

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

6 ÁGUA POTÁVEL
E SANEAMENTO



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

12 CONSUMO E
PRODUÇÃO
RESPONSÁVEIS



PROCESSAMENTO SUSTENTÁVEL DE PEIXE

RELATOS DE CASOS EM INDÚSTRIAS

Danielle de Bem Luiz

Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos

Editores Técnicos

Embrapa

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pesca e Aquicultura
Ministério da Agricultura e Pecuária*

PROCESSAMENTO SUSTENTÁVEL DE PEIXE

RELATOS DE CASOS EM INDÚSTRIAS

Danielle de Bem Luiz

Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos

Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2024

Embrapa Pesca e Aquicultura
Avenida NS 10, Loteamento Água Fria,
Palmas, TO, Caixa Postal nº 90,
CEP 77008-900, Palmas, TO
Fone: (63) 3229-7800
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Pesca e Aquicultura

Presidente
Roberto Manolio Valladão Flores

Secretário-executivo
Diego Neves de Sousa

Membros
*Alexandre Uhlmann, Clenio Araújo, Fabrício
Pereira Rezende, Hellen Christina de Almeida
Kato, Jefferson Christofoletti, Luciana Cristine
Vasques Vilela, Luiz Eduardo Lima de Freitas.*

Supervisão editorial
Hellen Kato

Revisão de texto
Lívia Martins Soares

Normalização bibliográfica
Andréa Liliâne Pereira da Silva

Projeto gráfico e diagramação
Jonatham Cleimes

Foto da capa
Jonatham Cleimes

1ª edição
Publicação digital (2024): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Pesca e Aquicultura

Processamento sustentável de peixe : relatos de casos em indústrias / editores
técnicos, Danielle de Bem Luiz, Viviane Rodrigues Verdolin do Santos, Editores
Técnicos. Brasília, DF: Embrapa, 2024.
PDF (239 p.) : il. color.

ISBN digital: 978-65-5467-002-9

1. Peixe. 2. Tecnologia de alimento. 3. Sustentabilidade. 4. Indústria. I. Embrapa
Pesca e Aquicultura.

CDD (21.ed.) 639

Andréa Liliâne Pereira da Silva (CRB-2/1166)

© Embrapa, 2024.

AUTORES

Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz

Engenheira química, doutora em Engenharia de Alimentos, docente da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

Ana Beatriz Monteiro Fonseca

Atuária, doutora em Engenharia Biomédica, docente da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ

Ana Iraidy Santa Brigida

Engenheira química, doutora em Tecnologia em Processos Químicos e Bioquímicos, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

André Luiz Medeiros de Souza

Médico-veterinário, doutor em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal, extensionista da Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro, Niterói, RJ

Andrea Elena Pizarro Muñoz

Economista, mestre em Economia Aplicada, pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Ângela Aparecida Lemos Furtado

Engenheira química, doutora em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, pesquisadora da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ

Danielle de Bem Luiz

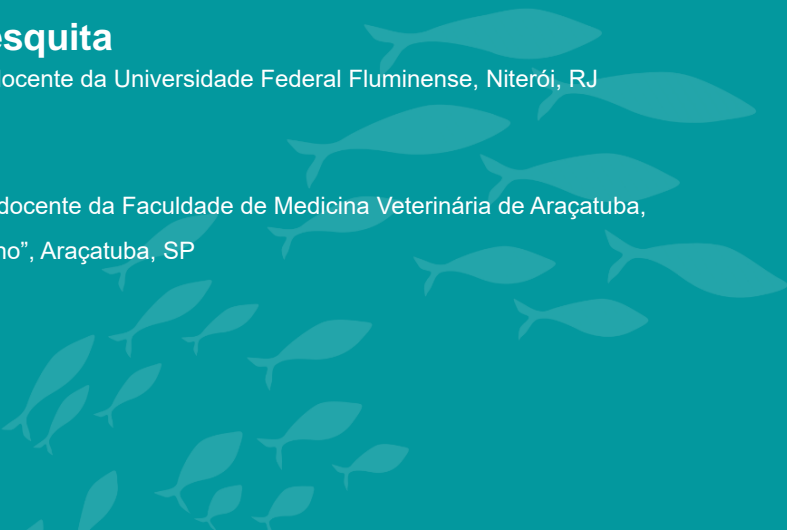
Engenheira de alimentos, doutora em Engenharia Química, analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Eliana de Fátima Marques de Mesquita

Médica-veterinária, doutora em Ciências Biológicas, docente da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ

Elisa Helena Giglio Ponsano

Farmacêutica-bioquímica, doutora em Biotecnologia, docente da Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araçatuba, SP



Flávia Aline Andrade Calixto

Médica-veterinária, doutora em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal, pesquisadora da Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro, Niterói, RJ

Jonas de Toledo Guimarães

Médico-veterinário, doutor em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal, pós-doutorando, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ

José Heluandir Fonseca Ambrósio

Engenheiro Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO

Karline Tikae Tani Murakami

Farmacêutica, doutora em Ciência Animal, Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araçatuba, SP

Leandro Kanamaru Franco de Lima

Médico-veterinário, doutor em Ciência Animal, pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Liliana Pena Naval

Bióloga, doutora em Engenharia Química, docente da Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO

Luana Morena Rodrigues Vitor Dias Ferracioli

Engenheira Ambiental, mestre em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO

Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues

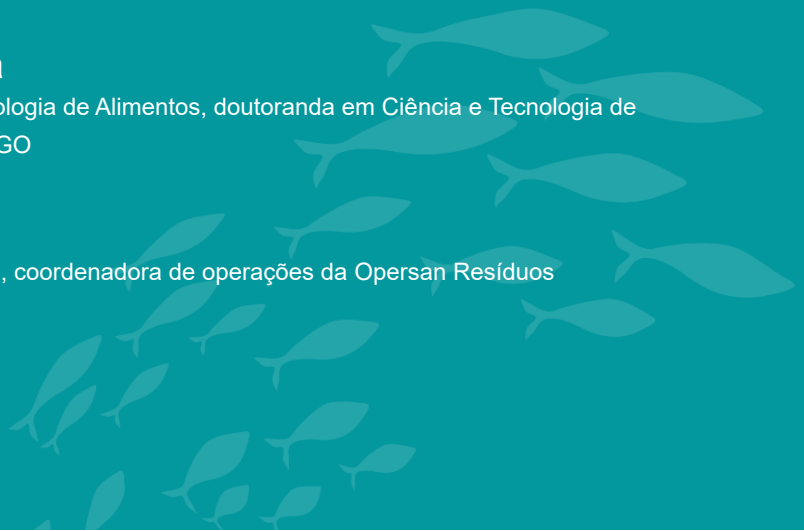
Engenheiro de alimentos, doutor em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

Maria Olivia dos Santos Oliveira

Engenheira de Alimentos, mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

Mirian Graciela Dalla Porta

Engenheira química, mestre em Engenharia Química, coordenadora de operações da Opersan Resíduos Indústrias, Blumenau, SC



Patrícia Costa Mochiaro Soares Chicrala

Médica-veterinária, mestre em Tecnologia de Alimentos e Higiene Veterinária, pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Regina de Fátima Peralta Muniz Moreira

Engenheira química, doutora em Química, docente da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

Ricardo Borghesi

Zootecnista, doutor em Ciência Animal e Pastagens, pesquisador da Secretaria de Inovação e Negócios da Embrapa, Brasília, DF

Robson Maia Franco

Médico-veterinário, doutor em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal, professor titular na Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ

Rosiana Rodrigues Alves

Agrônoma, doutora em Estatística e Experimentação Agropecuária, analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Simone Rodrigues Campelo

