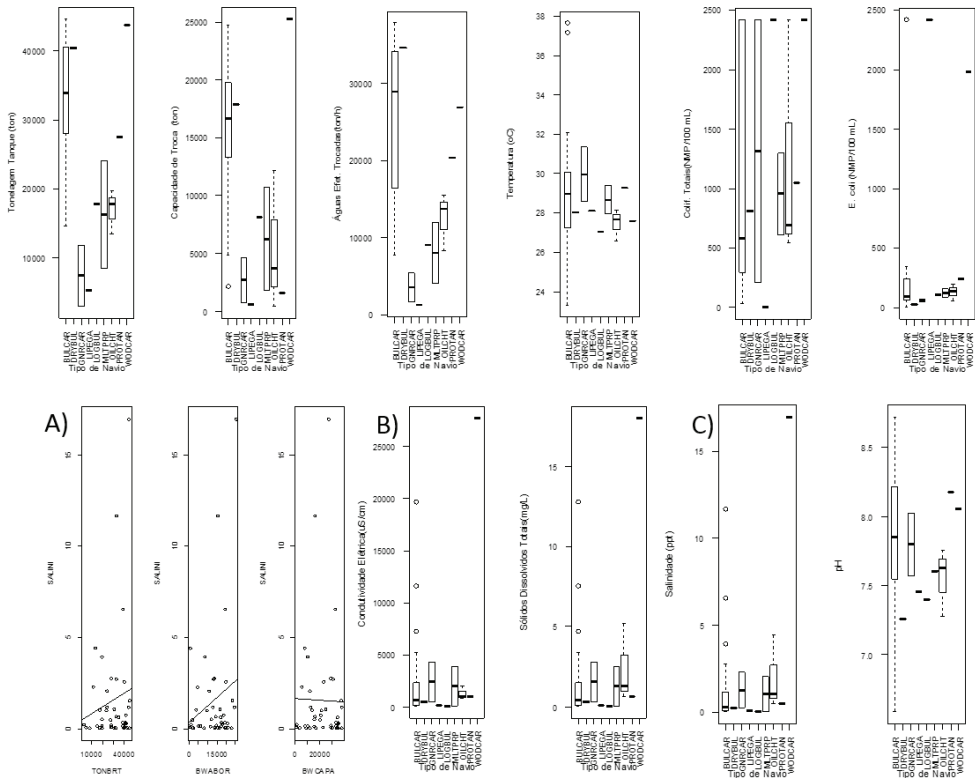
#### 8.5.1 Avaliação crítica da legislação e gerenciamento de água de lastro na Amazônia

As visitas técnicas ocorreram em 50 navios, frisando que, inicialmente, apenas 44 foram utilizados nas análises comparativas. Seis amostras foram descon-

sideradas por não apresentarem as informações necessárias nos relatórios de água de lastro.

Foram observados nove classes de navios que navegam as águas do Rio Amazonas (modalidade do CMI): Graneleiro (Bulk Carrier), Oil/Chemical Tanker, Multi-Purpose Cargo, General Cargo, Cavaqueiro (Woodchip S Carrier), Dry Bulk Carrier, LPG, Log Bulk Carrier e Product Tanker, (PEREIRA, 2013).

Na Figura 50 é apresentado um gráfico com a distribuição percentual por tipo ou classe de navio obtidos da presente pesquisa de campo, com predominância dos navios do tipo Bulk Carrier (72,7%). Na referida figura são apresentados gráficos do tipo de embarcação *versus* parâmetros físico-químicos ou microbiológicos, do tipo Box Wiskas. Utiliza-se a mediana da distribuição das variáveis e seus respectivos intervalos interquartílicos (25%, 50%, 75% e 100%). Em alguns gráficos são observados valores extremos (para mais ou para menos) denominados de *outliers*. O gráfico tipo Box apresenta de forma simples a distribuição dos parâmetros da qualidade da água com seu respectivo tipo de navio.



**Figura 50** Gráficos Box com base na mediana amostral por parâmetro da qualidade da água e por tipo de embarcação



Na Figura 50(a, b, c) foram analisadas três curvas de regressão, relacionando as variáveis TONBRT, BWABOR e BWCAPA. Os resultados sugerem que o aumento da capacidade de armazenamento destas tende elevar a salinidade para TONBRT, BWABOR, mas tende a diminuir com o aumento de BWCAPA. Contudo ao elaborar um teste de confiabilidade, nenhum dos resultados das regressões foi significativo ( $p < 0,05$ ).

Como o volume de água de lastro descarregado nas diversas localidades contribui para o risco de bioinvasões, este é um dos parâmetros de maior interesse para a gestão. Assim, considera-se que quanto maior seu valor maior o número de organismos que podem potencialmente ser introduzidos pela água de lastro (CARLTON, 2010). Contudo, é importante ressaltar que algumas das mais proeminentes bioinvasões ocorreram em portos que recebiam pequenos volumes de água de lastro, enquanto outros portos que recebem grandes quantidades não são invadidos (IMO, 2005). Isto sugere que este parâmetro não é o único importante na análise gerencial da água de lastro. No total, o valor de deslastro relatado nos BWRP para os 44 navios visitados foi de 592.789,51 m<sup>3</sup>.

Uma análise mais detalhada permite observar a distribuição da frequência das embarcações em vinte um países diferentes, incluindo o Brasil como maior fornecedor de água de lastro com 115.119,18 m<sup>3</sup> (19,5%), seguido da Itália (16,5%), Espanha (9,3%) e Oceania (0%). Além disso, observa-se que a distribuição ocorreu em seis continentes diferentes, com a América do Sul e África como maiores fornecedores de água de lastro com 50% somados, seguido de Europa com 40,9%.

A Amazônia, apesar de pertencer ao território brasileiro, encontra-se em condição de isolamento em relação aos demais Estados da União, sendo o acesso terrestre relativamente muito difícil. Por este motivo o transporte de cargas por meio aquático e aéreo são as melhores e frequentemente as únicas opções. Além disso, é relevante compreender que os ambientes aquáticos com biotas geograficamente isoladas de outras áreas similares tendem a apresentar alto número de espécies endêmicas, que são ameaçadas por invasões em função de suas faixas ou nichos ecológicos restritos (IMO, 2005).

Como resultado, é evidente que o estreitamento das requisições aos navios ao navegarem pelas águas amazônicas deveria ser acompanhado de inspeção e fiscalização mais rigorosas pelos agentes públicos brasileiros. De acordo com a Figura 50, verifica-se a variabilidade considerável dos parâmetros da qualidade da água apenas considerando o tipo de navio ancorado no Porto de Santana.

A abundância e o número de espécies de bactérias em tanques de Água de Lastro nem sempre estão bem relacionados com o tipo de navio, status da troca, idade da água, condições ambientais medidas ou abundância de fitoplâncton (BURKHOLDER *et al.*, 2007).

Alguns experimentos mostram que certas espécies biológicas apresentaram crescimento durante a viagem (GOLLASCH *et al.*, 2000). E, além da temperatura, alguns estudos sobre a sobrevivência e crescimento de bactérias examinaram variáveis incluindo tolerância dos micro-organismos às mudanças abruptas na temperatura e salinidade, temperatura anual e ciclos de salinidade nos portos, histórico dos tanques e concentrações de oxigênio dissolvido nas águas receptoras da Água de Lastro (DRAKE *et al.*, 2007).

Foi verificado que 18 dos 47 formulários entregues pelas tripulações não estavam corretamente preenchidos ou respondidos completamente. Na verdade, normalmente apresentavam erros relacionados às condições de onde a água de lastro foi coletada, e principalmente quanto a concentração de sal, temperatura e profundidade do local onde as águas de origem foram trocadas.

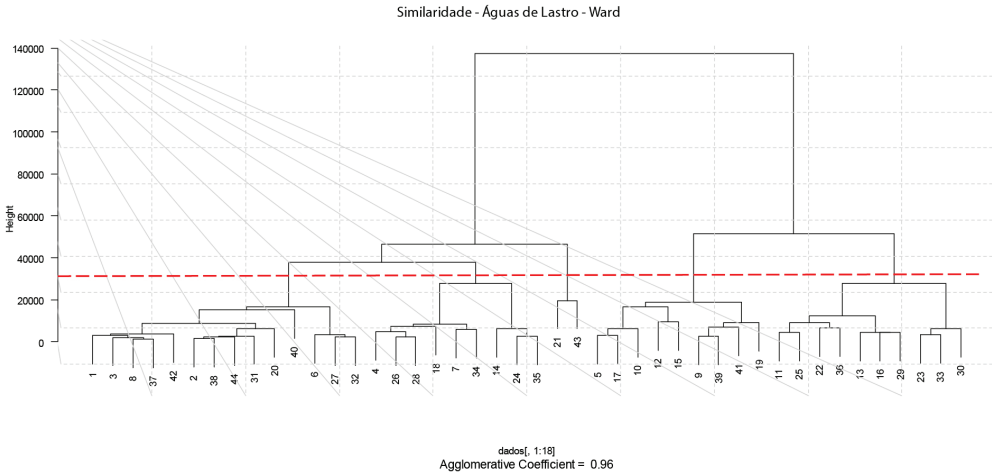
Foi verificado que dois navios informaram que realizaram a troca da água de lastro em condições em ambientes “terrestres”. Dadas as coordenadas informadas pelos tripulantes nos formulários, este é um erro grosseiro que legalmente seria inadmissível ou geraria controvérsias em caso de questionamentos em processos gerenciais e legais. Além disso, foi frequente (11 navios) a não apresentação de informações sobre sua origem, sugerindo que não houve quaisquer verificações destas informações nos formulários. Tais fatos já tinham sido citadas por Caron Junior (2007), o qual apresentou registros de um navio que havia deslastrado água em uma localidade 450 km “dentro do continente”.

Além disso, há diversas informações relevantes a serem consideradas, as quais são violações diretas da DPC 2005: 6 navios mudaram as águas dos seus tanques mais próximos das 50 milhas náuticas da costa, 3 mudaram menos do que 95% das águas da capacidade do tanque e 2 não realizaram nem sequer a primeira troca de água.

As consequências disso, por exemplo, é a desinformação sobre a qualidade da água de lastro. A temperatura controla a máxima concentração de oxigênio dissolvido (OD), sendo este extremamente relevante para o desenvolvimento de processos aeróbios ou facultativos pelos micro-organismos presentes na água de lastro (APHA, 1985), tanto que há propostas de tecnologias de desoxigenação da IMO como um método de tratamento de água de lastro. Além disso, a água de lastro deve estar em conformidade com outras legislações brasileira, como por exemplo a Resolução CONAMA 357/2005, que considera a temperatura um dos mais importantes fatores que afetam a sobrevivência de micro-organismos em água de lastro (RUIZ *et al.*, 1997).

Além disso, análises microbiológicas obtidas da água de lastro dos navios no Porto de Santana mostraram (considerando uma “segunda troca”) uma significa-

tiva variação de valores fora dos padrões estabelecidos pela Resolução 357/05 do CONAMA para *E. coli* e Coliformes Totais, o que representa um risco considerável ao meio ambiente na zona portuária da bacia Amazônica.



**Figura 51** Análise de agrupamentos para avaliação da similaridade considerando-se todas as 18 variáveis envolvidas, incluindo logística, gestão e parâmetros da qualidade da água por tipo de embarcação

A Figura 51 é resultado da adaptação da Tabela de Risco por Similaridade, adaptada de Gollasch & Leppäkoski (2007). A linha vermelha tracejada indica similaridade próxima de 90% e corta as linhas verticais em 6 posições, resultando em 6 blocos de similaridade. De forma subentendida, segundo a classificação por amostragem, é possível avaliar seis situações ou níveis de “Risco” como Alto, Médio e Baixo entre estes blocos.

Por exemplo, após as “duas trocas” de água de lastro, alguns navios apresentam valores de salinidade nas faixas de águas doces e águas salobras. Nesses casos, o Risco por similaridade variou entre o médio para águas salobras descarregadas em um ambiente de água doce (19 navios – 43%) e alto para descarga de Água de Lastro doce em águas doces (25 navios – 57%). Estes últimos referentes à navegação de cabotagem.

Se considerarmos biorregiões e o clima como risco por similaridade de biorregião, e que todos os portos da Bacia Amazônica estão localizados na Região Tropical, as temperaturas são elevadas, na faixa de 25 °C ou maior (segundo Köppen, Af) (CUNHA *et al.*, 2011). Na avaliação por similaridade climática, obtemos 24 navios (54%) apresentando alta similaridade. Dezesesseis (16) navios apresentam similaridade média (27%), e quatro navios apresentam baixa similaridade (9%).

### 8.5.2 Análises Multivariadas de Similaridade como Subsídio à Análise de Risco (Global, Qualidade da Água, Gestão Operacional e Aspectos Logísticos)

A Figura 51 é o resultado da análise de agrupamentos envolvendo todas as variáveis conjuntamente (1:18), cujo coeficiente aglomerativo foi da ordem de 0,96 (96%) de homogeneidade. Foi adotada a distância de Ward como escala comparativa de similaridade.

Ela agrupou todas as 18 variáveis envolvidas, apresentando dois grandes blocos similares com coeficiente aglomerativo da ordem 0,96 (bastante homogêneo). O primeiro bloco apresentou uma subdivisão, com as unidades amostrais 1, 3...até 40, as quais apresentam-se nitidamente compactadas no primeiro subgrupo à esquerda, observando-se uma relativa homogeneidade das características das águas de lastro. Mas, de modo contrário, as unidades amostrais 21 e 43 se mantiveram sempre diferenciadas das demais, em função da elevada salinidade e concentração elevada de micro-organismos como coliformes totais e *E. coli*.

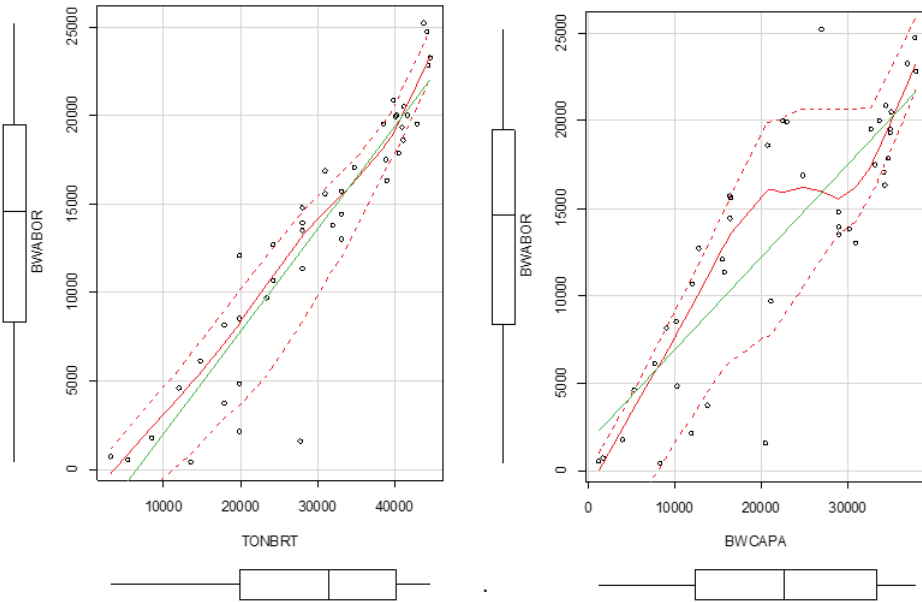
O resultado da análise de cluster da Figura 6-5, com apenas variáveis de gestão (ou logística), mostra certa diferenciação ou heterogeneidade entre os grupos, mas mantém o coeficiente aglomerativo da ordem de 0,9, indicando homogeneidade média para as variáveis utilizadas. A análise mostra a importância das variáveis de origem, destino, bandeira, capacidade de armazenamento e capacidade de troca dos navios, por exemplo. Também neste caso as unidades amostrais 21 e 43 mantiveram-se isoladas dos demais grupos, não fazendo parte de nenhum grupo ou par de similaridade.