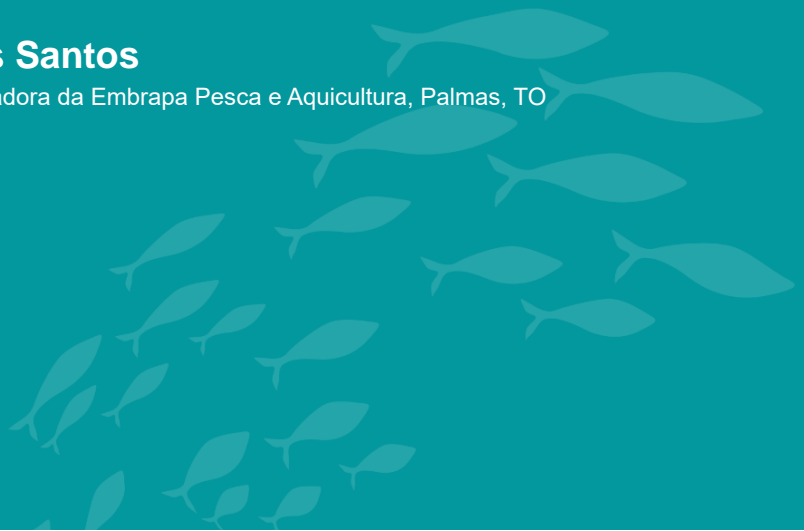
Biomédica, doutora em Neurociências e Biologia Celular, analista da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Vanilcia Clementino de Oliveira Marto

Bióloga, mestre em Ecologia de Ecótonos, analista ambiental da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolmeto Urbano, Porto Nacional, TO

Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos

Zootecnista, doutora em Ciências Animais, pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO



Apresentação

A água, de forma equivocada, frequentemente vem sendo considerada um bem infinito. Baseado nisso, ainda há situações de uso indiscriminado desse recurso natural e sem maiores preocupações com sua conservação. Nos últimos 10 anos, o Brasil vem sofrendo uma sequência de crises hídricas e, recentemente, enfrentou situações de escassez mais severas, especialmente nos grandes centros urbanos da região Sudeste, sendo necessária a prática de racionamento no fornecimento de água e adoção de políticas de taxaço extra de sobreuso. Essa realidade vem comprovar a necessidade na mudança de hábitos de uso doméstico e a aplicação de estratégias de produção mais limpa nas indústrias, com vistas ao uso racional e sustentável desse recurso natural.

As indústrias de alimentos, de modo geral, usam grandes quantidades de água em seus processos de produção, seja como insumo no preparo do alimento, no funcionamento de equipamentos, limpeza e/ou desinfecção de instalações e maquinários ou, ainda, como diluente e meio de condução de resíduos industriais. Como consumo, entendem-se os processos em que a água é incorporada ao produto final; enquanto uso, é o termo associado àqueles em que é considerada um dos insumos necessários ao processamento, podendo ou não ser incorporada ao produto final.

As indústrias processadoras de peixes têm como principais potenciais de impacto ambiental a geração de grandes quantidades de resíduos sólidos e o alto volume do uso de água, com consequente geração de efluentes líquidos em grandes quantidades e caracterizados por elevada carga orgânica. Os resíduos sólidos variam conforme o grau de processamento, ou seja, quanto mais elaborado for o produto final, maior será a geração de resíduos, tanto em quantidade quanto em variedade.

Nesse contexto, os princípios da sustentabilidade devem ser aplicados não apenas por algumas classes das comunidades, mas em todas elas. A sustentabilidade aponta para o uso efetivo dos recursos para atender à necessidade atual, garantindo sua disponibilidade para suprir às necessidades futuras. Considera-se como recursos não somente os naturais, como também os humanos e tecnológicos. As empresas precisam aplicar tais conceitos para garantir a própria sobrevivência no futuro por serem demandantes desses recursos, principalmente os naturais.

A sustentabilidade dentro de uma indústria abrange tanto as questões de interesse da comunidade e seus clientes quanto os aspectos econômicos. A aplicação de estratégias sustentáveis deve considerar o conceito de “produção mais limpa” (P+L), ou seja, priorizar ações preventivas para evitar a geração de danos ambientais, em detrimento de ações mitigadoras somente ao final do processo, quando os danos já foram gerados. As técnicas ao final do processo (chamadas de fim de tubo, *end of pipe*) não evitam a geração de contaminantes e demais resíduos, apenas promo-

vem o tratamento destes para evitar estragos maiores. As tecnologias de P+L devem abordar critérios técnicos, ambientais e econômicos: facilidade de implementação (aplicabilidade técnica), benefícios e impactos ambientais, além de viabilidade e impactos econômicos.

Este documento tem como objetivo principal orientar gestores e trabalhadores da indústria de processamento de peixes na identificação de oportunidades e aplicação de medidas práticas e estratégicas para o processamento sustentável de peixes. Desta forma, representa uma contribuição direta ao alcance das metas propostas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (6 e 12) – ODS 6 e ODS 12, mais precisamente em relação às metas 6.3, 6.4, 12.5 e 12.6, visto que apresenta soluções para reduzir volumes de resíduos, minimizar as cargas de contaminantes e o volume de efluentes, além de propor o reciclo e reúso seguro da água servida e geração de coprodutos a partir dos resíduos. A obra apresenta estudos de caso de empresas que adotaram parâmetros e práticas de responsabilidade socioambiental, servindo como incentivo a outras na busca por melhoria da eficiência no uso da água e da qualidade dos corpos hídricos, contribuindo para o aumento da eficiência socioambiental e econômica do setor.

O primeiro capítulo apresenta uma abordagem mais teórica com informações sobre as indústrias de processamento de peixes, legislação brasileira e internacional referente à atividade, impactos do processamento e alternativas sustentáveis de processos de produção, como o reúso de efluentes. Os demais capítulos apresentam dados de estudos de caso de ações de gerenciamento hídrico desenvolvidos em indústrias pilotos, as quais utilizam peixes nativos ou exóticos de importância comercial no Brasil como matéria-prima. Os dados desses estudos podem orientar outras indústrias no planejamento de suas ações, visando um processamento sustentável tanto em termos econômicos quanto ambientais.

Lícia Maria Lundstedt

Chefe-adjunta de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Pesca Aquicultura

Prefácio

A indústria de alimentos desempenha um papel fundamental na sociedade, fornecendo produtos essenciais para a nutrição das pessoas em todo o mundo. No entanto, essa indústria gera impactos relevantes ao meio ambiente, especialmente no que diz respeito ao consumo de água e à geração de resíduos sólidos no processamento de pescado. É, portanto, crucial que as unidades de beneficiamento de pescado adotem práticas sustentáveis, como o uso racional da água e o aproveitamento de resíduos sólidos, para minimizar esses impactos.

A água é um recurso limitado e precioso à vida, sendo, assim, fundamental a adoção de práticas para o uso racional. Unidades de beneficiamento requerem enormes quantidades de água para processamento, limpeza e resfriamento do pescado. Adotar tecnologias e processos que reduzam o consumo de água é essencial para preservar os recursos hídricos e garantir a disponibilidade desse recurso para as gerações futuras. Além disso, a economia de água geralmente se traduz em economia de custos operacionais para as empresas. Paralelamente, o aproveitamento de resíduos sólidos é uma prática que contribui para a sustentabilidade da empresa.

As unidades de beneficiamento de pescado geram quantidades significativas de resíduos, cujos teores elevados de proteína e lipídios geram interesse nutricional e industrial. A adoção de soluções inovadoras para transformação dos resíduos em coprodutos, representa alternativa ao descarte desse material em aterros sanitários, com possibilidade de geração de receitas maior ou igual às da produção de produtos nobres como filé de pescado. Dessa forma, é possível aumentar a competitividade da empresa e a implementação dos conceitos de economia circular.

Esse livro traz uma abordagem baseada em estudos de caso em distintas unidades de beneficiamento de salmão, dourado, tambaqui, pintado, tilápia, atum e sardinha. Os capítulos apresentam fundamentos para o gerenciamento do uso da água e dos resíduos sólidos. O capítulo inicial descreve os processos de uma unidade de beneficiamento de pescado. Os capítulos seguintes tratam do diagnóstico do uso de água, as medidas de uso racional e as possibilidades de segregação e reúso de efluentes. As possibilidades de redução de água variaram entre as espécies, chegando a 28 % em um dos estudos pilotos. Na sequência, são discutidos a diversidade de resíduos sólidos e sua caracterização quantitativa e qualitativa, dados fundamentais para direcionar a tomada de decisão em nível gerencial de quais coprodutos podem ser gerados e, assim, ampliar os catálogos de produtos e diversificar as receitas das empresas.

Essas são práticas fundamentais para a indústria de pescado caminhar em direção à sustentabilidade. Ao adotar essas medidas, as empresas trarão benefícios econômicos aos seus processos, e contribuirão para a preservação dos recursos naturais, redução dos impactos ambientais, melhoria da imagem junto aos consumidores e para a promoção de um futuro mais equilibrado para as próximas gerações.

Editores

Sumário

Capítulo 1

Processamento de peixes: aspectos gerais.....15

Capítulo 2

Influência do processamento e da manipulação no padrão microbiológico de filés: estudos de caso com salmão-do-atlântico (*Salmo salar*) e dourado-do-mar (*Coryphaena hippurus*).....73

Capítulo 3

Água de glaciamento em indústria de pescado: uma reflexão sobre o controle de qualidade.....89

Capítulo 4

Caracterização e minimização do uso de água em indústria de processamento de peixes: estudo de caso (grupo siluriformes e grupo redondos).....111

Capítulo 5

Caracterização de efluentes de indústria de processamento de peixes nativos: estudo de caso.....143

Capítulo 6

Gerenciamento hídrico e de resíduos em indústria de processamento de peixes: estudo de caso (atum e sardinha).....165

Capítulo 7

Caracterização dos efluentes como ferramenta na implementação de medidas de minimização, segregação, tratamento e reúso de efluentes: estudo de caso com processamento de tilápia, sardinha e atum.....189







Capítulo 1

Processamento de peixes

Aspectos Gerais

Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos

Danielle de Bem Luiz

Introdução

A crença de que a água é um bem infinito sobrelevou em nossa sociedade por muito tempo, o que ocasionou em usos indiscriminados, sem a consciência de sua conservação e preservação. A mudança no conceito de infinidade da água é um processo recente e em construção, pois até a década de 1990, segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), esse recurso representava um insumo pouco significativo, tanto quanto à disponibilidade como em termos econômicos. De acordo com esses autores, face a sua aparente abundância era nula, ou quase inexistente, a preocupação com a adoção de práticas para identificação de pontos setoriais de maior demanda de água e com a aplicação de estratégias voltadas à redução de seu uso e geração de efluentes.

Nas indústrias alimentícias em geral e, particularmente, nas de pescado, a água é a matéria-prima que garante a qualidade e segurança sanitária dos produtos. No Brasil, a falta de um marco legal em matéria sanitária pautado pela bioética caracteriza a existência de uma preocupação somente quanto à qualidade do produto, resultando no uso ineficiente da água (Pereira, 2010). Ressalta-se, ainda, a análise isolada de questões de saúde pública, gerando dúvidas sobre a manutenção da qualidade do produto a partir do uso racional de água (Chowdhury et al., 2010).

Neste capítulo, é apresentado o processamento de pescado, com enfoque em peixes, indicando a legislação pertinente, as etapas do processamento, os aspectos ambientais e as alternativas de processos mais sustentáveis, com viabilidade técnica e econômica, dentro de um contexto de produção mais limpa – *cleaner production*. A aplicação desses conceitos visa gerar benefícios ambientais e econômicos à indústria, ressaltando a importância da participação de todos os empregados, principalmente da gerência, no processo de tomada de decisões estratégicas.

Visão geral da indústria de alimentos no Brasil

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo (Inagaki, 2015). Dados da Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação (Abia) apontam que o setor de alimentos faturou no ano de 2014 a quantia de R\$ 529,6 bilhões, correspondendo a 10,2 % do Produto Interno Bruto (PIB) do país, gerando mais de 1,6 milhão de empregos formais.

Os alimentos processados, como açúcares, suco de laranja, carnes e derivados, e farelo de soja são os quatro principais produtos exportados, embora os semielaborados também tenham grande peso nas exportações do setor (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, 2012). Os alimentos brasileiros processados têm qualidade e padrão internacionais, até porque grandes empresas transnacionais do setor produzem no Brasil para atender a um dinâmico mercado interno.

Legislação brasileira

O controle higiênico-sanitário dos alimentos constitui fator primordial para a prevenção das doenças de origem alimentar (Santos, 2014). Assim, estabelecer normas e regulamentos tem papel fundamental para garantir a segurança e evitar problemas de saúde pública associados ao consumo de alimentos.

No Brasil, as diretrizes que abrangem as Boas Práticas de Fabricação (BPF), entre outros requisitos essenciais de higiene para a produção/fabricação de alimentos para o consumo humano, são obrigatórias para todas as indústrias de alimentos e pautadas nos seguintes documentos:

- Portaria MS nº 1.428, de 26 de novembro de 1993 (Brasil, 1993).

Aprova o “Regulamento Técnico para Inspeção Sanitária de Alimentos”, as ‘Diretrizes para o Estabelecimento de Boas Práticas de Produção e de Prestação de Serviços na Área de Alimentos’ e o ‘Regulamento Técnico para o Estabelecimento de Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ’s) para Serviços e Produtos na Área de Alimentos’.

- Portaria SVS/MS nº 326, de 30 de julho de 1997 (Brasil, 1997a).

Aprova o Regulamento Técnico ‘Condições Higiênicas-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos’.

- ANVISA Resolução – RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019 (Agência Nacional de Vigilância, 2019).

Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação.

- ANVISA Resolução – RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002 (Agência Nacional de Vigilância, 2002).

Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos.

- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017 (Brasil, 2017a).

Dispõe sobre o regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal, que disciplina a fiscalização e a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal, instituídas pela

Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e pela Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989.

Ressalta-se que é indispensável a consulta à legislação específica de cada produto alimentício, em que deverá estar discriminado o padrão sensorial, físicoquímico e microbiológico. Outras informações das instalações, especificações dos tipos de processamento e de equipamentos também deverão estar descritos. Por exemplo, as legislações específicas para abatedouros de carnes de suínos e aves são, respectivamente, Portaria nº 1995 (Brasil, 1995) e Portaria nº 210 (Brasil, 1998).

- Brasil (1995). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria nº. 711, de 1º de novembro de 1995. Normas técnicas de instalações e equipamentos para abate e industrialização de suínos, Brasil (1995).
- Brasil (1998). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria nº 210 de 10 de novembro de 1998. Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico-sanitária de Carne de Aves, Brasil (1998).

Legislação Brasileira referente ao consumo humano de água

A água em grande quantidade e de boa qualidade é primordial para as indústrias de alimentos, onde são consumidas grandes quantidades desse insumo devido aos diferentes processos envolvidos e aos padrões sanitários estabelecidos para os produtos e para os ambientes de produção (Massoud et al., 2010; Sánchez et al., 2011). As etapas de uso e consumo de água compreendem: limpeza e preparo da matéria-prima, limpeza e higienização dos equipamentos e da área de processamento, incorporação de água na produção de produtos (molhos, enlatados, embutidos etc.), transporte de materiais (produtos e subprodutos comestíveis ou não comestíveis), resfriamento, pasteurização, entre outros (Álvarez et al., 2010; Sánchez et al., 2011).