### 8.5.3 Análises Estatísticas Complementares (BWRA x Qualidade da Água de Lastro)

Na Figura 52 as linhas verdes indicam a curva de regressão linear tradicional. A linha vermelha contínua indica mudança da tendência com a variável independente. As linhas superiores e inferiores vermelhas descontínuas indicam um intervalo de confiança IC Média  $\pm$  95%. Os círculos fora dos intervalos de confiança indicam *outliers* ou valores extremos da variável em questão. Nos eixos horizontais e verticais são representadas as médias com os intervalos interquartílicos representados para mais e para menos no formato de caixas do tipo Box Whiskers.

Na Figura 52, observa-se a variação da quantidade de água de lastro trocada em função da capacidade de armazenamento total do tanque de lastro no Porto de Santana. Quanto maior a capacidade do reservatório da água de lastro do navio "TORBOR", maior também é o volume de troca "BWABOR". Observa-se a variação da quantidade de água de lastro "BWABOR" trocada em função da

sequência amostral ao longo do tempo. Durante o período de amostragem nota-se a variação da capacidade do reservatório da água de lastro do navio “TORBOR”, no período da pesquisa, representado por “NAVNUM”.



**Figura 52** Relação entre a capacidade de armazenamento do navio e o volume efetivamente trocado de água de lastro

De acordo com Caron Júnior (2007), relacionando a capacidade total de lastro com a tonelagem bruta, de 181 embarcações que visitaram o Porto de Itajaí no ano de 2003 (90% do total de embarcações), a média dessa relação foi de 38,35%. Na presente análise, a correlação linear entre as duas variáveis foi da ordem de 72%.

O Estado da bandeira de um navio determina as leis e regulações às quais o navio é requerido a operar. Uma vez que essas nações podem ter diferentes práticas operacionais para o Gerenciamento da Água de Lastro, ou não possuem regulações ou padrões estabelecidos, os navios de diferentes bandeiras podem apresentar diferentes graus de influência nos ecossistemas visitados (LIU & TSAI, 2011).

Quando se realiza uma Avaliação de Risco de Água de Lastro (BWRA), não se considera apenas o volume de água descarregado em certa região/porto que tem relevância, mas também a frequência de visitas do navio e, mais importante, a Similaridade Ambiental entre regiões doadoras e receptoras, sendo esta a importância da Figura 6-5.

Um grande número de áreas doadoras potenciais com alta similaridade ambiental é um risco maior que em um porto com poucas visitas de navios de regiões pouco similares (GOLLASCH & LEPPÄKOSKI, 2007).

#### 8.5.4 Avaliação de Risco de Água de Lastro (BWRA)

O Risco pode ser definido como a probabilidade de que um evento indesejável ocorra como consequência de uma ação ou comportamento. A Avaliação de Risco identifica a frequência e consequências de tais eventos (HEWITT & HAYES, 2002).

Avaliações de Risco Qualitativas são as mais comuns (GOLLASCH, 2000; GOLLASCH & LEPPÄKOSKI, 2007; GRIGOROVICH *et al.*, 2003; HAYES & SLIWA, 2003), enquanto as Quantitativas são direcionadas para grupos de espécies específicas (HAYES, 1998; KOLAR & LODGE, 2002; NYBERG & WALLENINUS, 2005).

A avaliação de risco utilizada nessa pesquisa é baseada na avaliação da similaridade ambiental entre o porto destino e porto doador, utilizando a abordagem de comparação climática e de qualidade da água, principalmente o parâmetro salinidade (GOLLASCH & LEPPÄKOSKI, 2007; PAAVOLA *et al.*, 2005).

As Avaliações Quantitativas de Risco nem sempre são possíveis, por exemplo, em áreas sem banco de dados relevantes para se basear as técnicas empíricas (HAYES, 1998). Como consequência, expressões de Risco Qualitativo como baixo, médio e alto podem ser utilizados (SIMBERLOFF & ALEXANDER, 1994; GOLLASCH & LEPPÄKOSKI, 2007). Uma explicação para isso é a dificuldade de expressar os níveis de incerteza e uso de dados para os cálculos adicionais (HAYES, 1999).

Uma avaliação razoável de risco é geralmente a melhor opção para se levar os dados o mais longe possível, isso pode auxiliar o gerenciamento e as tomadas de decisão (PAAVOLA *et al.*, 2005).

O Risco estimado na Avaliação por Similaridade Ambiental compara salinidade, temperatura das áreas de origem e descarga da Água de Lastro (no presente estudo denominado de “BWABOR”) como essenciais para a sobrevivência das espécies em um novo ambiente (GOLLASCH & LEPPÄKOSKI, 2007). Portanto, a identificação do Risco pela abordagem Espécie Específica é direcionada na avaliação do potencial invasivo de cada espécie e previsões de males que possa causar em um novo ambiente (CLARKE *et al.*, 2003). Esta avaliação, foi feita indiretamente pelas medidas de Coliformes Totais e *E. coli*.

A abordagem por Similaridade Ambiental pode ser utilizada se os portos de origem e destino são localizados em diferentes biorregiões. No caso de pertence-

rem à mesma biorregião, assume-se que as condições ambientais são similares, portanto uma avaliação de risco Espécie Específica é necessária (GOLLASCH & LEPPÄKOSKI, 2007). E, na maioria dos estudos existentes, também se consegue, como consequência dessa análise, definir as ações para eliminar ou controlar os riscos identificados (VALLE & LAGE, 2003).

A falta de recursos para as instituições competentes e a não padronização das medidas de gerenciamento ambiental nos portos brasileiros são apontados como razões para o Programa de Gerenciamento de Água de Lastro apresentar deficiências e não agir de maneira efetiva. Mas alguns estudos têm observado que a troca de Água de Lastro pode ser considerada apenas uma solução provisória, devido às limitações de sua eficácia (CLARKE *et al.*, 2003).

Os Programas de Monitoramento adotados atualmente pelas administrações dos portos não seguem as mesmas metodologias, não incluem amostras representativas das áreas portuárias, e não examinam a presença de espécies invasoras.

Apesar dos requerimentos da NORMAM – 20, em um estudo da ANVISA foi revelado que 62% dos navios amostrados cujos capitães afirmam ter realizado a troca em alto mar, em acordo com as diretrizes da IMO, provavelmente não o fizeram, ou o fizeram apenas parcialmente (CARON JÚNIOR, 2007).

### 8.5.5 O Sistema Portuário Brasileiro e sua relação com o CMI

O Sistema Brasileiro de Portos Públicos é composto de companhias de docas, concessões estaduais e municipais e terminais privados. Existem 37 portos públicos importantes e mais de 140 terminais servindo como potenciais portas de entrada para bioinvasões no Brasil. Levando em consideração que a maioria das autoridades portuárias brasileiras não dispõem de sistemas de gerenciamento ambientais ideais, as condições são extremamente favoráveis para que as Espécies Invasoras sobrevivam nas áreas portuárias (LEAL NETO, 2007), tal como sugere as análises da Figura 50.

No estudo, os referidos autores analisaram 808 formulários de Água de Lastro, mas somente 39 (4,83%) apresentaram declaração de deslastro e, destes, somente 29 (3,59%) estavam em conformidade (ou possuíam todos dados necessários). Portanto, torna-se inviável a realização de uma análise de risco com tão poucos dados (CARON JÚNIOR, 2007).

Sabendo-se que vários navios, principalmente aqueles de cabotagem, atracam em diversos portos antes de alcançarem os portos amazônicos. Nestes termos, o risco de bioinvasão dentro de uma mesma macrorregião aumenta consideravelmente. Deste modo, é necessário pensar em um sistema de monitoramento que auxiliem os gestores portuários a melhor gerenciar e avaliar os riscos em relação à

água de lastro na região amazônica. Esta tem se tornado uma preocupação ainda maior para a conservação da biota amazônica local em face das mudanças da Norman-20 ocorrida em 2014, tornando a região com de vulnerabilidade considerável.

## 8.6 CONCLUSÃO

As principais conclusões da pesquisa foram:

1) Além da BWMC, o Brasil apresenta diversos mecanismos legais que podem servir de suporte à proteção do Ambiente Amazônico, como a CF de 1988 e demais Leis de proteção ao meio ambiente, como a Lei de Crimes Ambientais. Cabe ao Estado Brasileiro proteger sua biodiversidade em evidente vulnerabilidade decorrente da gestão inadequada ou procedimentos equivocados adotados por outros países que aqui adentram para transportar *commodities*.

Há prevalectimento dos navios graneleiros, cuja água de lastro tem sido oriunda de 21 países diferentes, mas, com a maioria, oriunda de outros portos brasileiros. O montante de água de lastro despejada nos ecossistemas amazônicos tem sido de aproximadamente 592.789,51 m<sup>3</sup>/ por ano em média. A ausência de medidas nacionais mais efetivas no BWM tem resultando em um inadequado controle das águas descarregadas e um considerável crescimento do CMI nos últimos anos, que leva a inserir as áreas portuárias brasileiras no contexto de riscos à bioinvasões. A maioria de programas e medidas de controle é descrita na Legislação e aplicada no processo de “Licenciamento Ambiental” dos portos.

2) O gerenciamento das áreas portuária no Brasil é de responsabilidade da autoridade portuária local (MP n. 595/2012). Mas, a legislação prevê, em caso de poluição de águas continentais ou marítimas, o enquadramento de ações poluidoras como infração de crime ambiental. E aplica-se ao caso da água de lastro se houver algum dano. Com efeito, há a necessidade de operacionalizar melhores processos gerenciais e de fiscalização, como o monitoramento das águas de lastro na zona portuária de Santana;

3) O monitoramento da qualidade da água junto à “Praticagem de Fazendinha” deve ser capaz de auxiliar a gestão portuária, além de subsidiar qualitativamente a análise de riscos de danos ambientais (como a bioinvasão), para que não incorram problemas irremediáveis, especialmente os danos irreversíveis aos ecossistemas locais;

4) Com base nos formulários concluiu-se que a eficácia da BWE no Porto de Santana na região amazônica apresentou deficiências consideráveis, como falhas de preenchimento sobre a avaliação da origem da água de lastro, fator este crítico acerca do desempenho relacionado aos volumes de troca da água de lastro, em função dos formulários obtidos durante o período da pesquisa.



5) É necessário a integração entre lideranças locais dos agentes públicos envolvidos em todo o processo de fiscalização observado *on board*, tais como as Agências de Navegação, Praticagem de Fazendinha, e até a Polícia Federal (Delegacia de Imigração), destacando-se o papel da Marinha do Brasil (Capitania dos Portos), que realizam preenchimento de relatórios com informações dos navios, além de realizar inspeção dos navios para verificação de equipamentos de navegação. Nestas inspeções evidenciaram-se a época da pesquisa, mas nem sempre comprovados, problemas de descontinuidade e precariedade do monitoramento da salinidade da Água de Lastro para atender critérios da NORMAM-20;

6) As análises microbiológicas serviram para constatar que a água coletada na segunda troca apresentaram ampla variação de valores fora dos estabelecidos pela Resolução 357/05 da CONAMA para *E. coli* e para CT. Com base nos estudos de similaridade, a água de lastro da cabotagem seria uma ameaça a ser avaliada, por ser da mais alta relevância regional, haja vista a similaridade da qualidade da água entre diferentes portos na própria Amazônia.

7) Dados da ANTAQ posicionam seis portos da Bacia Amazônica entre os maiores exportadores do Brasil, incluindo o Porto de Santana/AP. Ou seja, a Amazônia tem potencial significativo à bioinvasões promovidas por água de lastro ou incrustações dos navios do CMI.

8) Uma alternativa protetora seria o tratamento de água de lastro nos navios ou no porto, vez que a troca de Água de Lastro é apenas uma medida paliativa e pouco eficiente na prevenção de bioinvasões, se tomarmos os resultados destas análises realizadas. Mas estas tecnologias estão ainda em fase de desenvolvimento, conforme mostrado em capítulos anteriores deste livro. Cabe salientar, que com a entrada em vigor da BWMC existe uma tendência no longo prazo dos navios tratarem a água de lastro antes de despejar no ecossistema amazônico. Isso deverá naturalmente, promover uma melhoria na qualidade da água de lastro despejada. Contudo, não deve ser renegado o papel de avaliar os resultados finais deste despejo, tendo em vista que alguns estudos já apontarem problemas com a eficiência destes sistemas (Cohen e Dobbs, 2015). Segundo os autores, muitos sistemas de tratamento podem ter sido testados sem serem realmente expostos as condições reais de operações na presença de patógenos e bactérias. Além disso, outro estudo apresenta que os sistemas de tratamento a bordo tiveram problemas na sua operação segundo os comandantes de navios mercantes que tinham sistemas instalados a bordo (G Bakalar, 2016). Em alguns casos, estes comandantes fizeram o by-pass do sistema e fizeram a troca da água de lastro ao invés de sua utilização.

Embora, Cohen *et al.* (2017) apresentarem que alguns dos padrões utilizados pelo Science Advisory Board (SAB) dos Estados Unidos não estavam condizentes com a eficiência dos sistemas de tratamentos. Alguns testes de sistemas de tratamento a bordo conduzidos em 2010 e 2011 conseguiram atingir o limite de elimi-

nação de espécies acima de 10 vezes ao recomendado pela IMO. Isso mostra a dificuldade que ainda permeia a questão do BWB.

Finalmente, verificou-se que a Amazônia Legal é uma grande importadora de água de lastro no Brasil. Com efeito, qualquer medida que possa inibir consequências deletérias ao seu meio ambiente costeiro é positiva. Assim, em face ao que preconiza o Direito Ambiental Brasileiro, está previsto que a melhor medida é a prevenção. Este estudo revela exatamente, diante de riscos potenciais, sugere-se que medidas gerenciais e legais sejam imediatamente tomadas, de modo a reduzir o nível de vulnerabilidade e a probabilidade de bioinvasões futuras na zona costeira da Amazônia Brasileira, se é que já não estão ocorrendo. Precisamos entender que os recursos naturais devem ser utilizados hoje garantindo que as gerações futuras também tenham o mesmo direito. Deste modo, o presente estudo chama a atenção para a necessidade com a região costeira brasileira seja ela marítima ou fluvial.

## 8.7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da CAPES e CNPq (Processo: 475614/2012-7) pelo auxílio financeiro através de Bolsa de Mestrado/CAPES, ao PPGDAPP/UNIFAP e pelo apoio logístico ao Laboratório de Química e Saneamento Ambiental/UNIFAP. Os autores também agradecem a FINEP por meio do CT Aquaviário pelo financiamento de pesquisas, tais como, o projeto ALOHA.

Por fim, os autores agradecem ao CNPq Processo 303715/2015-4.

## 8.8 REFERÊNCIAS

ALB. A água de lastro e seus riscos ambientais. 2009. Cartilha de conhecimentos básicos. São Paulo: Água de Lastro Brasil, 73p.

AMAPÁ. 1999. Código Ambiental do Estado do Amapá.

AMAPÁ. 2002. Lei n. 0686, de 07 de junho de 2002, Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 16 mar. 2012.

ANTAQ. 2014. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. [www.antaq.gov.br](http://www.antaq.gov.br) acesso em 12/01/2014.