A Portaria SVS/MS nº 326, de 30 de julho de 1997, estabelece “os requisitos gerais (essenciais) de higiene e de boas práticas de fabricação para alimentos produzidos/fabricados para o consumo humano” para “toda pessoa física ou jurídica que possua pelo menos um estabelecimento, no qual sejam realizadas algumas das seguintes atividades: produção/industrialização, fracionamento, armazenamento e transportes de alimentos industrializados” e indica que “como princípio geral na manipulação de alimentos somente deve ser utilizada água potável” (Brasil, 1997a).

A qualidade da água para consumo humano e uso no preparo de alimentos, assim como o conceito de água potável e o seu padrão de potabilidade, são descritos na Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, que define os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Brasil, 2017b):

Água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem.

Água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido neste Anexo e que não ofereça riscos à saúde.

Padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017.

É necessário que haja um controle higiênico-sanitário da água utilizada na indústria de alimentos, pois, caso apresente contaminações, o risco de veicular microrganismos patogênicos e de contaminar os produtos processados é alto (Vasconcelos; Silva, 2012).

Indústrias de processamento de pescado

O novo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIIS-POA) apresenta duas classificações para os estabelecimentos de pescado que beneficiam e industrializam produtos à base de pescado (Brasil, 2017a):

§ 2º Para os fins deste Decreto, entende-se por abatedouro frigorífico de pescado o estabelecimento destinado ao abate de pescado, recepção, lavagem, manipulação, acondicionamento, rotulagem, armazenagem e expedição dos produtos oriundos do abate, podendo realizar recebimento, manipulação, industrialização, acondicionamento, rotulagem, armazenagem e expedição de produtos comestíveis e não comestíveis.

§ 3º Para os fins deste Decreto, entende-se por unidade de beneficiamento de pescado e produtos de pescado o estabelecimento destinado à recepção, à lavagem do pescado recebido da produção primária, à manipulação, ao acondicionamento, à rotulagem, à armazenagem e à expedição de pescado e de produtos de pescado, podendo realizar também sua industrialização e o recebimento, a manipulação, a industrialização, o acondicionamento, a rotulagem, a armazenagem e a expedição de produtos não comestíveis (Brasil, 2017a).

Neste livro, as duas classificações de estabelecimentos (abatedouro frigorífico de pescado e unidade de beneficiamento de pescado e produtos de pescado) serão nominadas indústrias de processamento de pescado.

A indústria de pescado tem crescido consideravelmente, tanto pelo aumento da demanda dos consumidores quanto pelas inovações tecnológicas pelas quais o mercado está passando, o que torna necessário melhorar os programas de inspeção de qualidade e de processamento (Argenta, 2012). A indústria de pescado utiliza grandes quantidades de água potável em razão da segurança e saúde de seus operários e dos consumidores de seus produtos. Entretanto, existem instrumentos que podem aumentar a eficiência da utilização da água por meio do gerenciamen-

to hídrico (Casani et al., 2006; Wan Alwi et al., 2008; Chowdhury et al., 2010; Alkaya; Demirer; 2016). Nessas indústrias, a água é utilizada nas etapas de limpeza, refrigeração, cozimento e higienização. Em contrapartida, os efluentes gerados caracterizam-se pela presença de contaminantes orgânicos dissolvidos, coloides e partículas (Chowdhury et al., 2010).

As metodologias de processamento variam de acordo com a matéria-prima (fresca ou congelada), a forma de processamento e agregação de valor ao produto e o tipo de produto final (defumados, enlatados, filés congelados, produto fresco ou congelado, entre outros) (Duangraseth et al., 2007).

O tipo de produto, tamanho da indústria, a escala de produção, a tecnologia empregada na linha dos produtos, entre outros fatores, é o que diferencia a indústria de processamento de peixes. No geral, um fluxograma básico da indústria (Figura 1) envolve etapas do processamento que passam pela recepção do peixe, lavagem inicial, evisceração, processamento e expedição dos produtos acabados.

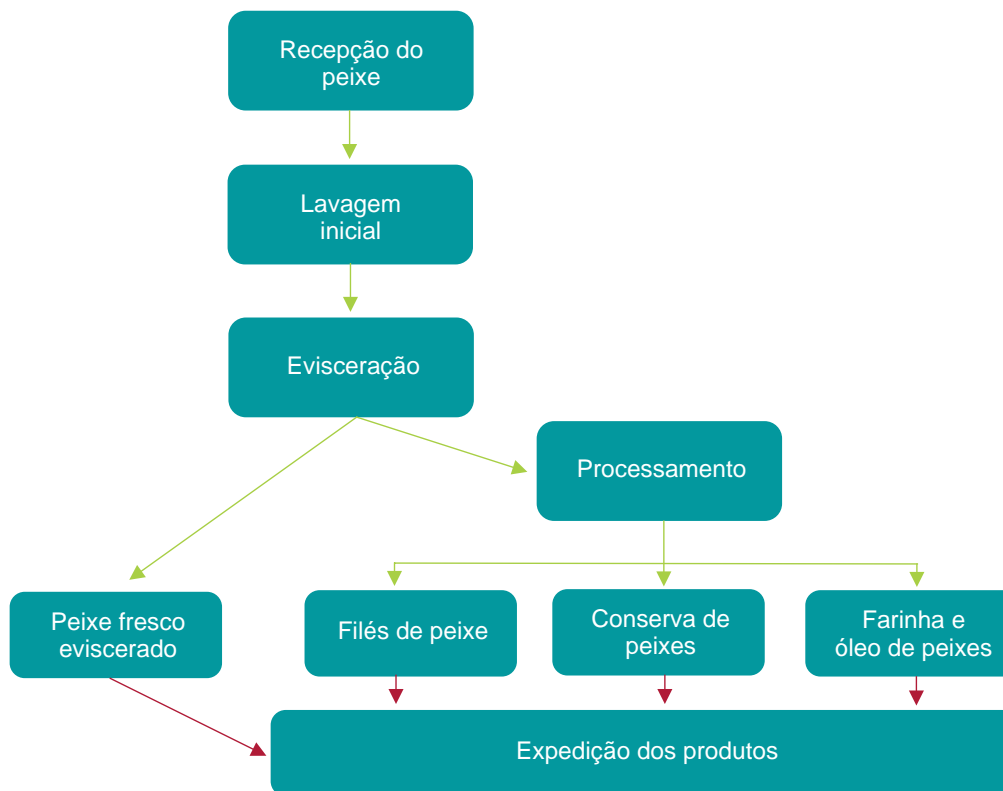


Figura 1. Fluxograma básico da indústria de processamento de peixes.

Caracterização das principais linhas de produtos e possibilidades de melhorias no processo de produção sustentável

A seguir serão apresentadas as etapas de processamento de acordo com as principais linhas de produção da indústria de pescado, com destaque para produção de filés de peixes e peixes em conserva, enlatados, os aspectos ambientais e as possibilidades de melhorias.

Linhas de produção de filés de peixe

Veja a seguir as seguintes etapas das linhas de produção de filés de peixes (Figura 2): a) descongelamento; b) degelo, lavagem e classificação; c) descamação; d) descabeçamento; e) filetagem; f) retirada da pele; g) porcionamento; h) embalagem, congelamento e armazenamento; i) coleta e transporte de vísceras.

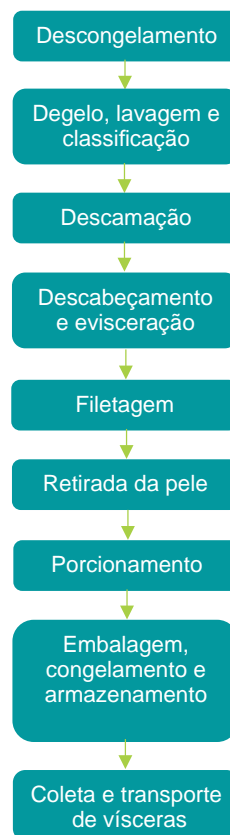


Figura 2. Fluxograma representativo das linhas de produção de filés de peixes.

Descongelamento

O peixe congelado como matéria-prima é uma opção para as indústrias de processamento de peixes frescos devido à sazonalidade de algumas espécies e logística. Dessa forma, é possível manter o nível de produção e abastecimento do mercado consumidor ao longo do ano.

A quantidade de água está relacionada à forma de descongelamento da matéria-prima, se em bateladas ou em esteiras, por exemplo. Durante o descongelamento, a água utilizada no processo é contaminada por fezes, muco, escamas ou mesmo sujidades aderidas ao peixe. O grau de contaminação dessa água depende da condição de limpeza do peixe, da realização, ou não, de jejum prévio ao abate e da espécie do animal (escama ou couro).

O descongelamento da matéria-prima pode ser feito de diversas formas, sendo a mais comum a imersão dos blocos congelados em tanques contendo água. Neste processo, são demandadas grandes quantidades desse recurso, podendo representar até 50 % do volume total de água necessária para a produção de filé de peixes. Outra forma de descongelamento é a imersão em água a 30-35 °C, isso promove uma redução no consumo de água de aproximadamente 40 % em relação ao processo tradicional. Por outro lado, deve-se considerar o maior consumo de energia para aquecimento da água.

Entretanto, o método que apresenta menor consumo de água é o descongelamento em ar úmido e aquecido, com redução de quase 100 % do uso de água, embora a demanda por energia seja maior, devido ao aquecimento do ar. Além disso, neste método ocorre uma menor perda de matéria-prima e a qualidade do peixe descongelado é melhor. A tomada de decisão acerca do método que será implantado na indústria deve levar em consideração não só os aspectos ambientais, mas a viabilidade econômica, calculando-se o tempo de retorno dos investimentos necessários. Na etapa do descongelamento feita pelo método de imersão em água, há que se considerar as entradas e saídas, conforme a Figura 3.

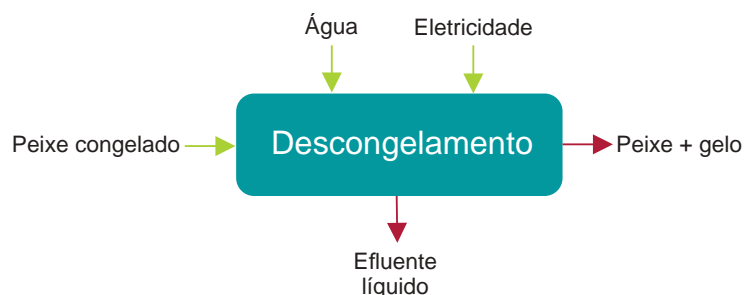


Figura 3. Entradas e saídas da etapa de descongelamento.

Degelo, lavagem e classificação

Nesta etapa, os recipientes, provenientes da etapa do descongelamento contendo peixes + gelo + água, são descarregados em tanques de degelo onde é feita uma adição de água e agitação para que haja uma separação dos peixes e do gelo remanescente. Os peixes decantam e o gelo flutua na superfície, permitindo sua retirada por meio da adição de mais água para provocar o derramamento e remoção do gelo flutuante. Em seguida, os peixes passam por grades classificadoras.

Nesta etapa, basicamente, o potencial impacto ambiental do processamento se restringe ao uso de água, ou seja, à demanda hídrica. A adição de água, até que haja derramamento de água com gelo, é necessária para separar o peixe do gelo remanescente no tanque de degelo e pode ser feita com controle manual ou automático, por meio de válvulas solenoides. O uso desse tipo de válvula pode reduzir o uso de água, evitando desperdícios. Além disso, outra possibilidade de melhoria de processo nessa etapa pode ser feita por meio da recuperação da água resfriada que transborda com gelo do tanque, reaproveitando-a em outras etapas, como a descamação, reduzindo o uso total de água gasta no processamento.

A água usada no degelo também tem a função de manter os peixes lubrificados no equipamento de classificação e a quantidade pode variar de acordo com a qualidade da matéria-prima: quanto melhor a qualidade, menor a necessidade de água a ser usada no equipamento. A regulagem das válvulas de entrada de água nesse equipamento pode reduzir a quantidade usada. Sempre que possível, deve-se dar preferência aos equipamentos de classificação que adicionem água por meio de válvulas de spray.

Na etapa do degelo, lavagem e classificação, há que se considerar as entradas e saídas, conforme a Figura 4.

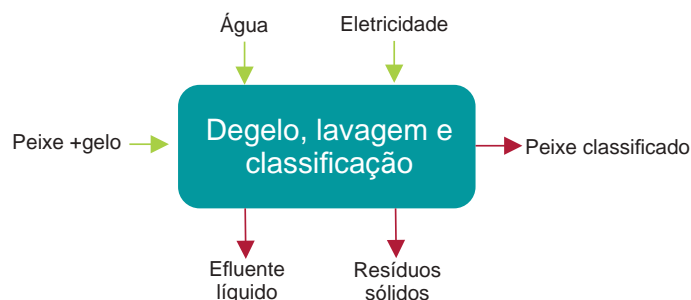


Figura 4. Entradas e saídas da etapa de degelo, lavagem e classificação.

Descamação

Esta etapa consiste em colocar os peixes com escamas dentro de um equipamento contendo um cilindro perfurado que, por meio de centrifugação com adição de jatos de água, extrai as escamas.

O impacto ambiental associado a esta etapa está relacionado ao uso de água e ao aporte de matéria orgânica que a descamação gera no efluente. Além disso, dependendo da severidade dos danos físicos causados ao peixe nesse processo, esta etapa pode influenciar nas perdas de matéria orgânica nas fases subsequentes.

As possibilidades de melhoria nesta etapa do processamento estão associadas à recirculação da água utilizada no aparelho, podendo, ainda, ser resfriada com o gelo recuperado na etapa de degelo, lavagem e classificação. Nesse caso, será necessária uma lavagem adicional da matéria-prima ao sair do equipamento para garantir que não haja escamas remanescentes no produto. Em caso de processamento de filés sem pele, esta etapa pode ser excluída da linha do processamento.

Na etapa da descamação, há que se considerar as entradas e saídas, conforme a Figura 5.

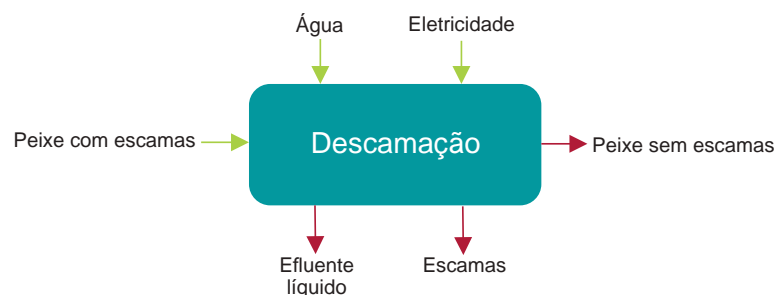


Figura 5. Entradas e saídas da etapa de descamação.

Descabeçamento e evisceração

Esta etapa pode ser feita manualmente ou em equipamentos específicos, como aqueles utilizados nas indústrias de conserva de peixes para descabeçamento e evisceração de sardinhas. No processo manual, as cabeças são cortadas com faca, as vísceras retiradas e, em seguida, esse resíduo sólido é depositado em recipientes coletores ou são direcionados às calhas coletoras, juntamente com a água residual. No processo automatizado, os peixes entram mecanicamente no equipamento por meio de esteiras que transportam os animais de um tanque onde ficam estocados imersos em água. Nesse processo, a água é utilizada para lubrificar os peixes; limpar as

facas de corte e garantir a saída dos resíduos dos equipamentos; limpar os peixes e como meio de condução dos dejetos.