APHA – American Public Health Association. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington: APHA.

BRASIL. 1997. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília.

BRASIL. 1998. Lei n. 9.605. Lei dos Crimes Ambientais.

BRASIL. 2012. Medida Provisória n. 595. Revoga a Lei do Portuário, e dispõe sobre a exploração direta e indireta de portos e instalações portuárias pela União.

BRASIL. 2005. Resolução CONAMA nº 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BUCK, E.H. 2007. Ballast Water Management to combat invasive species. CRS Report for Congress. USA.

BURKHOLDER, J.M., HALLEGRAEFF, G.M., MELIA, G., COHEN, A., BOWERS, H.A., OLDACH, D.W., PARROW, M.W. 2007. Phytoplankton and bacterial assemblages in ballast water of U.S. military ships as a function of port of origin, voyage time, and ocean exchange practices. *Harmful Algae* 6 (4), p. 486–518.

CARLTON, J. T. 1985. Transoceanic and intraoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 23, p. 313-371.

CARLTON, J. T. 2010. The Impact of Maritime Commerce on Marine Biodiversity. *Brown Journal of World Affairs*, Vol. XVI, Issue II. Section 138.

CARON JUNIOR, A. 2007. Avaliação do risco de introdução de espécies exóticas no Porto de Itajaí e entorno por meio de água de lastro. Dissertação (mestrado) apresentada a Universidade do Vale do Itajaí em Ciências e Tecnologia Ambiental.

CLARKE, C. *et al.* 2003. Ballast Water Risk Assessment, Port of Sepetiba, Federal Republic of Brazil. *GloBallast Monograph Series* n. 14. Final Report.

COHEN, A.N., DOBBS, F.C., CHAPMAN, P.M., Revisiting the basis for US ballast water regulations. *Marine Pollution Bulletin*. 2017.

COHEN, A.N., DOBBS, F.C. Failure of the public health testing program for ballast water treatment systems. *Marine Pollution Bulletin*. 2015.

CUNHA, A.C., BRITO, D.C., JUNIOR, A.C.B., PINHEIRO, L.A. DOS R., CUNHA, H.F.A., SANTOS, E.S. DOS, KRUSCHE, A.V., 2012. Challenges and Solutions for Hydrodynamic and Water Quality in Rivers in the Amazon Basin. In: Schulz, H.E., SIMÕES, A.L.A., LOBOSCO, R.J. (Eds.), *Hydrodynamics – Natural Water Bodies*. InTech, Rijeka/Croácia, pp. 67-88.

CUNHA, A.C., BRITO, D.C., CUNHA, H.F.A., SCHULZ, H.E., 2011. Dam Effect on Stream Reaeration Evaluated with QUAL2KW Model: Case Study of the Araguari River, Amazon Region, Amapá State/Brazil. In: Billibio, C., Hensel, O., Selbach, J. (Eds.), *Sustainable Water Management in the Tropics and Subtropics – And Case Studies in Brazil*. Fundação Universidade Federal do Pampa, Jaguarão/RS, p. 697.

CUNHA, A.C., CUNHA, H.F.A., BRASIL-JR, A.C., DANIEL, L. A., SCHULZ, H. E., 2004. Qualidade microbiológica da água em rios de áreas urbanas e periurbanas no Baixo Amazonas: o caso do Amapá. *Engenharia Sanitária Ambiental* 9, 322-328.

DRAKE, L.A., DOBLIN, M.A., DOBBS, F.C. 2007. Potential microbial bioinvasions via ships' ballast water, sediment, and biofilm. *Marine Pollution Bulletin*. 55, 331–341.

FERREIRA, C.E.L. *et al.* 2009. Marine Bioinvasions in the Brazilian Coast: brief report on history of events, vectors, ecology, impacts and management of non-indigenous species. In G. Rilov & J.A. Crooks. Biological invasions of marine ecosystems: ecological, management, and geographic perspectives. Springer-Verlag, Berlin, Brandenburg, Germany. p. 459-478.

GOLLASCH, S. *et al.* 2000. Survival of Tropical Ballast Water Organisms During a Cruise from the Indian Ocean to the North Sea. *Journal of Plankton Research*. Vol. 22. p. 923-937.

GOLLASCH, S.; LEPPÄKOSKI, E. 2007. Risk assessment and management scenarios for ballast water mediated species introductions into the Baltic Sea. *Aquatic Invasions*. vol. 2, Issue 4: pp. 313-340.

GRIGOROVICH, I.A., COLAUTTI, R.I., MILLS, E.L., HOLECK, K., BALLERT, A.G., MACISAAC, H.J. 2003. Ballast-mediated animal introductions in the Laurentian Great Lakes: retrospective and prospective analyses. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60: 740-756.

Bakalar, G. Comparisons of interdisciplinary ballast water treatment systems and operational experiences from ships. SpringerPlus, 2016 – Springer.

HAIR Jr, J. F; TATHAN, A. R.L; BLACK, W. C. 2005. Análise Multivariada de Dados. Viçosa: Tradução Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto. Bookman. 5. ed., Porto Alegre – RGS.

HAYES, K.R. 1998. Bayesian statistical inference in ecological risk assessment. CRIPM Technical Report 17. CSIRO Marine Research, Australia, 55 pp.

HAYES, K.R., SLIWA, C. 2003. Identifying potential marine pests – a deductive approach applied to Australia. *Marine Pollution Bulletin* 46: 91-98.

HEWITT, C.L., HAYES, K.R. 2002. Risk assessment of marine biological invasions. In: Leppakoski, E., Gollasch, S., Olenin, S. (Eds.), *Invasive Aquatic Species of Europe Distribution, Impact and Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 456-466.

HUA, J., HUANG, W.H. 2012. Effects of voyage routing on the survival of microbes in ballast water. *Ocean Engineering*. vol.42. p. 165-175.

IMO. 2004. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWMC). International Maritime Organization (IMO).

KOLAR, C.S., LODGE, D.M. 2002. Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. *Science* 298. P. 1233-1236.

LEAL NETO, A. DE C. 2007. Identificando similaridades: Uma aplicação para a avaliação de risco de água de lastro. Tese (Doutorado) apresentada a Universidade Federal do Rio de Janeiro em Ciências em Planejamento Energético.

LIU, T.K.; TSAI, T.K. 2011. Vessel traffic patterns in the Port of Kaohsiung and the management implications for preventing the introduction of non-indigenous aquatic species. *Marine Pollution Bulletin*. 62. p. 602-608.

LOEBMANN, D.; MAI, A. C. G; LEE, J. T. 2010. The invasion of five alien species in the Delta do Parnaíba Environmental Protection Area, Northeastern Brazil. *Revista Biologia Tropical*, San José, v. 58, n. 3, Sept. Disponível em <[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442010000300009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000300009&lng=en&nrm=iso)>. acesso em 24 Fevereiro de 2012.

MCCARTHY, S.A., KHAMBATY, F.M. 1994. International Dissemination of Epidemic *Vibrio cholerae* by Cargo Ship Ballast and Other Non-potable Waters. *Applied Environmental Microbiology*. Vol. 60. p. 2597-2601.

MEDCOF, J.C. 1975. Living Marine Animals in a Ships' Ballast Water. *Proceedings National Shellfish Association*. Vol. 65. p. 54-55.

NORMA DA AUTORIDADE MARÍTIMA PARA. O GERENCIAMENTO DA ÁGUA DE LASTRO DE. NAVIOS – NORMAM-20/DPC. 2005. MARINHA DO BRASIL.

NYBERG, C., WALLENTINUS, I. 2005. Can species traits be used to predict marine macroalgal introductions? *Biological Invasions* 7: 265-279.

OLIVEIRA, U. C. 2008. The Role of the Brazilian Ports in the Improvement of the National Ballast Water Management Program According the Provisions of the International Ballast Water Convention. The United Nations-Nippon Foundation Fellowship Programme 2007 – 2008. New York.

PAAVOLA, M., OLENIN, S., LEPPÄKOSKI, E. 2005. Are invasive species most successful in habitats of low native species richness across European brackish water seas? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64: 738-750.

PEREIRA, J.P.F.N. 2013. Monitoramento de água de lastro na zona portuária de Santana/AP: suporte às políticas públicas de gerenciamento. Dissertação de Mestrado do PPG-DAPP/UNIFAP. 122 p.

PEREIRA, N. N.; BOTTER, R. C.; FOLENA, R. D.; PEREIRA, J.P.F.N.; CUNHA, A. C. (2014). Ballast water: a threat to the Amazon Basin. *Marine Pollution Bulletin*, 2014 (in press).

PETERNELLI, L. A.; MELLO, M, P. de. 2011. *Conhecendo o R: uma visão estatística*. Viçosa: UFV.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2011. *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RAS. Relatório Ambiental Simplificado. 2012. Companhia Norte de Navegação e Portos (CIANPORT).

RUIZ, G.M., RAWLINGS, T.K., DOBBS, F.C., DRAKE, L.A., MULLADY, T., HUQ, A., COLWELL, R.R. 2000. Global spread of microorganisms by ships. *Nature* 408, 49–50.

RUIZ, GREGORY M., CARLTON, J. T., GROSHOLZ, E. D., HINES, A. H. 1997. Global Invasions of Marine and Estuarine Habitats by Non-Indigenous Species: Mechanisms, Extent, and Consequences. *Integrative and Comparative Biology*. 37, p. 621-632.

SILVA J.S.V., SOUZA, R.C.C.L. (Org). 2004. Água de Lastro e Bioinvasão. Rio de Janeiro: Ed. Interciência.

SILVEIRA JR., A. M. 2012. Composição e biomassa microfitoplanctônica associadas à variáveis física e químicas em dois transectos da zona estuarina do rio Amazonas (Amapá, Amazônia, Brasil). Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) – Universidade Federal do Amapá – UNIFAP 90 p.

SIMBERLOFF, D., ALEXANDER, M. 1994. Issue paper on biological stressors. Ecological Risk Assessment Issue Papers, EPA/630/R-94/009, U.S. EPA, Washington DC.

ULIANO-SILVA, M., FERNANDES, F. C. F., DE HOLANDA, I. B. B., REBELO, M. F. Invasive species as a threat to biodiversity: The golden mussel *Limnoperna fortunei* approaching the Amazon River basin. Exploring Themes on Aquatic Toxicology. 2013.

UNCTAD. 2008. Review of Maritime Transport. UNCTAD Report.

VALLE, C.E.do; LAGE, H. 2003. Meio Ambiente: acidentes, lições e soluções. São Paulo: Ed. Senac.

WILLIAMS, R.J. *et al.* 1988. Cargo vessel ballast water as a vector for the transport of nonindigenous marine species. Estuarine Coast Shelf Science. 26, 409-20.



# DESAFIOS PARA MONITORAR A QUALIDADE DA ÁGUA DE LASTRO NO COMPLEXO PORTUÁRIO DO ITAQUI – ESTUDO DE CASO

**JALILA ANDRÉA SAMPAIO BITTENCOURT**

## **9.1 INTRODUÇÃO**

O transporte marítimo internacional de mercadorias movimenta anualmente mais de 80% das mercadorias do planeta (CARMO, 2006) e, por consequência, movimenta também cerca de 10 bilhões de toneladas de água de lastro, que são descartadas após serem utilizadas como lastro pelos navios transferindo-se assim, a cada dia, aproximadamente, sete mil espécies marinhas invasoras ou exóticas que são introduzidas em ambientes aquáticos que lhes são estranhos (PIMENTEL *et al.*, 2001). Esta invasão já ocasionou, em vários países, diversos danos à biodiversidade e à saúde pública, além de inúmeros prejuízos econômicos.

A troca da água de lastro consiste em uma prática constante entre navios por todo o mundo. Ela visa garantir a segurança do navio, quando este sai do porto de origem sem ou pouca carga, a fim de garantir a estabilidade do mesmo durante a navegação.

Tendo em vista que o transporte marítimo é em grande parte realizado entre países, este tema tem tido uma repercussão crescente e muito se tem discutido acerca das medidas mais adequadas para o gerenciamento e controle da água de lastro, em nível nacional e internacional.



Neste contexto, este estudo apresentou os resultados do monitoramento e a qualidade da água de lastro no Complexo Portuário do Itaqui, e desta forma identificou as possíveis fragilidades que possam afetar tal monitoramento, bem como, ressaltar a necessidade de os órgãos competentes estabelecerem uma fiscalização eficaz para o gerenciamento da água de lastro no Estado do Maranhão.

## **9.2 METODOLOGIA**

A presente pesquisa é um estudo de caso realizado no Complexo Portuário do Itaqui no período de novembro de 2015 a março de 2016. Trata-se de uma pesquisa aplicada, transversal, qualitativa, quantitativa, descritiva, exploratória, aliado a procedimentos bibliográficos e levantamento de dados.

Este estudo foi desenvolvido com base em buscas na internet; leitura de artigos científicos envolvendo o assunto água de lastro, direito ambiental, gestão ambiental; aplicação de questionário com gestores da ANVISA, Capitania dos Portos, Empresa Maranhense de Administração Portuária – EMAP e agentes marítimos. Foi realizada uma consulta por meio de questionário aos capitães dos navios; análise dos registros de deslastre dos navios com auxílio do Google Earth; além de notícias publicadas sobre o tema.

## **9.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE LASTRO**

### **9.3.1 Definição**

Desde os primórdios o homem vem utilizando a água como meio de transporte de mercadorias e pessoas. Inicialmente, as embarcações foram construídas de forma mais artesanal e eram de menor porte. Após sucessivos avanços e desenvolvimento da engenharia naval, foram empregados novos materiais como o aço por exemplo. Vale lembrar, que a expansão marítima proporcionou um maior desenvolvimento do comércio, levando a construção de navios de maior porte para o transporte de mercadorias.

Um grande obstáculo para operação do navio surge neste contexto, pois ele é projetado para transportar além de seu peso, uma estipulada quantidade de carga. Ao viajar completamente carregado, o navio estará em condições estáveis, pois as forças externas que incidem sobre ele (ventos e ondas) não afetam sua segurança. Porém, ao navegar sem carga, poderá ficar instável, ou seja, “com a ação das ondas e do vento sobre a embarcação, poderá acontecer, dependendo da intensidade da força desses elementos, que ele não consiga retornar a sua condição de equilíbrio, com o risco de virar ou afundar” (ÁGUA DE LASTO BRASIL, 2009, p. 10).

Com o objetivo de reduzir o problema exposto, o navio que realizar a viagem sem ou pouca carga, a fim de não comprometer sua segurança, deverá, portanto, “adicionar um peso extra, com o intuito de garantir que tenha um comportamento estável, conservando seu casco imerso na água”. A este peso adicional, dá-se o nome de lastro (ÁGUA DE LASTO BRASIL, 2009, p. 10).

Anteriormente usava-se o lastro sólido, como pedras, areia e outros materiais pesados e baratos. No entanto, a partir dos anos 80, trocou-se o lastro sólido pelo líquido, utilizando para tanto, a água por ser mais fácil de carregar e descarregar, sendo mais eficiente e econômica.

Deste modo, pode-se dizer que “o lastro é o carregamento de água do mar ou rios nos tanques dos navios que estão com seus porões vazios, com o objetivo de lhe assegurar condições mínimas de estabilidade, governo e manobra (ÁGUA DE LASTO BRASIL, 2009, p. 11)”.

De acordo com alguns dispositivos, define-se água de lastro como sendo:

(...) água colocada em tanques de uma embarcação com o objetivo de alterar o seu calado, mudar suas condições de flutuação, regular a sua estabilidade e melhorar sua manobrabilidade (art. 1º, IV do anexo Resolução RDC 217/2001, ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária).