Dentre as possibilidades de melhoria do processo, está o desenvolvimento e adoção de equipamentos nos quais a água não seja necessária para promover a remoção das cabeças cortadas de cima da superfície do equipamento. Outra possibilidade é a substituição de fluxos contínuos de água por fluxos intermitentes, por meio de jatos acionados manualmente para retirar as partes cortadas de cima do equipamento ou, até mesmo, a remoção com escovas, reduzindo o uso de água. O uso de maquinário de evisceração a vácuo também é uma possibilidade, especialmente nas plantas industriais em que o processo de filetagem ocorre sem que haja o descabeçamento dos peixes.

Na etapa do descabeçamento, há que se considerar as entradas e saídas, conforme a Figura 6.

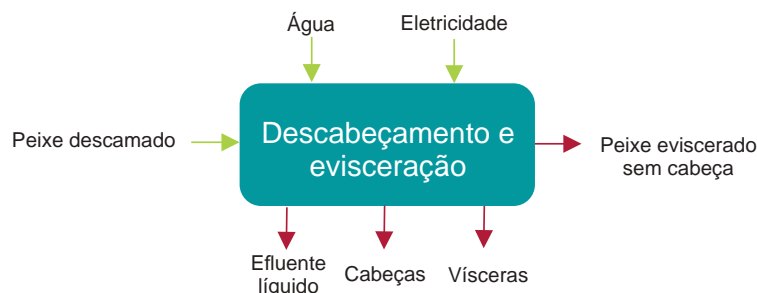


Figura 6. Entradas e saídas da etapa de descabeçamento e evisceração.

Filetagem

O processo de filetagem pode ser manual ou automatizado e de diferentes formas, considerando a filetagem em peixe inteiro, descamado ou eviscerado sem escama. Usualmente, é feito em peixe eviscerado e previamente limpo, envolvendo, basicamente, a retirada dos filés.

Nesta etapa, a água é muito utilizada para lavar o peixe, limpar as superfícies, remover os resíduos, limpar as facas e o equipamento de filetagem. Consequentemente, há uma grande geração de efluente e de resíduos sólidos, ricos em nutrientes atribuídos às carcaças, aparas e ao sangue.

As possibilidades de melhoria do processamento envolvem a minimização do uso de água e a destinação dos resíduos sólidos para a produção de coprodutos. Desta forma, é possível reduzir a geração de efluente líquido e melhorar suas características pela redução da carga orgânica a ele associada.

Na etapa da filetagem, há que se considerar as entradas e saídas, conforme a Figura 7.

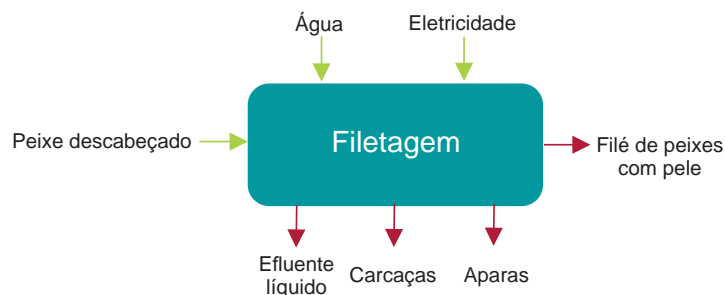


Figura 7. Entradas e saídas da etapa de filetagem.

Retirada da pele

Esta etapa pode ser feita de forma manual ou automatizada com uso de maquinário próprio. No sistema manual, as peles são retiradas com auxílio de facas por operadores treinados. A água é utilizada para limpeza das facas, superfícies e do piso, bem como para retirada de material que por ventura venha cair no chão. A qualidade da matéria-prima é diretamente relacionada com a carga orgânica depositada no efluente nesta etapa: quanto pior a qualidade da matéria-prima, maior a quantidade de gordura e aparas de peixes que será perdida junto com a retirada das peles.

As possibilidades de redução dos impactos associados passam por capacitação dos operários para reduzir a quantidade de resíduos gerados; destinação das peles para geração de coprodutos, como a produção de couro de peixe; manutenção e regulagem constante do maquinário e pressão das torneiras; e uso de jatos intermitentes de água, ao invés de jatos contínuos. Outra possibilidade é o uso de maquinário a vácuo para realizar a retirada das peles, o que gera economia do uso de água, embora aumente o uso de energia.

Na etapa da retirada da pele, há que se considerar entradas e saídas, conforme a Figura 8.

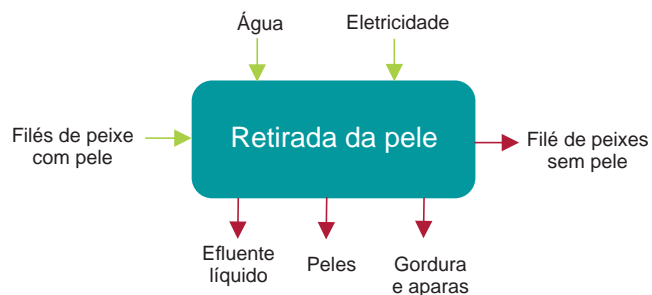


Figura 8. Entradas e saídas da etapa de retirada da pele.

Toailete e porcionamento dos filés

Nesta etapa, os filés passam por uma toailete: faz-se o corte no formato adequado, as espinhas remanescentes são retiradas e, por fim, são porcionados para serem embalados posteriormente.

Os possíveis impactos associados a esta etapa são atribuídos ao uso de água para limpeza dos filés, equipamentos e das superfícies, bem como às possíveis perdas de matéria-prima que, eventualmente, caiam no piso e sejam conduzidas às calhas, contribuindo para o aporte de carga orgânica no efluente gerado. Uma das possibilidades de redução do uso de água é a instalação de duchas de pressão com acionamento manual (tipo pistola), em invés de torneiras de fluxo contínuo de água. A coleta e destinação dos resíduos sólidos para a produção de coprodutos também representa um avanço em prol da sustentabilidade ambiental e econômica na linha de produção de filés de peixes.

Nesta etapa, devem-se considerar as entradas e saídas, conforme a Figura 9.

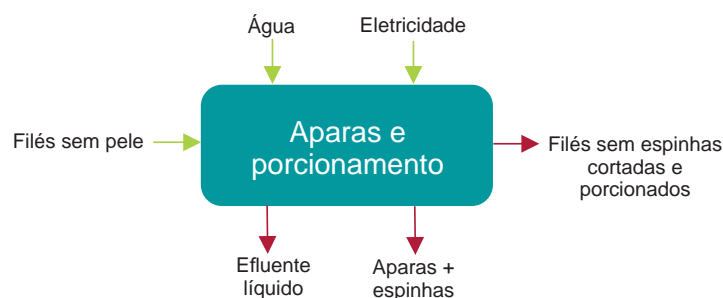


Figura 9. Entradas e saídas da etapa de aparas e porcionamento.

Embalagem, refrigeração e estocagem

Nesta etapa, os filés processados são embalados, refrigerados e estocados até o momento de sua expedição para o mercado. O principal fator de potencial de impacto ambiental está relacionado ao consumo de energia para a manutenção dos sistemas de refrigeração. Ademais, alguns gases voláteis podem escapar e contribuir para a redução da camada de ozônio.

As possibilidades de melhoria nesta etapa do processamento estão relacionadas à instalação de equipamentos mais eficientes quanto ao uso de energia e que apresentem menor risco de escape de gases ao meio ambiente, como os livres de CFC (clorofluorocarboneto). Além disso, o planejamento das vendas pode representar ganhos de sustentabilidade, reduzindo o tempo de estocagem e, conseqüentemente, os gastos com energia. A manutenção dos equipamentos e do sistema de refrigeração, em geral, pode contribuir significativamente para evitar perdas de frio no sistema e reduzir o consumo de energia.

Na etapa de embalagem, refrigeração e estocagem, há que se considerar as entradas e saídas de matérias-primas e insumos, conforme a Figura 10.

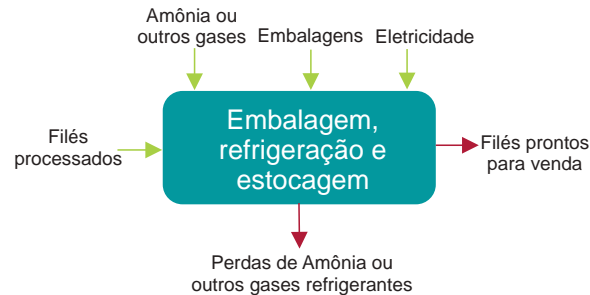


Figura 10. Entradas e saídas da etapa de embalagem, refrigeração e estocagem.

Coleta e transporte de resíduos sólidos

A coleta e transporte de resíduos sólidos, especialmente aqueles das etapas de descabeçamento/evisceração e filetagem, normalmente é feita em canaletas junto com a coleta de água residual proveniente das etapas de processamento. O impacto potencial associado a essa operação está relacionado ao aumento do volume de efluente gerado, devido à necessidade de adição de mais água para a condução desses resíduos nas canaletas de coleta, bem como ao aumento da carga de matéria orgânica no efluente.

O reúso de água e a instalação de equipamentos próprios podem ser alternativas de melhoria para essa operação, a exemplo de:

- Instalação de esteiras rolantes filtrantes nas áreas de trabalho onde sejam gerados resíduos sólidos; ou outro sistema de filtração e coleta do material, evitando seu acesso às canaletas de coleta de efluente.
- Uso de rosca sem fim para transporte “a seco” de resíduos.
- Instalação de máquinas de evisceração a vácuo.
- Reúso de água de processos como degelo, descamação e filetagem para transporte de sólidos até o local de coleta de resíduos, onde será filtrado.

O uso de esteiras ou outro tipo de coletor filtrante, além de promover a condução do material com pequenas quantidades de água, impede que partículas acima de 1 mm sejam transportadas para as canaletas de água residual das etapas de processamento, melhorando as características físico-químicas do efluente líquido.

Linhas de produção de enlatados

As linhas de produção de enlatados de peixes (Figura 11) envolvem processos diferentes dos existentes nas linhas de produção de filés e são constituídas, basicamente, pelas seguintes etapas: a) recepção e estocagem da matéria-prima; b) degelo, lavagem e classificação da matéria-prima; c) descabeçamento, evisceração, corte e retirada da pele; d) enlatamento e pré-cozimento; e) drenagem e salga; f) limpeza e autoclavagem das latas; g) resfriamento e estocagem.

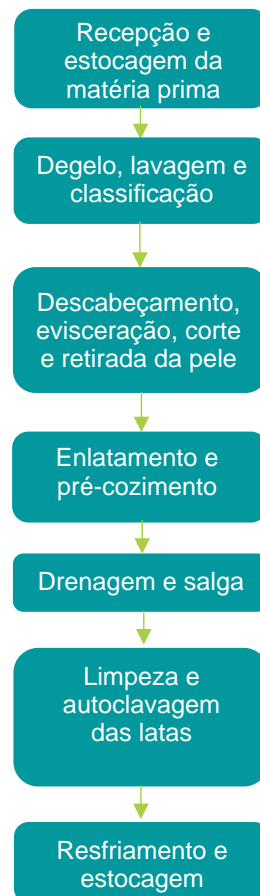


Figura 11. Fluxograma básico da linha de produção de enlatados.

Recepção da matéria-prima

Os peixes capturados (a exemplo da sardinha e atum) são mantidos em tanques de espera com água e gelo dentro das embarcações. Geralmente são descarregados por gravidade, em que a água e os peixes são depositados em recipientes nos quais a água é drenada. Em seguida, é feita a pesagem dos peixes que serão conduzidos para tanques de espera dentro da planta de processamento, onde podem ser destinados à linha de processamento ou estocados em câmaras frias para o processamento posterior.

A quantidade de água utilizada nos sistemas de descarregamento e condução de peixes para dentro das plantas de processamento, bem como a carga orgânica dessa água, são os principais impactos associados. A baixa qualidade do peixe é determinante para o aumento da carga orgânica do efluente (sangue, óleo, muco e outros resíduos). O resfriamento da água dentro dos tanques de espera contribui para a conservação da qualidade da matéria-prima, evitando perdas e, conseqüentemente, melhora as características físico-químicas da água residual. O uso de equipamentos a vácuo para o descarregamento e transporte desses peixes, da embarcação à planta de processamento, pode reduzir a quantidade de água necessária para a operação.

Na etapa de recepção da matéria-prima, há que se considerar as entradas e saídas de insumos, conforme a Figura 12.

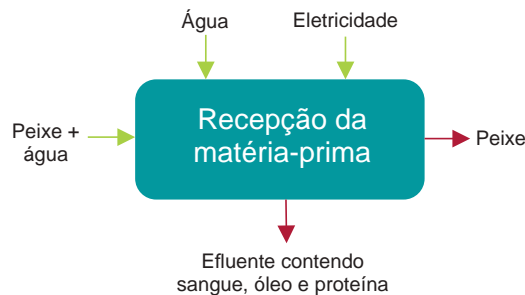


Figura 12. Entradas e saídas da operação de recepção da matéria-prima.

Degelo, lavagem e classificação

A etapa do gelo e lavagem é semelhante à que ocorre na linha de produção de filés de peixes.

Enlatamento dos peixes

Esta etapa pode acontecer de diferentes maneiras, pois depende da espécie a ser enlatada e da origem da matéria-prima (peixe fresco, resfriado ou congelado). A espécie irá determinar se o peixe terá um cozimento prévio ou não. Os peixes pequenos, em geral, são limpos, cortados e alojados nas latas antes de passar por algum tipo de cozimento; enquanto os peixes grandes, como o atum, são cozidos primeiro para depois serem porcionados e alocados nas latas.

O enlatamento de peixe congelado dependerá das etapas de pré-degelo e de classificação. No caso de peixes frescos, haverá a seguinte sequência de processos: classificação, evisceração, descabeçamento, corte e porcionamento e, por fim, o enchimento das latas, conforme a Figura 11.

Nesta etapa, o potencial impacto ambiental está relacionado às quantidades necessárias de água para o degelo, lavagem e classificação dos peixes, bem como para a limpeza do animal durante e após a evisceração, descabeçamento e eventual retirada de pele, dependendo do tipo de produto final.

A possibilidade de redução dos impactos associados está diretamente relacionada à redução da quantidade de água usada no processo; recuperação e destinação dos resíduos sólidos para a produção de coprodutos; uso de equipamentos com menor demanda de água; capacitação das equipes de trabalhadores e à manutenção; e regulagens periódicas de maquinários e equipamentos.

Na etapa de enlatamento dos peixes, há que se considerar as entradas e saídas, conforme a Figura 13.

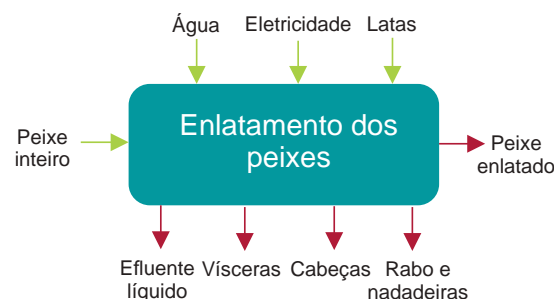


Figura 13. Entradas e saídas da etapa de enlatamento dos peixes.

Pré-cozimento e drenagem das latas

Como já mencionado, a etapa de pré-cozimento do peixe pode ocorrer antes ou depois do enchimento das latas, a depender das características da matéria-prima. Normalmente, os peixes pequenos são submetidos ao pré-cozimento após sua acomodação nas latas, enquanto os peixes grandes passam pelo processo de cozimento antes do enlatamento para evitar formação de molhos escurecidos.