(...) a água com suas partículas levada a bordo de um navio nos seus tanques de lastro, para o controle do trim, banda, calado, estabilidade ou tensões do navio (NORMAM 20 – Norma da Autoridade Marítima para o Gerenciamento de Água de Lastro de Navios).

Observa-se que a água de lastro é um elemento fundamental para assegurar a flutuabilidade, navegabilidade e segurança das embarcações.

### 9.3.2 Água de lastro no contexto internacional

A Organização Marítima Internacional – IMO atuante desde 1959 é uma Agência especializada das Nações Unidas, possui, entre outras responsabilidades, a prevenção da poluição marinha por navios. Desde 1988 gerencia o tema sobre água de lastro, através do seu Comitê de proteção ao Meio Ambiente Marinho (MEPC).

Para isso editou a Resolução A.868 (20), de 1997, que sugere as Diretrizes para o Controle e Gerenciamento de Água de Lastro dos Navios para minimizar a transferência de organismos aquáticos nocivos e patogênicos. Em 2004 edita-se a Convenção Internacional para o Controle e Gerenciamento da Água de Lastro dos navios (BMWC) (Pereira, 2013).

Corroborando a determinação da IMO quanto adotar ações positivas sobre água de lastro, foi criado o *Global Ballast Water Management Program*, o GLOBALBALLAST, Revista *BW NEWS*, cujo propósito maior é auxiliar os governos, autoridades relacionadas com o assunto, comandantes de navios, operadores, armadores, autoridades portuárias e outras entidades afins, para amenizar os riscos de introdução desses organismos aquáticos nocivos e agentes patogênicos, provenientes da água utilizada como lastro pelos navios e sedimentos nela contidos; resguarda, contudo, a segurança dos navios e sua tripulação (IMO, 2017).

A BWMC preconiza que todo navio que utiliza água como lastro deve ser dotado de um Plano de Gerenciamento de Água de Lastro destinado a amenizar a transferência desses organismos nocivos. Esse plano deve fornecer ao Comandante do navio e sua tripulação procedimentos seguros e eficazes para gerenciamento dessa água a bordo e deve fazer parte da documentação operacional do navio. Para isso, deverá conter orientação quanto a métodos de troca e tratamento de água de lastro no navio; deve ter também um Oficial responsável pelo gerenciamento e registros da água de lastro embarcada / desembarcada de bordo (NORMAM 20, 2014).

### 9.3.3 Água de lastro no contexto nacional

A legislação brasileira que trata do meio ambiente, entre outras são: Lei n. 6.938/1981 – Política Nacional de Meio Ambiente; Lei n. 12.815/2013 – Portos e instalações portuárias (Nova Lei dos Portos); Lei n. 9.537/1997 – Lei de Segurança do Tráfego Aquaviário; Lei n. 9.605/1998 – Lei dos Crimes Ambientais e Lei n. 9.966/2000 – Lei de Poluição das Águas.

De acordo com a Lei de Segurança do Tráfego Aquaviário, cabe à DPC (Diretoria de Portos e Costas), como representante da Autoridade Marítima Brasileira (AM), que é o Comandante da Marinha, assegurar, entre outras competências, no mar aberto e hidrovias interiores, a prevenção da poluição ambiental por parte das embarcações, plataformas e suas instalações de apoio.

Assim sendo, a DPC editou a NORMAN-20 (Gerenciamento de Água de Lastro – Organismos Aquáticos, Exóticos nocivos e Agentes Patogênicos), Norma da AM que normatiza as atividades sobre o gerenciamento de Água de Lastro em todos os navios nacionais e estrangeiros, dotados de porões / tanques de água de lastro que utilizam nossos portos e terminais portuários e trafeguem em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB).

Estabelece a NORMAM-20 (2014) que esses navios devem:

- a. Estar sujeitos à Inspeção Naval, a fim de verificar sua conformidade com nossas Normas.

- b. Encaminhar, impreterivelmente, com antecedência mínima de 2h após o início da operação do navio, o Formulário sobre Água de Lastro para as autoridades competentes, a fim de ser analisado quanto ao remanejamento dessa água e posteriormente ser encaminhado para o Instituto de Estudos do Mar “Almirante Paulo Moreira”, da Marinha do Brasil.
- c. Realizar troca de água de lastro de seus tanques/ porões pelo menos a 200 milhas náuticas da terra mais próxima e numa profundidade mínima de 200m; caso haja impossibilidade operacional de cumprir essa determinação, que realize a troca a pelo menos 50 milhas náuticas e em águas de profundidade de pelo menos 200m; essa troca deve atingir, no máximo, 95% do volume da água de lastro existente a bordo; com isso, somente os tanques/ porões que efetuam a troca poderão ser deslastrados a área portuária.
- d. Os sedimentos de água de lastro só poderão ser descarregados no mar nas mesmas condições estabelecidas para troca da água de lastro.
- e. Se procedente do exterior e tiver necessidade de deslastrar em AJB deve ter trocado a totalidade da água de lastro em águas oceânicas, antes da chegada ao primeiro porto/ terminal portuário nacional.
- f. Apresentar, o Plano de Gerenciamento de Água de Lastro, aprovado por uma Sociedade Classificadora, assim como o Livro de Registro de Água de Lastro e Certificado Internacional de Gestão de Água de Lastro.
- g. Propiciar, a fim da verificação das informações lançadas no Formulário, aos Inspectores Navais, amostras da água de lastro dos tanques, para serem analisadas pelo refratômetro quanto à sua salinidade e densidade.

#### 9.3.4 Efeitos resultantes da transferência da água de lastro

Quando a água de lastro é despejada em local diferente do qual foi coletada, milhares de espécies marinhas são lançadas a um novo ecossistema. Calcula-se que o transporte marítimo de cargas, “transfere internacionalmente de 3 a 5 bilhões de toneladas de água de lastro a cada ano, sendo que conseqüentemente proporciona o transporte diário de pelo menos 7.000 espécies entre diferentes regiões do globo”. (KESSELRING, 2007).

Algumas destas espécies são consideradas nocivas ou patogênicas porque, se implantadas em regiões diferentes do seu habitat natural, englobando águas marinhas e estuários, ou em cursos de água doce, podem causar impactos ambientais, prejudicando a biodiversidade biológica, criando riscos à saúde humana, trazendo enfermidades ou mesmo a morte, podem ainda causar impactos econômicos, como a deterioração de instalações, tubulações e cascos das embarcações, redução da atividade pesqueira, enfim, como podemos perceber, os prejuízos são relativamente grandes, daí a preocupação com o tema (Pereira, 2013).

Uma das características dos organismos aquáticos nocivos e patogênicos é que constantemente se tornam “invasores”, ou seja, por não possuírem predadores naturais, acabam se adaptando e se multiplicando rapidamente, ocupando o habitat natural das espécies nativas (Pereira e Brinati, 2012; Pereira *et al.*, 2014).

Segundo Kesselring (2007), as principais espécies identificadas no Brasil e no Mundo são:

No mundo:

- Mexilhão Zebra Europeu (*Dreissena polymorpha*) – infestou nos Estados Unidos, 40% das vias navegáveis do país entre os anos de 1989 e 2000.
- Alga marinha asiática (*Undaria pinnatifida*) – está invadindo novas áreas da Austrália e desalojando comunidades nativas.
- Água viva filtradora norte americana (*Mnemiopsis leidyi*) – atingiu o Mar Negro causando um colapso na pesca comercial da região.

No Brasil:

- Vibrião colérico (*Vibrio cholerae*) – tido como suspeito por causar um surto de cólera no Paranaguá.
- Siri bidu (*Charybdis hellerii*) – espécie marinha de crustáceo de origem indo-pacífica, que no Brasil prejudicou a pesca do siri nativo da Bahia. Foi observado nas Baías de Guanabara e Sepetiba e no Estado de São Paulo.
- *Isognomon bicolor* – espécie de molusco bivalve de origem indo-pacífica, que habita as regiões entremarés da Bahia à Santa Catarina.
- Algumas espécies de algas tóxicas – nativas de outras localidades, foram observadas em várias regiões do Brasil. Causam irritações na pele humana e matam algumas espécies de animais marinhos, acabando por tornar mariscos impróprios para o consumo.
- Mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) – molusco bivalve originário dos rios asiáticos é o principal responsável pela maior bioinvasão no território brasileiro.

## 9.4 RESULTADOS

Este estudo de caso foi realizado no Complexo Portuário do Itaqui, no qual trafegam anualmente cerca de 1600 navios, considerando todos os navios que circulam no seu entorno. A maioria dos navios que circulam nestas águas são graneleiros que carregam minério de ferro ou soja, ou descarregar bauxita, fertilizantes e carvão.

Para a pesquisa foram realizadas sucessivas visitas ao porto e aos navios que atracaram somente no porto do Itaqui (Figura 53), onde foram aplicados questionários com perguntas abertas a respeito do tema tanto para os comandantes dos navios, quanto para os gestores dos órgãos envolvidos, tais como, EMAP, ANVISA, agências marítimas, Vale e Capitania dos Portos. Além dos questionários, foram analisados os registros de água de lastro dos navios no período de novembro de 2015 a março de 2016.



**Figura 53** Visita aos navios para condução de entrevistas

Fonte: Próprio autor

No total foram aplicados cerca de sete questionários com comandantes das embarcações, cinco questionários com gestores, e foram analisados cerca de 26 registros de água de lastro. Ao aplicar os questionários, percebemos certa resistência por parte de alguns comandantes e gestores. Alguns comandantes se negavam a ler, outros delegavam aos seus imediatos a função de responder os questionários. Um gestor se negou a responder e só o fez após uma declaração expedida pela Universidade Federal do Maranhão e protocolada no respectivo órgão, outro questionou sobre o tema pesquisado em relação ao curso que autora estava realizando.

Ademais, ao analisar os questionários respondidos pelos gestores, percebeu-se que a grande maioria, apresenta um conhecimento básico acerca do tema água de lastro.

Vale ressaltar, que diversas vezes não foi possível acesso a área primária e desta forma perdemos a oportunidade de visitar um número considerável de navios. Isto acontecia em virtude restrição no controle de acesso à área primária.

Ao questionar os órgãos envolvidos na gestão da água de lastro a respeito do seu monitoramento, percebeu-se que ele ainda é feito de forma deficiente no Estado.

Apenas a Autoridade Marítima, na competência da Capitania dos Portos do Maranhão (CPMA) é quem realiza em parte este monitoramento, com análises físicas da água de lastro e seus respectivos registros, que também são encaminhados ao Instituto de Estudos do Mar “Almirante Paulo Moreira”. Os demais órgãos apenas recebem os registros de água de lastro. Ao questionar também sobre a quantidade de navios que já foram autuados por não cumprimento da NORMAM-20, todos responderam não ter ocorrido nenhuma falha por descumprimento da norma.

Nenhum órgão do Estado realiza análise microbiológica dos navios contendo água como lastro, bem como, a grande maioria dos portos nacionais. Ao questionar a ANVISA e CPMA sobre a problemática, ambas afirmaram não possuir recursos, e que as Universidades locais embora já tenham realizado tais pesquisas, atualmente não vem manifestando interesse em solicitar parcerias para realização das pesquisas. A ANVISA possui um quadro de funcionários reduzido, possuem um total de sete funcionários, com apenas três trabalhando nos turnos, portanto, pode-se afirmar que a quantidade de pessoas para fiscalizar e coletar amostras é insuficiente devido ao grande contingente de navios que aportam neste complexo.

Em virtude disto e do grande potencial na transferência de micro-organismos patogênicos presentes na água do lastro, é que inicialmente optou-se por realizar além dos procedimentos citados anteriormente, análises físicas, químicas e microbiológicas, englobando um total de oito análises (temperatura, salinidade, pH, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos, total de oxigênio dissolvido, coliformes totais e contagem de *Escherichia coli*).

No entanto, as análises acabaram não sendo concluídas em razão de inúmeras dificuldades que ocorreram no decorrer desta pesquisa. A primeira dificuldade encontrada ocorreu na própria Universidade Federal do Maranhão, na busca de laboratórios e escassez de profissionais habilitados para auxiliar nas análises. A resistência de alguns comandantes em liberar as amostras foi outra dificuldade obtida. Outro empecilho foi no acesso aos reagentes e materiais, elevando o custo da pesquisa, alguns chegaram a ser obtidos, porém doados.

Outro fator, foi a pesquisa bibliográfica, devido à escassez de fontes envolvendo o assunto no Maranhão, por se tratar de um Estado com grande potencial de comércio marítimo e extensa faixa litorânea; por fim, o obstáculo que realmente impactou de forma significativa para não realização das análises, foi o pouco tempo obtido para tal, que se tornou reduzido em consequência das greves, feriados prolongados, recessos e férias docentes na Universidade Federal do Maranhão.

A CPMA, como Agente da Autoridade Marítima no Maranhão, possui um Grupo de Vistorias e Inspeções, GVI, que monitora o cumprimento da Legislação e procedimentos sobre a água de lastro nos navios que atracam em nossos portos e terminais portuários. Para isso, possui duas equipes de Inspetores, totalizando oito Inspetores qualificados e certificados internacionalmente pela DPC, que realizam entre outras atividades, inspeções em navios nacionais e estrangeiros que aqui trafegam. Um dos itens de inspeção é a verificação in loco, do cumprimento das Normas em vigor sobre a água de lastro. Para isso, vem adotando os seguintes procedimentos:

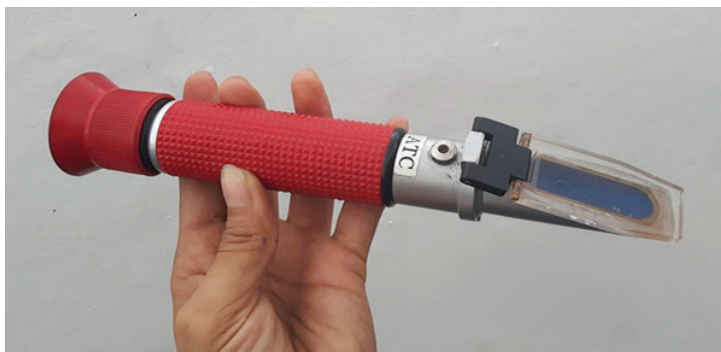
- a. Analisar os Relatórios de Água de Lastro recebido dos navios 24h antes de chegar à área portuária, a fim de verificar a quantidade de água de lastro existente a bordo e se foi efetivada a troca oceânica; após essa análise é decidido se o navio pode ou não operar em nosso Complexo Portuário;
- b. Quando da Inspeção Naval a bordo dos navios, verifica a existência do *Ballast Water Management Plan*, aprovado pela Sociedade Classificadora. Caso o navio possua o Plano, mas que não esteja aprovado pela Sociedade Classificadora, está passível de ser penalizado com multas e recomendado de somente voltar às AJB com o Plano de Gerenciamento de Água de Lastro devidamente aprovado. Caso o navio não possua Plano a bordo, será determinado que seja interrompida a sua operação de carga/ descarga, desatracando e retirando-se das AJB;
- c. Realiza a medição da salinidade e densidade da água de lastro existente a bordo, a fim de verificar se aquela água é de origem oceânica. Caso a água não seja oceânica, o navio deve parar sua carga/ descarga e buscar águas oceânicas para trocar sua água de lastro. Será penalizado com multas e adotadas providencias administrativas severas;
- d. Realiza orientação ao Comandante e Imediato sobre a necessidade da troca oceânica efetiva da água de lastro recebida em áreas portuárias.

As inspeções são realizadas por amostragem em consequência do pequeno número de Inspetores existentes (oito). Prioritariamente as inspeções acontecem no Terminal de Ponta da Madeira, nos navios graneleiros tipo Valemax, por apresentar uma quantia considerável de água de lastro (aproximadamente 150 mil toneladas). Portanto, é essencial uma vistoria minuciosa nestes navios em razão da grande quantidade de água que é deslastrada.

As inspeções são feitas nestas embarcações, pois como mencionado, os mesmos chegam sem carga, ou seja, em lastro. No porto do Itaqui, muitos navios chegam sem realizar a troca da água de lastro, todavia, com a instalação do Terminal de Grãos do Maranhão – TEGRAM houve um crescente aumento no número de navios que atracam contendo água de lastro.



Diante do exposto, percebe-se que com a verificação in loco da salinidade e densidade por meio do refratômetro, é possível verificar se foi realizada a troca oceânica da água de lastro ou não. O padrão de referência é de  $\geq 35\%$  para salinidade e  $\geq 1,25\text{g/ml}$  para densidade. A água oceânica apresenta uma maior salinidade e densidade em comparação às águas fluviais e salobras. Por isso, se houver a troca, os resultados obtidos estarão dentro do padrão.



**Figura 54** Refratômetro utilizado nas medições de salinidade

Com isso, surge outra problemática, a retirada da obrigatoriedade da segunda troca da água de lastro para a região amazônica. Na resolução anterior da NORMAM-20, eram obrigatórias as duas trocas, a primeira era realizada para a eliminação e minimização de agentes patogênicos, a segunda para diminuir a salinidade presente no lastro. Ao indagar os gestores sobre esta flexibilização da norma, a maioria respondeu não compactuar com tal decisão, e acredita que o aumento da salinidade em vias interiores pode prejudicar a biota local.

O Porto do Itaquí é considerado um *Hub Port* de combustível e derivados. Ao analisar os registros de água de lastro dos navios gaseiros e petroleiros, observou-se que grande parte deles, não apresentava quaisquer informações sobre trocas oceânicas de água de lastro, por se tratar de um porto concentrador, e os navios desembarcarem cheios de carga.

Com a observação dos relatórios, percebeu-se que os navios de longo curso, apresentam seus relatórios melhor preenchidos de acordo com a Normam em comparação aos de cabotagem. Discutiu-se o porquê desta situação com um Inspetor da CPMA, ele afirmou que na cabotagem entre portos marítimos não é obrigatório realizar a troca, mas sim entre portos marítimos e fluviais.

No entanto, a temperatura, salinidade, bem como, alguns animais marinhos, difere-se de uma região para outra, com isso, torna-se essencial à realização da troca da água de lastro mesmo entre portos nacionais. Ao perguntar sobre a existência de áreas sensíveis em nosso Complexo, o Inspetor respondeu não

possuir, contudo, é sabido, que o nosso litoral apresenta uma vasta área de mangue. Considerando que por ser um berço da biodiversidade nacional, seria importante à demarcação destas áreas no intuito de preservar, o maior número de espécies possíveis.

Ao analisar o material coletado, percebemos que o tempo médio de experiência de cada comandante, bem como o grau de instrução e o período de tempo em que eles estudaram, não condiz com as respostas preenchidas nos questionários, apesar de possuírem conhecimentos suficientes para respostas concretas, muitos deixaram várias questões em branco, não dando importância devida ao tema.

Em relação aos gestores, somente um respondeu todas as questões de forma satisfatória, este possuía maior tempo de experiência portuária, enquanto os demais apresentaram ter um conhecimento básico em relação ao assunto.

Ao analisar as operações envolvendo a água de lastro, e questionar os riscos expostos, 57% dos capitães entrevistados, relatou que os riscos envolvem problemas com a estabilidade dos navios. Enquanto para os gestores, 100%, ou seja, todos os entrevistados, responderam ser a bioinvasão o maior risco envolvendo a água como lastro.

Dos 26 formulários de água de lastro expedidos pelos navios de acordo com a Normam-20/DPC, a grande maioria é do tipo *oil tanker*. Portanto, estes navios estavam carregados de combustível para descarregar no porto do Itaquí, com isso, navegam sem lastro. Estes navios possuem uma tonelage bruta em média de 24 a 35 mil toneladas, tendo, portanto, uma capacidade de carga e de lastro consideráveis.

Ao analisar estes formulários, percebemos que muitos não apresentavam as informações necessárias, com vários campos em branco e não conformidade das unidades de medida. Dos 26 formulários 10 não apresentavam nenhum tipo de coordenada geográfica. 3 não possuíam informação cargas e 3 apresentavam somente coordenadas da origem da água. 10 realizaram a troca conforme a Normam; 3 realizaram a troca a menos de 200 milhas, sendo 2 a mais de 500 m (dentro da Norma) e 1 não apresentava o campo profundidade preenchido (classificou-se fora da Norma). Logo, pode-se concluir, que dos 26 formulários analisados, 7 não estão em conformidade e 19 estão em conformidade.

Somente os 26 navios analisados, foram responsáveis por despejar 1.071.203,38m<sup>3</sup> de água de lastro. Se analisarmos o volume de água de lastro despejada durante um ano de todos os navios que atracam no porto, teremos um percentual elevado desta água, sendo que muitas vezes ela não é feita a troca oceânica a 200 milhas náuticas da costa conforme exigência da norma. Sendo justificável a importância do assunto pesquisado.

## 9.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de tudo que foi apresentado, pode-se perceber que o desafio no monitoramento da qualidade da água de lastro no Complexo Portuário do Itaquí ainda está distante dos padrões desejáveis, quando comparado com outros portos no mundo.

Entretanto, fazem-se necessárias uma maior preocupação dos comandantes em relação à necessidade da troca da água de lastro. Também é fundamental, adotar a prática do tratamento por meio de sua troca, para uma eficaz redução da bioinvasão de agentes nocivos e patogênicos. Enquanto, as embarcações que operam em águas brasileiras não disponham de sistemas a bordo, deve ser reforçado a necessidade da troca contínua da água de lastro como medida preventiva de bioinvasão.

No mais, apesar de toda dificuldade envolvendo o monitoramento da água como lastro, a pesquisa despertou o interesse da EMAP, para o tema abordado, propondo uma parceria para realização do monitoramento por meio de análises laboratoriais dos navios atracados no porto do Itaquí. Sendo assim, pode-se concluir que a pesquisa logrou resultados positivos, mostrando também o compromisso da administração portuária com a necessidade de manter um monitoramento da qualidade da água de lastro despejada no porto.

## 9.6 REFERÊNCIAS

A água de lastro e seus riscos ambientais. **Cartilha de conhecimentos básicos**. São Paulo: Água de Lastro Brasil, p. 10-11, 2009. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/agua\_lastro.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2016.

AMAZÔNIA INFORMA. **Mexilhão dourado: uma invasão que ameaça p Pantanal e a Amazônia**. Nov. 2014. Disponível em: <http://amazoniainforma.blogspot.com.br/2014/11/mexilhao-dourado-uma-invasao-que-ameaca.html?view=magazine>. Acesso em: 29 jun. 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n.º 217**, de 21. nov.2001. Disponível em:<http://www.anvisa.gov.br/paf/legislacao/resol.htm>. Acesso em: 10 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS – DPC. **NORMAM 8**. Trafego e permanência de embarcação em águas jurisdicionais brasileiras. Disponível em: <https://www.dpc.mar.mil.br/normam/N\_08/N\_08.htm>. Acesso em: 10 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS – DPC. **NORMAM-20/DPC**, de 14. jun. 2005. Norma da autoridade marítima para o gerenciamento da água de lastro de navios da diretoria de portos e costas. Disponível em: <https://www.dpc.mar.mil.br/normam/N\_20/Introducao.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei 24.548, de 03 de julho de 1934.** Dispõe sobre Regulamento do Serviço de Defesa Sanitária Animal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm)>. Acesso em: 15 fev. 2016

\_\_\_\_\_. **Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm)>. Acesso em: 20 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei 9.966, de 28 de abril de 2000.** Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9966.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9966.htm)>. Acesso em: 4 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm)>. Acesso em: 4 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei 9.537, de 11 de dezembro de 1997.** Dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9537.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9537.htm)>. Acesso em: 4 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. MARINHA DO BRASIL. **Convenção Internacional Sobre Controle e Gestão Da Água de Lastro e Sedimentos de Navios – BWM 2004.** Disponível em: <[https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/convencao\\_bwm.pdf](https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/convencao_bwm.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2015.

CARMO, Maria Chauviere. **Água de lastro.** Ministério da Defesa: Exército Brasileiro. Secretaria de Ciência e Tecnologia. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro: 2006.

CONQUILIOLOGISTAS DO BRASIL. *Isognomon bicolor*. 2001-2016. Disponível em: <<http://www.conchasbrasil.org.br/conquiliologia/descricao.asp?id=881>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO. **RESOLUTION A.868(20)**, of 27 November 1997. Guidelines for the control and management of ships' ballast water to minimize the transfer of harmful aquatic organisms and pathogens. Disponível em: <[http://globallast.imo.org/wp-content/uploads/2015/01/Resolution-A.868\\_20\\_english.pdf](http://globallast.imo.org/wp-content/uploads/2015/01/Resolution-A.868_20_english.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2015.

KESSELRING, Ana Beatriz. **A introdução de espécies marinhas exóticas em águas brasileiras pela descarga da água de lastro de navios.** Revista de Direito Ambiental. ano 12. vol. 45. São Paulo: RT, 2007. p. 11-34.

MARINE INVASIONS RESEARCH LAB. *Undaria pinnatifida*. Abr. 2010. Disponível em: <[http://www.serc.si.edu/labs/marine\\_invasions/MIRL\\_at\\_RTC/undaria.aspx](http://www.serc.si.edu/labs/marine_invasions/MIRL_at_RTC/undaria.aspx)>. Acesso em: 29 jun. 2016.

PEREIRA, J.P.F.N. 2013. Monitoramento de água de lastro na zona portuária de Santana/AP: suporte às políticas públicas de gerenciamento. Dissertação de Mestrado do PPG-DAPP/UNIFAP. 122 p.

PEREIRA, N. N.; BOTTER, R. C.; FOLENA, R. D.; PEREIRA, J.P.F.N.; CUNHA, A. C. (2014). Ballast water: a threat to the Amazon Basin. *Marine Pollution Bulletin.*, 2014 (in press).

PEREIRA N.N, BRINATI HL. Onshore ballast water treatment: A viable option for major ports. *Marine Pollution Bulletin.* 2012.

OLIVEIRA, OMP; *et al.* *Mnemiopsis leidy*. Disponível em: <[http://www.usp.br/cbm/ctenophora/en/ctenophoraen\\_files/Page511.htm](http://www.usp.br/cbm/ctenophora/en/ctenophoraen_files/Page511.htm)>. Acesso em: 29 jun. 2016.

PIMENTEL, D. *et al.* Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* v. 84, p. 1-20, 2001.

WIKIPÉDIA. **Siri Bidu**. Nov. 2014. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Siri\\_bidu](https://pt.wikipedia.org/wiki/Siri_bidu)>. Acesso em: 29 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. **Cólera**. Jun. 2016. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3lera>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. **Mexilhão-zebra**. Jun. 2015. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Mexilh%C3%A3o-zebra>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

# 10

## CAPÍTULO

# DESAFIOS PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE LASTRO

**NEWTON NARCISO PEREIRA**

## **10.1 INTRODUÇÃO**

Um dos principais desafios que ainda afligem as autoridades marítimas e portuárias refere-se ao resultado final da qualidade da água de lastro tratada pelos navios e ou despejada nos portos.

Com a entrada em vigor da BWMC, os navios terão um prazo de pelo menos 5 anos para instalar sistemas de tratamento de água de lastro a bordo. Embora, exista uma grande discussão ainda na literatura sobre a eficiência destes sistemas. Até o presente momento 5 sistemas foram homologados pela USCG. Isso deve-se ao fato da USCG ter seus próprios critérios de avaliação dos sistemas de tratamento, considerando os parâmetros da IMO como referência (Bastista *et al.*, 2017). Além disso, os estados americanos podem também desenvolver seus próprios critérios em termos da performance destes sistemas, como é o caso da Califórnia.

Diante de uma série de evidências do mercado, a maior parte dos fabricantes de sistemas de água de lastro ainda não conseguiram alcançar os padrões de zero micro-organismos na água (Cohen *et al.*, 2017; Cohen e Dobbs, 2015; Pereira *et al.*, 2016). Deste modo, a Califórnia modificou seus padrões de restrição aceitando os parâmetros IMO e a certificação USCG, adiando para 2030 a adoção dos parâmetros mostrado no Capítulo 5 (Batista *et al.*, 2017). Mesmo a adoção de

BWMS não existe a garantia de que a qualidade da água de lastro despejada nos portos estarão dentro dos padrões que minimizem os riscos de bioinvasão. Isso devido, a dinâmica da sobrevivência dos organismos dentro dos tanques de lastro, bem como, das condições reais de operação dos navios e a presença de sedimentos e organismos muitas vezes desconhecidos.

Por outro lado, como ainda existe um prazo para que os navios tenham estes BWMS instalado, os navios que encontram-se em operação em sua maioria ainda devem realizar a troca da água de lastro. Ou seja, os atuais métodos existentes para a verificação da real troca de água de lastro limitam-se à determinação da salinidade, por meio de um refratômetro (Pereira 2012). Em conjunto realiza-se a pesquisa em Diários de Bordo e Diários de Máquina para verificar a origem da água de lastro do navio. Os métodos citados além de consumirem um tempo razoavelmente longo, ainda estão sujeitos a informações nem sempre confiáveis (Pereira *et al.*, 2014, Cohen e Dobbs, 2015).

Para a verificação a bordo dos navios é necessário que os tanques sejam abertos e amostras sejam coletadas. Nós verificamos a bordo dos navios os problemas relacionados com a abertura dos tanques, em que demandam enorme esforço da tripulação, além dos pontos de inspeção e a necessidade de pessoal especializado para sua realização das coletas.

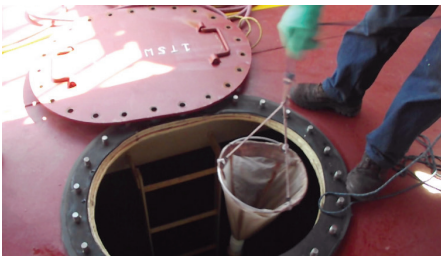
A)



B)



C)



D)



**Figura 55** Ações para coleta de amostra de água de lastro a bordo dos navios. A) Procedimento para aberto de tanques do convés. Durante esta operação foram gastos cerca de 15 minutos em função do estado das porcas de abertura do tanque. B) Coleta de amostra por meio do tubo de sondagem do tanque. C) coleta de amostra com a rede de fitoplâncton dentro do tanque. D) coleta de água de lastro do tanque de carga do navio

E)



F)



**Figura 56** Dificuldade de acesso e coleta da água de lastro. E) devido à dificuldade de acessar o tanque a água de lastro foi coletada pelo convés do navio durante o processo de deslastre do navio junto ao porto. F) acesso ao tanque de lastro pelo convés

O custo de mobilização de equipe para esse procedimento ainda não foi reportado na literatura, porém existem dificuldades reportadas para esta operação. Além disso, existe o problema dos sedimentos que também tem elevado o potencial de impacto e que não são detectados pelos instrumentos atuais (Prange e Pereira, 2013).



**Figura 57** Presença de sedimento no fundo do tanque de água de lastro

A questão do monitoramento da água de lastro é algo que tem sido estudado ao longo do tempo e sistemas foram desenvolvidos por empresas que buscam oferecer ao mercado uma solução. Uma destas soluções é Ballast-Check desenvolvido pela Turner Design, que consiste de um sistema que mede a fluorescência das algas na água de lastro.





**Figura 58** Exemplo de utilização do Ballast-Check. A) Coleta de amostra de água de lastro. B) inserção da amostra no aparelho. C) Resultado apresentando o grau de risco medido pela amostra analisada

Mesmo com este sistema não é possível realizar a análise de parâmetros físico químicos. Segundo o site do fabricante o mesmo atende os critérios D-2 da IMO, mas no que tange apenas a análise da presença de algas.

Uma das alternativas possíveis para minimizar o problema da verificação da qualidade da água de lastro despejada nos portos seria a possibilidade de um monitoramento remoto da água de lastro. Esta seria uma forma de monitorar as características físico química e biológica da água coletada pelos navios, trocada e tratada por meio dos BWMS's. Ao revisarmos as características dos BWMS disponíveis no mercado nenhum deles permitem o monitoramento remoto da qualidade final da água tratada. Isso seria uma obrigação das autoridades marítima, caso queira verificar a qualidade da água despeja por um determinado navio dotado de BWMS.

Neste quesito, surge uma questão muito importante que refere-se a forma de como mensurar a presença dos organismos após o tratamento da água de lastro? Como verificar se não houve alteração nas propriedades físico químicas da água após o tratamento?

Essas perguntas são difíceis de serem respondidas, por se considerarmos o padrão utilizado pela IMO para verificação das espécies presentes na água de lastro a medida é a presença de um numero de organismos por  $m^3$ . Ou seja, para validar se um determinado sistema está trabalhando de maneira efetiva, a verificação a ser realizada deve ser por meio da coleta de pelo menos  $1 m^3$  de água e realizar as análises. Neste sentido, pergunta-se: (1) como coletar  $1 m^3$  de água de lastro no porto de cada tanque e conduzir a contagem dos organismos conforme o padrão D-2 da IMO? Outras perguntas neste quesito: como reduzir o tempo de

inspeção da água de lastro para navios que trocam esta água no oceano? É possível monitorar esta água remotamente?

Atualmente, (1) estão sendo desenvolvidos sistemas para contagem de organismos presentes na água de lastro após o deslastre do navio utilizando fluxo citométrico, com objetivo de detectar partículas na água (BAKALAR, 2014). Um Outro sistema baseia-se na identificação de células vivas na água por meio de Trifosfato de adenosina (ATP), que consiste é um nucleotídeo responsável pelo armazenamento de energia em suas ligações químicas. Ou seja, a contagem destas ligações permite identificar a quantidade de organismos vivos na água de lastro (CURTO *et al.* (2017). Testes conduzidos pelos autores mostraram-se promissor para a contagem de organismos presentes na água de lastro após o tratamento da água de lastro.

No entanto, ainda existe uma questão (2) a ser respondida em relação aos navios que não dispõem de BWMS. Como vimos ao longo deste livro, muitos problemas foram reportados em relação a eficiência da troca da água de lastro e procedimentos de verificação que afligem não somente o Brasil e outros países.

Para isso, em conjunto com o Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo foi desenvolvido um sistema remoto de monitoramento da troca da água de lastro dos navios. Este sistema foi instalado no M/V Norsul Crateus que foi enviado para scrapping em 2016, mas permitiu que preciosos resultados fossem coletados durante o período de quase dois anos de investigação.

O sistema foi desenvolvido para monitorar os parâmetros físico químicos da água de lastro por meio de sensores como turbidez, salinidade, oxigênio dissolvido, pH e temperatura. Conforme reportado na literatura, uma dificuldade existente era identificar exatamente as coordenadas geográficas da captura da água de lastro. Deste modo, o conceito aplicado neste desenvolvimento consistiu de correlacionar os dados coletados pelos sensores com a posição geográfica do navio durante a viagem.

Esses dados eram arquivados em um controlador sendo inalterável e transferido remotamente via satélite para um servidor de internet numa conta de e-mail. Os dados recebidos eram capturados por um sistema que retirava os dados armazenados no servidor e os apresentam numa interface gráfica as medidas de cada sensor.

Deste modo, a seguir irei apresentar os principais desafios para o desenvolvimento e instalação deste sistema a bordo do navio.

## 10.2 PORQUE DESENVOLVER UM SISTEMA?

Quando pensamos no monitoramento da água de lastro em 2010, a primeira pesquisa que realizamos foi verificar se já existiam fornecedores de sistemas comerciais que permitissem realizar este monitoramento. Verificamos que existiam diversos fornecedores de sondas para monitoramento de parâmetros físico, químicos e até biológicos da água. Estas sondas chamadas de multiparâmetros são amplamente utilizadas nas áreas de oceanografia e monitoramento ambiental.

Nossa pesquisa mostrou que estes sistemas conseguiam realizar o monitoramento dos parâmetros de qualidade de água, mas de maneira estacionária. O primeiro desafio surgiu em função do fato do navio ser dinâmico e a coleta da água de lastro ocorrer durante a viagem do navio.

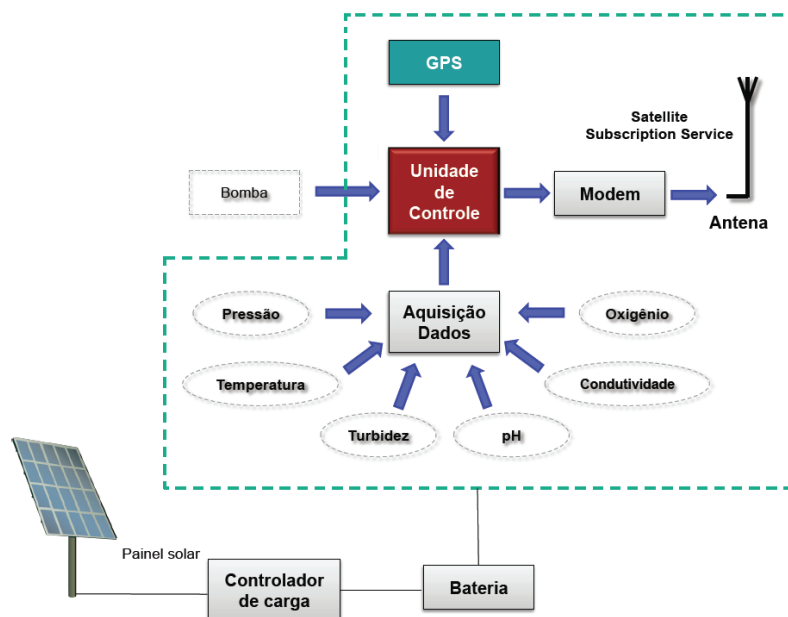
Quando consultamos a literatura verificamos que Raid *et al.*, (2007) realizaram um monitoramento da água de lastro navios utilizando sondas multiparâmetros convencionais, adaptadas para serem instaladas por meio de um suporte no tanque de lastro dos navios.

Contudo, havia um inconveniente que estes equipamentos não conseguiam transmitir as informações em tempo real, bem como, não correlacionavam os parâmetros medidos com a posição do navio. Deste modo, os autores precisam aguardar o navio atracar para realizar a coleta dos dados armazenados na memória da sonda.

Eles realizam cerca de 10 viagens monitorando dois navios com o mesmo método. Alguns problemas foram identificados em relação a vida útil dos sensores dentro dos tanques que precisavam ser substituídos a cada 3 meses, além dos problemas relativos a tripulação com manuseio dos equipamentos. Contudo, foi um estudo pioneiro em termos de monitorar a qualidade da água de lastro dentro dos tanques de navios mercantes.

Uma forma de mitigar problemas desta natureza é a utilização de um monitoramento remoto. Deste modo, devido as dificuldades de identificar um equipamento apropriado para ser instalado em tanques de lastro, foi que tivemos a ideia de construir um próprio sistema com esta finalidade.

O sistema de monitoramento da qualidade da água de lastro a bordo dos navios foi concebido com uma característica genérica. Isso significa dizer que a ideia principalmente do conceito deste sistema era permitir a coleta de dados do maior número de sensores possíveis, prevendo inclusive a utilização de sensores biológicos. O modelo conceitual do sistema está ilustrado na Figura 59.



**Figura 59** Concepção do sistema de monitoramento da água de lastro a bordo dos navios

O sistema foi composto pelos seguintes blocos funcionais: (1) Unidade de controle: realizava o condicionamento de sinais de comunicação e coordenava a coleta e a troca de dados entre os demais módulos; (2) GPS: responsável por fornecer a informação de posicionamento da embarcação através do Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System). Os dados eram fornecidos segundo o protocolo NMEA 0183; (3) Conversor analógico-digital: efetuava a conversão dos dados analógicos provenientes dos sensores para o formato digital. Estava configurado para receber sinais de até oito sensores, com sinal de saída do tipo corrente variando entre 4 e 20 mA. A tensão de alimentação dos sensores no valor de 12V era fornecida pelo sistema que inicialmente tinha sido previsto a utilização de sistema de painel solar para alimentar a bateria.

Os dados coletados eram transmitidos à unidade de controle através do protocolo RS-485; (4) Modem para comunicação via satélite: recebia os dados de posição e dos sensores processados pela unidade de controle e os transmitia via satélite utilizando a rede Orbcomm; (5) Sistema fotovoltaico: provia a alimentação 12V de todo o sistema através de um painel solar. Uma bateria foi empregada para assegurar ao sistema autonomia mínima de três dias. Para realizar a gestão de energia do sistema fotovoltaico empregava-se um controlador de carga.

O desenvolvimento do sistema de monitoramento consistiu de diversas fases. Diversos testes foram desenvolvidos em laboratório para avaliar a operação dos sistemas de aquisição de dados. Para garantir que o sistema fosse instalado a

bordo de um navio e garantisse a qualidade dos dados coletados e conservação dos sistemas desenvolvidos foi desenvolvido uma cobertura para os sistemas. O sistema foi encapsulado dentro de uma maleta metálica Figura 60.

G)



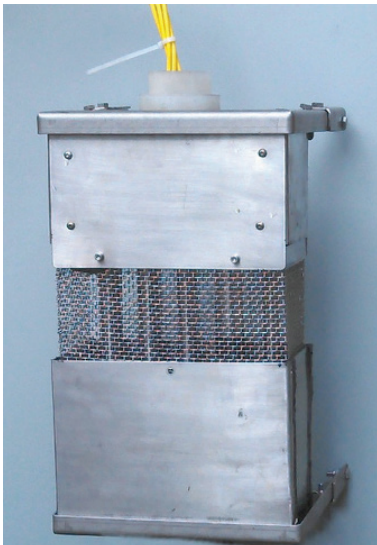
H)



**Figura 60** Sistema de monitoramento da água de lastro encapsulado

O cabo vermelho e preto eram os alimentadores de energia elétrica do sistema oriundas da placa de energia solar. Assim, essa energia carregava a bateria. O cabo branco pertencia ao GPS e o cabo preto da antena de recepção de dados. Cada cabo amarelo pertencia a um sensor acoplado ao sistema de monitoramento.

Os sensores foram posicionados estrategicamente dentro de uma gaiola. Ela foi desenvolvida para que pudessemos manter todos os sensores numa mesma posição e confinados dentro de um ambiente propício para o monitoramento dentro do tanque (Figura 61).



**Figura 61** Gaiola desenvolvida para suporte dos sensores e fixação dentro do tanque de lastro

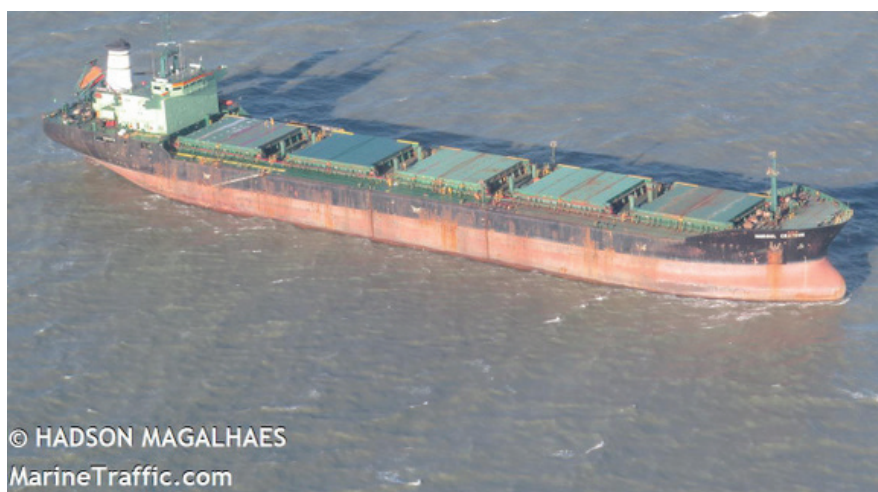
Uma vez que todos os componentes foram desenvolvidos e testados em laboratório, o desafio foi conseguir um navio para a instalação do sistema e testar em escala real.

Para testar o sistema fora do laboratório a equipe desenvolvimento realizou um teste que consistiu da realização de uma viagem com todo o sistema instalado dentro de um veículo na cidade de São Paulo.

Nesta ocasião foi possível verificar se estava ocorrendo a transmissão dos dados, bem como, a leitura dos sensores. Nós verificamos que o sistema funcionou plenamente durante este teste, o que nos deu maior incentivo para continuar a busca para instalação em um navio.

Fizemos contatos com diversas empresas de navegação no Brasil e no exterior e não obtivemos autorização para a instalação. Fizemos também uma apresentação deste sistema a Marinha do Brasil em 2013. Nesta ocasião tivemos uma rica discussão sobre sua utilização e esclarecimentos de dúvidas por parte da autoridade marítima brasileira.

Já em 2014, tivemos uma reunião com o diretor de engenharia da companhia de navegação Norsul, na qual nós somos muito agradecidos que nos cedeu a oportunidade de instalar este sistema a bordo de seu navio. O navio escolhido foi o M/V Norsul Crateus.



**Figura 62** Foto do navio M/V Norsul Crateus enquanto estava em operação

Primeiramente, fizemos uma visita ao navio durante uma atracação no porto de Santos, em que foi realizada uma vistoria e uma longa conversa com a tripulação que nos ajudou a escolher um tanque de lastro que sempre era utilizado durante as operações do navio. Verificamos todos os pontos para a instalação dos equipamentos de comunicação, sensores e as adaptações necessários para a instalação do sistema.

### 10.3 INSTALAÇÃO DO SISTEMA A BORDO DO NAVIO

Em 09 de abril de 2014 partimos de São Paulo para o porto de Santos para encontrar com o navio que estava atracado no Terminal da Usiminas fazendo a descarga de minério de ferro. Chegamos na parte da manhã com uma série de equipamentos e caixas. A primeira dificuldade foi passar pela segurança de acesso ao terminal que conferiu todos os componentes que estávamos levando para dentro do navio, devido o Código Internacional para Segurança de Navios e Instalações Portuárias – ISPS CODE.

Uma vez que conseguimos adentrar todos os equipamentos foram dispostos no navio e iniciamos o planejamento para instalação dos equipamentos. Foi escolhido o tanque de asa de bombordo, bem próximo a proa do navio.

A)



B)

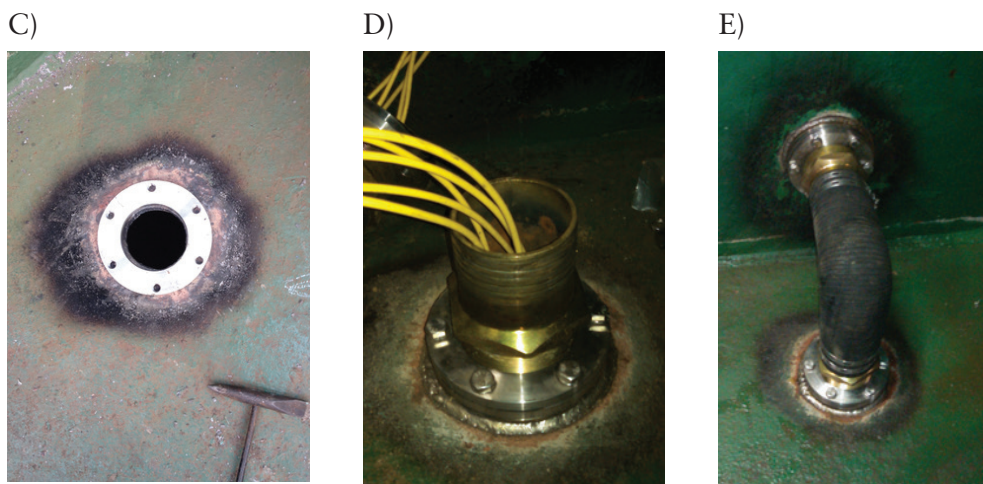


**Figura 63** Acesso ao navio. Tanque de lastro escolhido para a instalação do sistema. B) transporte dos equipamentos

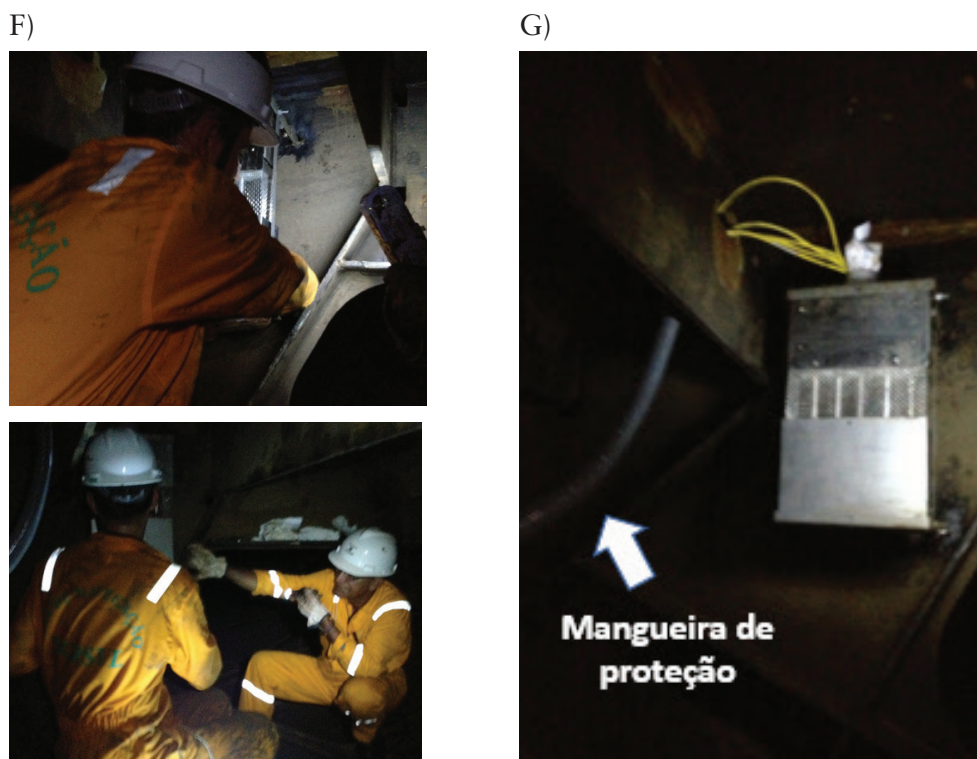
Toda a atividade de instalação dos equipamentos a bordo do navio contou com o forte apoio da tripulação, que foi essencial para que o objetivo fosse concluído. Deste modo, é importante frisar que para atividades desta natureza, o comprometimento da tripulação e empresa são essenciais. A tarefa de instalação foi dividida em duas etapas: (1) instalação dos sensores no tanque de lastro; (2) instalação dos equipamentos de comunicação e painel solar no mastro do navio, bem como, passagem dos cabos para instalação da central de controle dentro do paiol do mestre.

A etapa (1) contou com esforço da tripulação para abertura do casco do navio para a passagem dos cabos. Cada sensor instalado dentro da gaiola tinha um cabo que deveria ser ligado ao final da instalação junto a central de controle. Para isso, foi desenvolvido um sistema de flange com prensa cabos para garantir a estanqueidade do navio e a passagem dos cabos do tanque até a central de controle (Figura 64).

Ao mesmo tempo que foram realizados os furos e soldagens das flanges, outra equipe estava dentro do tanque de lastro instalando a gaiola com os sensores. Cabe frisar, que a instalação da gaiola dentro do tanque foi uma tarefa árdua e desgastante devido o espaço ser confinado.



**Figura 64** Adaptação necessária no convés superior do navio para a passagem dos cabos dos sensores. C) mostra a abertura realizada com um sistema de flange para permitir a fixação da flange com prensa cabos (D) e acoplamento com a parede do paiol do mestre com uma mangueira para proteção dos cabos dos sensores (E)



**Figura 65** Processo de instalação da gaiola dentro do tanque de lastro do navio (F). Os cabos dos sensores foram envolvidos por uma mangueira protetora para evitar a deterioração dos mesmos (G)



Uma vez que foi instalado a gaiola dentro do tanque e os cabos foram passados, fechou-se o sistema de flange acoplando-as com a mangueira e passando os cabos para dentro do paiol do mestre.

Ao mesmo tempo, todos os sistemas de comunicação e alimentação também foram instalados no mastro do navio. Inicialmente, foram instaladas a antena e o painel solar.

H)



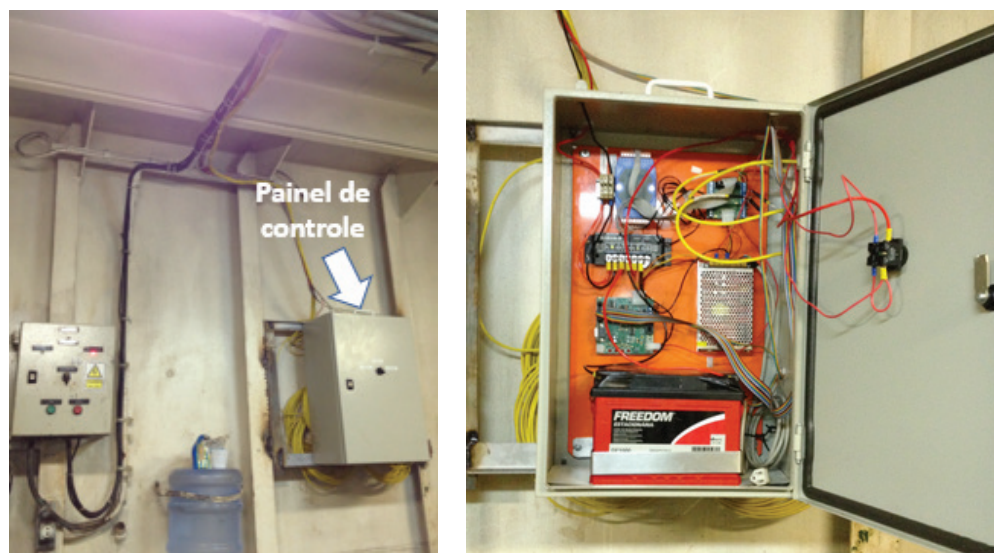
I)



**Figura 66** Instalação dos equipamentos no mastro do navio e passagem dos cabos para a parte interna do paiol do mestre

A instalação destes equipamentos em conjunto findou-se por volta das 22h00. Ao longo deste processo dificuldades naturais foram encontradas para encontrar a passagem dos cabos, ligações, entre outras, que são naturais desta atividade.

A próxima etapa foi a instalação do sistema de controle dentro do paiol do mestre. Todos os cabos que vinham dos tanques de água de lastro, bem como, os que desciam do mastro deveria chegar ao mesmo destino, o painel de controle. Para isso, a equipe teve a necessidade de procurar os conduites que levavam os cabos e até o local onde o painel de controle foi instalado. Uma vez vencida esta etapa o sistema todo foi ligado.



**Figura 67** Instalação do sistema de controle dentro do paiol do mestre

Já era por volta das 03:00 do dia 10 de abril quando a equipe retornou para a cidade de São Paulo e o sistema ficou instalado a bordo do navio.

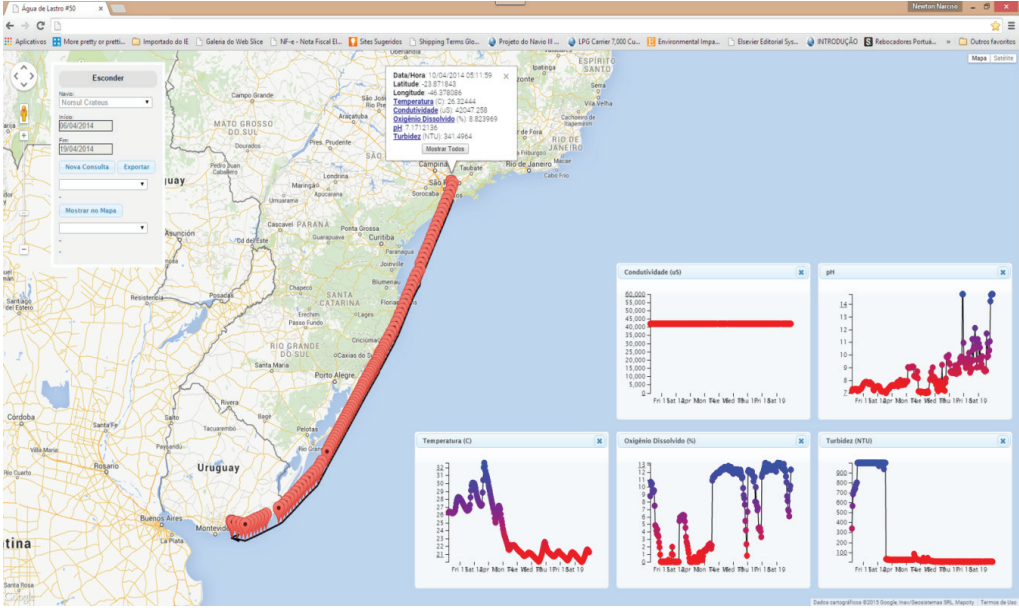
Durante a viagem de retorno foi possível verificar a primeira leitura dos sensores, pois devido a passagem do satélite a transmissão dos dados ocorria somente a cada uma hora. Deste modo, a equipe teve a certeza que o sistema estava funcionando.

Nos dias seguintes ficamos acompanhando os dados dos sensores em função da posição do navio. Quando o navio partiu e realizou sua viagem com destino ao um porto na Argentina foi possível acompanhar o passo a passo da viagem, correlacionando a posição geográfica do navio com os parâmetros da leitura do tanque de lastro.

Assim, durante a viagem do navio é possível verificar os parâmetros físicos químicos da água, por meio do website desenvolvido para o monitoramento das informações coletadas pelos sensores Figura 68.

Nós sabíamos que haviam algumas limitações naturais do sistema que ainda deveriam ser contornadas. A primeira era relativa ao sensor de condutividade utilizado para medir a salinidade da água. O range do sensor variava de 0 a 42000 uS, que era apto para medir até água salobra com 32 ppt. Como quando saímos do porto o navio lastrou o tanque sabíamos que água que estava dentro do tanque apresentava salinidade acima de 31 ppt, conforme mostrado pelo sensor. Para o experimento ele funcionaria como um indicativo de presença de

água oceânica que apresentava salinidade na faixa de 35 a 37 ppt, neste caso, mantendo-se sempre como uma linha reta. Os outros parâmetros relativos a temperatura, pH, oxigênio dissolvido e turbidez apresentaram-se coerentes num primeiro momento.



**Figura 68** Exemplo de captura de dados pelo sistema sendo apresentados diretamente no website para visualização dos parâmetros físicos químicos da água. As leituras apresentadas foram de dados coletados na primeira viagem do navio em que o sistema ainda estava em fase de aprimoramento

Mantivemos contatos com a tripulação do navio que nos informou o momento da troca da água de lastro e pudemos verificar isso principalmente pela mudança da turbidez da água. Após 8 dias de viagem verificamos que o sensor de pH começou a apresentar problemas de leitura e se deteriorou. Ao longo das viagens do navio continuamos o monitoramento dos parâmetros físicos químicos medidos. Verificamos que durante alguns períodos de tempo o sistema parava de transmitir dados.

Tínhamos ai uma dúvida em relação ao funcionamento do sistema. Durante uma atracação do navio ao porto de Santos a equipe visitou o navio para verificar o que estava acontecendo com o sistema de transmissão de dados. Notamos que o sistema de alimentação estava sendo afetado devido ao problema da poeira que se formou sobre o painel solar que afetava a alimentação da bateria e causava falha na alimentação do sistema.



**Figura 69** Painel solar afetada pela presença de poeira

Para mitigar o problema da alimentação foi feita uma ligação direta do sistema de alimentação com a fonte primária de energia elétrica do navio. Ainda durante está inspeção, nós retiramos o sensor de pH e fizemos uma limpeza nos outros sensores que estavam dentro da gaiola. Após a inspeção poucos dias posterior o sensor de temperatura também apresentou problemas de funcionamento.

Continuamos a monitorar o navio por mais de 13 viagens entre abril de 2014 a dezembro de 2015. Somente após a viagem numero 5 é que verificamos que o navio passou a trocar sua água de lastro dentro da região água doce na bacia do rio do Prata na Argentina e o sensor de salinidade passou a registrar a variação dos parâmetros. Durante este período o navio realizou diversas viagens entre Santos e Argentina e depois para os portos da região Nordeste, entre Terminal Marítimo de Ponta da Madeira e porto de Trombetas, realizando operação de lastro na foz do rio Amazonas. Todas as trocas foram percebidas pelo sistema instalado a bordo do navio e os dados medidos foram confrontados com os formulários de água de lastro enviados pela tripulação do navio. Durante as viagens foi possível notar o compromisso da tripulação e da empresa no cumprimento das normas nacionais para o lastro e deslastro do navio. Os resultados deste experimento foram publicados na revista internacional *Ocean & Coastal Management* em 2016.

Após estes experimentos realizados o navio enviado para desmantelamento e fez sua contribuição para o conhecimento da dinâmica dentro dos tanques de lastro de navios.

A principal vantagem do sistema desenvolvido foi a possibilidade do monitoramento da qualidade da água ao da viagem do navio.

## 10.4 DISCUSSÃO

O desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto da qualidade da água de lastro dos tanques buscou conferir maior confiabilidade nas informações fornecidas pelos navios. Considerando que as informações contidas nos formulários de água de lastro são geralmente fornecidas pela tripulação dos navios é necessário sempre que seja efetuada uma verificação da água contida no tanque para confirmar as informações. Ao longo deste livro foi possível verificar alguns exemplos de problemas neste processo.

Por outro lado, esse procedimento aumenta os custos da gestão da água de lastro para o Estado porto. Considerando que a BWMC já entrou em vigor e muitos navios ainda não estão dotados de BWMS, faz necessário ainda a verificação da qualidade da água de lastro dos navios.

É neste sentido, que o sistema desenvolvido mostrou-se como uma opção viável para auxiliar no monitoramento da qualidade da água de lastro despejada nos portos. Como as informações foram coletadas continuamente diretamente dos tanques de água de lastro correlacionado com sua posição geográfica, foi fácil identificar onde iniciou e terminou a troca da água de lastro.

Além disso, o monitoramento da qualidade da água de lastro poderia fornecer ao porto os parâmetros físico químicos da água coletada e despejada. Por exemplo, seria possível determinar qual a turbidez da água despejada em determinada região. Além disso, identificar se água despejada era oriunda de água salgada ou doce. Isso poderia auxiliar também o Estado porto a identificar se o tratamento da água de lastro a bordo do navio durante a viagem pode ter sido afetado em função da turbidez. Para sistemas que utilizam radiação ultravioleta a turbidez da água pode afetar severamente a eficiência do tratamento. Se água coletada é muita turva pode ser um indicador para verificação da qualidade final do tratamento.

Por outro lado, uma vez que o controle da troca da água de lastro em mar aberto deixa de ser manual e passa a ser eletrônico, é possível determinar se eventualmente ocorreu alguma violação do sistema. Como o ciclo de transmissão das informações pode ser contínuo ao longo da viagem do navio, esses parâmetros poderiam ser acoplados aos formulários de água de lastro, limitando assim a possibilidade de fraude das informações.

Contudo, não é incomum o registro de violações do cumprimento da troca da água de lastro. Cerca de 53.503 relatórios de água de lastro foram entregues à Guarda Costeira Americana no período de 2004 e 2005, os quais foram analisados para identificar os pontos de coleta e despejo de água de lastro no país (MILLER *et al.* 2007). A conclusão foi que cerca de 18.250 embarcações trocaram água de lastro dentro das 200 milhas náuticas próximas à costa dos Estados Unidos.

Leal Neto (2007) apresentou os principais problemas encontrados num levantamento realizado nos formulários entregue à Marinha do Brasil no período de 2001 a 2002 (maio) resultando em: “grande parte dos formulários foi preenchida incompleta e ou incorretamente; diferentes tipos de formulários, diferentes unidades utilizadas (algumas vezes falta de informação da unidade); falta de dados (data de chegada, nome e posto do oficial responsável); diferentes combinações de tanques na “coleta” e na “descarga” da água de lastro, cópias ilegíveis, escrita incompreensível, dados incoerentes entre as diferentes seções do formulário (número de tanques e/ ou tanques e/ou volumes) e confusão no campo “sea height (m)” entre a profundidade onde ocorreu a troca da água de lastro e altura da onda”.

Caron (2007) mostrou inconsistências durante a análise de 808 formulários de água de lastro entregues às autoridades marítimas do Porto de Itajaí no Sul do Brasil. Dos formulários analisados apenas 39 continham dados sobre deslastro, em que 11 não declaram ter feito a troca oceânica; 9 não possuíam a origem de lastro (coordenadas) e 1 não possuía nenhuma coordenada de origem e troca. Do total de formulários 270 (33,42%) apresentavam declaração de que haviam realizado a troca oceânica. Utilizou-se como procedimento de validação do local da troca uma análise das coordenadas geográficas contidas no relatório e concluiu-se que do total de 270 declarações de troca 45% das coordenadas indicavam locais junto à costa, próximo de ilhas, dentro de baías e enseadas, sendo que um dos casos o navio estava aproximadamente 450 km terra adentro.

Outro estudo realizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa (2003) apresenta os resultados de 99 amostragens de água de lastro de navios em 9 portos brasileiros. Foi verificado que 62% das embarcações cujos comandantes declararam ter efetuado a substituição da água de lastro em área oceânica. Contudo, a avaliação mostrou que muitos a fizeram de forma parcial, por possuírem água de lastro com salinidade inferior a 35ppm”.

Desde 2009, os Estados da Califórnia, Nova Iorque e Michigan estudam aumentar em 100 vezes a restrição à eficiência do tratamento em relação a IMO – D2. A previsão era que esta medida entrasse em vigor em 2013, passando para 2017 e finalmente para 2031, devido à falta de indicativo que os sistemas de tratamento atuais sejam capazes de atender estes critérios de zero detecção.

Mesmo com a BWMC em vigor, a busca por soluções de identificação de espécies em tanque de lastro deverá passar por alguma solução remota. Mais uma vez justifica-se a utilização de sistema de monitoramento da qualidade da água de lastro e a localização da troca/tratamento para aumentar a confiabilidade das operações de lastro dos navios. Esse procedimento de instrumentação dos tanques podem permitir que outros tipos de sensores sejam acoplados ao sistema e mais medidas sejam realizadas sobre a água de lastro a bordo dos tanques dos navios.

## 10.5 CONCLUSÃO

Nós pudemos verificar ao longo deste experimento que o protótipo instalado a bordo de um navio foi eficiente em termos de monitoramento da qualidade da água de lastro.

Os problemas decorrentes do monitoramento serviram de base para melhorar o conhecimento sobre a questão. Além disso, o fato de um sistema remoto ter sido instalado a bordo de um navio conferiu uma contribuição ao conhecimento da dinâmica dentro de um tanque de água de lastro em escala real.

Embora, o sistema tenha sido descontinuado em conjunto com o navio, a equipe de desenvolvimento patenteou o sistema intitulado “MONITORAMENTO DA TROCA E DA QUALIDADE DA ÁGUA DE LASTRO E MÉTODO PARA OBTENÇÃO DE DADOS RELACIONADOS À ÁGUA DO LASTRO”.

Sua aplicabilidade estende ao setor fluvial, além de ser o primeiro sistema desenvolvido no Brasil com essa característica de monitoramento da água de lastro de navios.

### 10.5.1 Agradecimentos

Agradecemos a equipe coordenada pelo prof. Dr. Marcelo N. P. Carreño, bem como, aos pesquisadores Prof. Dr. Marco Isaías Alayo Chávez, Fábio Colombo, Alexandre Lopes do Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela participação no projeto e no desenvolvimento das soluções necessárias para seu funcionamento.

Agradecemos ao Eng. Naval Geert Jan Prange que desenvolveu o primeiro conceito deste sistema. A companhia de navegação Norsul que permitiu que nós instalássemos este sistema a bordo do navio M/V Norsul Crateus, bem como, a sua tripulação que sempre forneceu o apoio necessário durante nossas visitas ao navio.

Ao CNPq que forneceu o subsídio necessário para o desenvolvimento desta pesquisa e a FINEP por meio do projeto ALOHA.

## 10.6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Água de lastro. Projetos GGPAF. 2002-2003. Brasil.

CARON JUNIOR, A. Avaliação do risco de introdução de espécies exóticas no porto de Itajaí e entorno por meio de água de lastro. 2007. Dissertação (mestrado) apresentada à Universidade do Vale do Itajaí em Ciências e Tecnologia Ambiental. 2007.

DOBROSKI, N., C. SCIANNI, and L. TAKATA. "2011 update: ballast water treatment systems for use in California waters." (2011).

LEAL NETO, A.C. Identificando similaridades: Uma aplicação para a avaliação de risco de água de lastro. Tese (Doutorado) apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro em Ciências em Planejamento Energético. 2007.

MILLER, A. W., *et al.* "Status and trends of ballast water management in the United States." *Third Biennial Report of the National Ballast Information Clearinghouse. (January 2004 to December 2005). Smithsonian Environmental Research Center. Report Submitted to the United States Coast Guard* (2007).

PEREIRA N.N, BRINATI HL. Onshore ballast water treatment: A viable option for major ports. *Marine Pollution Bulletin*. 2012.

PEREIRA N.N, PRANGE, G.J., Ship Ballast Tank Sediment Reduction Methods. *Naval Engineers Journal*. 2013.

BATISTA, William R., *et al.* "Which Ballast Water Management System Will You Put Aboard? Remnant Anxieties: A Mini-Review." *Environments* 4.3 (2017): 54.

BAKALAR, Goran. "Review of interdisciplinary devices for detecting the quality of ship ballast water." *SpringerPlus* 3.1 (2014): 468.

CURTO, A. Lo, *et al.* "Ballast water compliance monitoring: A new application for ATP." *Journal of Sea Research* (2017).

RAID *et al.* (2007) – Identifying, Verifying, and Establishing Options for Best Management Practices for NOBOB Vessels.





## CONCLUSÕES

A necessidade da utilização de água de lastro pelos navios ainda será um dos maiores desafios para o século 21 em termos de gestão e controle, em função dos problemas associados com a transferência de espécies exóticas e patógenos que podem ser transferidos pelos navios. Os navios até segunda ordem precisarão utilizar um elemento estabilizador e garantidor da imersão do hélice e leme. Além disso, o governo da embarcação precisa ser garantido sempre quando a embarcação opera em rotas que não tem carga de retorno.

Até o presente momento não existe outro elemento que possa cumprir essa missão com a eficiência e agilidade para lastrear e deslastrear um navio do que água. Diante desta constatação a questão de monitorar a qualidade da água de lastro que está sendo capturada pelo navio no porto de doador, bem como, a água que está sendo despejada no porto receptor, torna-se cada vez mais importante.

Principalmente para os países que ratificaram a BWMC como é o caso do Brasil, o controle torna-se cada vez mais necessário. Ao longo deste livro apresentamos muitos exemplos dos problemas oriundos do despejo de água de lastro nas regiões costeiras brasileiras. Os danos ambientais que já temos presenciados, mostram o poder das espécies invasoras em danificar e prejudicar o meio ambiente local, causando prejuízos sociais e econômicos.

Por isso, uma gestão eficiente torna-se necessária para que haja um envolvimento dos diversos atores envolvidos nesta gestão. Isso deve envolver a Marinha do Brasil, Anvisa, terminais portuários e órgãos ambientais que devem unidos promover e garantir um controle da qualidade da água de lastro lançada na costa brasileira.

É sábio que diante da extensão do litoral brasileiro, com 37 portos públicos e mais de 150 terminais privativos, torna a tarefa de controlar e monitorar a qualidade da água de lastro dos navios um trabalho árduo. Temos que destacar o trabalho desenvolvido pela Marinha do Brasil no controle da água de lastro dos navios, considerando a capacidade e recursos disponíveis para esta tarefa. Vistoriadores em várias partes do Brasil buscam cumprir com propriedade esta tarefa, porém o universo de embarcações que circulam nossos portos anualmente é extremamente grande.

Porém devemos considerar que os danos ambientais causados pelas espécies invasoras no curto prazo mostraram-se muito mais caro, para todos os países do mundo que foram vitimados. Quando consideramos que o custo para desenvolver um programa eficiente de controle tende a ser mais barato do que combater uma espécie invasora após sua instalação em um novo ambiente.

O que fará a diferença para o país será a implementação de regulações que sejam mais rígidas em termos da água de despejo, que envolva e garanta que os navios cumpram os procedimentos estabelecidos pelas normas brasileiras e que as informações fornecidas pelos navios sejam checadas.

Com a entrada da BWMC e a adoção de BWMS pelos navios tenderá a ser um fator importante para o controle da transferência de espécies exóticas. Porém ainda existem muitas dúvidas que precisam ser respondidas em termos da verificação e eficiência destes sistemas.

Neste contexto, é importante que os portos tenham também um envolvimento efetivo neste processo. No Brasil, já temos vistos algumas iniciativas de empresas que estão procurando por conta própria estudar e entender o impacto da água de lastro em seus próprios portos. Neste caso, temos de destacar o caso da VALE que por meio de editais como apoio da FAPEMA, tem dentro suas linhas de pesquisa água de lastro. Obviamente, que existe uma pressão da sociedade local, mas mostra-se um fator muito importante a preocupação da empresa em entender os impactos deste despejo em seus portos. A Agencia Nacional de Transporte Aquaviario – ANTAQ por meio do Indicador de Desempenho Ambiental (IDA) já considera dentre os parâmetros de análise de espécies aquáticas exóticas/invasoras no porto.

Exemplos desta natureza, são importantes, pois quanto mais pessoas forem treinadas e estiverem dedicadas para entender os impactos da água de lastro será melhor para o nosso país.

As universidades brasileiras podem ser uma grande parceria no controle e monitoramento da água de lastro. Existem muitos laboratórios com pesquisadores altamente qualificados que podem auxiliar no processo de análise da qualidade da água de lastro. Assim, as autoridades portuárias poderiam realizar parcerias com as instituições públicas para auxiliar neste processo.

Embora, alguns navios já disponham de BWMS a bordo, podemos considerar que apenas uma pequena parcela destes navios estão tratando a água de lastro durante suas operações. Este número deverá aumentar nos próximos anos, porém existe ainda um problema de confiabilidade destes sistemas e mesmo aprovação pela USCG. Isso tem inibido muitos armadores a fazerem investimentos na aquisição destes sistemas, devido à instabilidade na questão e problemas que alguns navios estão apresentados durante sua operação.

Por outro lado, nós sabemos que existe um mercado potencial que, atualmente, soma-se mais de \$ 100 bilhões de dólares com a instalação destes sistemas em navios. Obviamente, existe uma pressão econômica para que os navios tenham BWMS a bordo, que por um lado é importante para ajudar no controle de espalhamento de espécies exóticas. Porém, as incertezas ainda parecem grande e existem pressões também sobre a IMO para aumentar os prazos para instalação destes sistemas por parte dos navios. Assim, sendo, a necessidade pelo monitoramento e controle recai ainda sobre o Estado porto e seus órgãos de controle.

Estudos recentes mostraram que menos de 10% da frota de navios utilizam BWMS. Existem mais 70.000 navios mercantes no mundo que precisarão dispor de BWMS. Isso por si só justifica o fato de tantas empresas estarem investindo elevadas somas de dinheiro para tentar desenvolver sistemas que sejam instalados a bordo dos navios.

Por outro lado, diante das dificuldades que estão sendo postas em relação a instalação destes sistemas, bem como, o custo elevado, inúmeros estudos estão sendo conduzidos, principalmente na região da Califórnia para instalação de sistemas de tratamento de água de lastro em terra nos portos.

Embora criticada por muitos esta pode ser uma solução definitiva para o problema de transferência de água de lastro principalmente para navios que operam em rotas de cativas entre os portos doadores e receptores.

Além disso, pode ser alternativa também para navios que realizam viagens curta entre portos que não teriam tempo suficiente para tratar toda água de lastro dentro dos tanques dos navios entre as viagens. Obviamente, que existe a necessidade de investimentos nos navios para adaptação de sistemas para esta operação, bem como, nos portos, mas não é uma opção que foi descartada.

A empresa DAMEM INVASAVE desenvolveu um sistema de tratamento em terra por meio de barcas autopropelidas, para tratar água de lastro de

embarcações que não dispõem de sistemas a bordo. Este sistema está disponível nos portos de Rotterdam, Amsterdam, Brest, Dunkerque, Vlissingen, Den Helder, Stellendam e Harlingen.

Mais recentemente, as empresas Yara e KONGSBERG anunciaram que em 2018 entrará em operação o primeiro navio “M/V Yara Birkeland” totalmente autônomo com propulsão elétrica e sistema ballast free. Neste caso, o navio não utilizará nenhum sistema de tratamento de água de lastro, pois contará com aberturas na proa e na popa para permitir que água de lastro flua pelo interior do casco durante a viagem do navio sem a necessidade de troca ou tratamento.

Diante dos pontos apresentados podemos concluir que a gestão da água de lastro ainda abrirá oportunidades para muitos estudos e pesquisas e não é uma questão plenamente resolvida, devido a dinâmica e quantidade de variáveis envolvidas. Porém, é consenso que temos de procurar alternativas viáveis para inibir o espalhamento de espécies exóticas por meio da água de lastro.