Geralmente, o cozimento é feito no vapor e em equipamentos apropriados. Em seguida, é feita a drenagem das latas para eliminar qualquer resíduo líquido gerado a partir da cocção. No caso de peixes pré-cozidos e depois alocados nas latas, a cocção é feita em recipientes, comumente denominados de bins, e a separação das partes comestíveis das descartáveis é feita após o cozimento. O peixe, em seguida, é cortado e posto em latas.

Nesta etapa, a água é usada para produção de vapor nos fornos de cozimento e o efluente gerado é rico em matéria orgânica, devido à liberação de proteínas e óleos durante o processo. Outro fator de impacto associado é a grande demanda de energia para a geração de calor e produção de vapor nos fornos.

As manutenções constantes dos equipamentos, com objetivo de garantir sua eficiência e evitar perdas de calor, possibilitam redução dos impactos associados. Nesta etapa, o uso de fornos tipo micro-ondas é uma das tecnologias que pode diminuir consideravelmente o uso de água, por não demandar produção de vapor para aquecimento do forno e, conseqüentemente, reduz a geração de efluente. No mais, a separação por centrifugação da água e gordura presentes no efluente pode contribuir para a redução da carga de matéria orgânica presente neste meio, para geração de coprodutos ricos em óleo e para o reaproveitamento da água, de acordo com as regulamentações legais.

Na etapa de pré-cozimento dos peixes e drenagem das latas, há que se considerar as entradas e saídas, conforme as Figuras 14 e 15.

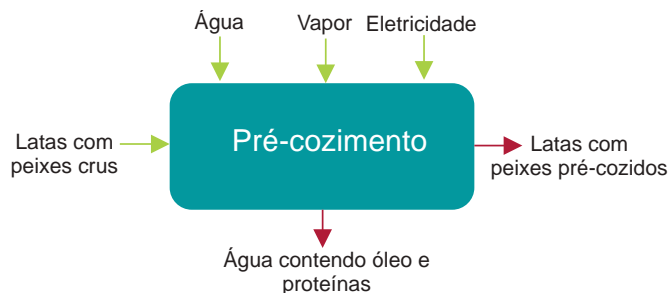


Figura 14. Entradas e saídas da etapa de pré-cozimento.

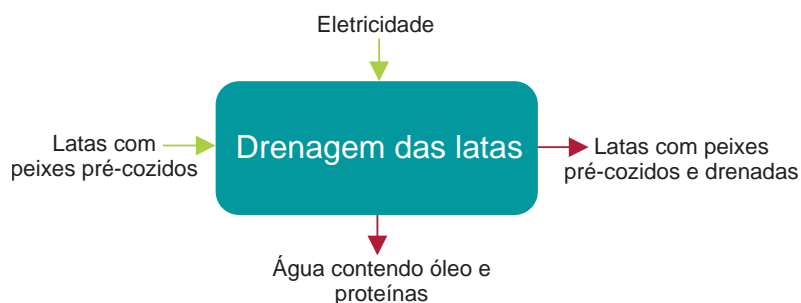


Figura 15. Entradas e saídas da etapa de drenagem das latas.

Adição de molho ou salmoura e lavagem das latas

Esta etapa ocorre na sequência da drenagem das latas contendo o peixe pré-cozido. Aqui, a água é tanto consumida (sendo incorporada ao produto final, por meio dos molhos ou pela salmoura), como utilizada para promover a lavagem das latas após sua selagem.

A quantidade de água consumida e utilizada nesse processo dependerá do tipo de molho, do tamanho da lata e do grau de sujidade aderida ao recipiente após sua selagem que, por sua vez, pode ser feita em equipamentos semiautomáticos ou totalmente automatizados.

O potencial de impacto associado se refere ao uso/consumo de água e ao consumo de energia. O uso, a regulagem e manutenção de equipamentos de adição de molhos e salmoura, que evitem a injeção de quantidades excessivas e, conseqüentemente, seu derramamento, podem contribuir para a redução dos impactos.

Na etapa de adição de molho ou salmoura e lavagem das latas, há que se considerar as entradas e saídas, conforme a Figura 16.

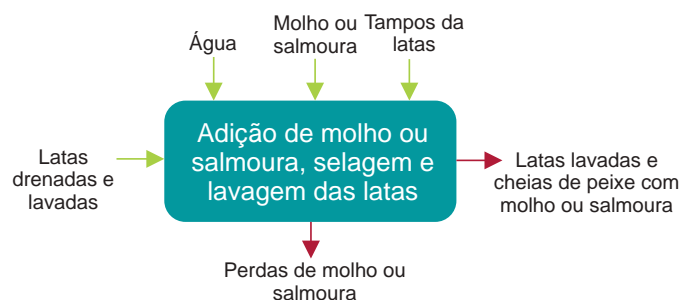


Figura 16. Entradas e saídas da etapa de adição de molho ou salmoura, selagem e lavagem das latas.

Esterilização das latas

Nesta etapa, as latas seladas e lavadas passam por processo de esterilização em autoclaves em altas temperaturas por tempo suficiente para promover a esterilização. Em seguida, as latas são resfriadas em água clorada.

Os possíveis impactos associados são atribuídos ao consumo de energia e ao uso de água nas autoclaves e para posterior resfriamento. É recomendada a adoção de medidas que reduzam as perdas de calor nos equipamentos e promovam sua regulagem, a fim de aumentar a eficiência ambiental do processo.

Na etapa de esterilização das latas, há que se considerar as entradas e saídas, conforme a Figura 17.

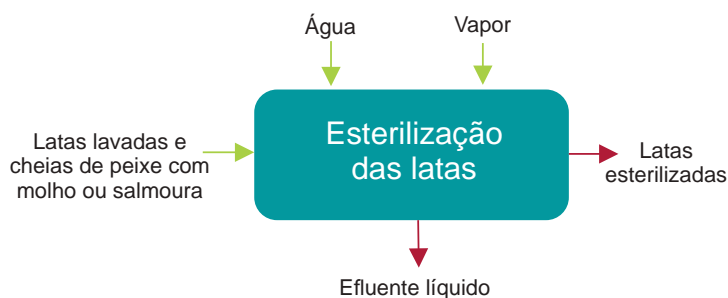


Figura 17. Entradas e saídas da etapa de esterilização das latas.

Impactos do processamento e alternativas sustentáveis de processos

O termo “produção mais limpa” (P+L) é definido como “aplicação contínua de estratégias ambientais preventivas nos processos, produtos e serviços, para aumentar sua eficiência e reduzir riscos ao homem e ao meio ambiente” (United Nations Environment Programme, 2000). Essas estratégias, por serem preventivas, devem ser aplicadas em todas as etapas do processamento e não apenas ao final do processo (Kupusovic et al., 2007; Ene et al., 2013; Barama et al., 2014).

Os impactos ambientais potenciais, associados às etapas do processamento, advêm basicamente de cinco pontos (Alkaya; Demirer, 2016):

- Uso/consumo de grande volume de água.
- Geração de efluentes com alta carga orgânica.
- Elevado consumo de energia que pode contribuir para a poluição atmosférica e mudanças climáticas.
- Geração de resíduos sólidos com elevada concentração proteica.
- Emissões para o ar que podem causar problemas de odor na região de instalação da indústria.

Visando reduzir esses impactos, as indústrias podem adotar processos de produção mais limpos, contribuindo para a conservação dos recursos naturais, eliminação de produtos tóxicos, redução de resíduos e de emissões. Alkaya e Demirer (2016) definiram alguns critérios para a seleção de técnicas ecologicamente mais sustentáveis no processamento de pescado:

- Benefícios ambientais.
- Aplicabilidade técnica.
- Viabilidade econômica.
- Facilidade de implementação.
- Sustentabilidade a longo prazo.
- Requisitos operacionais e de manutenção.
- Efeitos transversais conexos.

Nos próximos tópicos são apresentados os tipos de impactos e as alternativas para sua minimização.

Práticas de aplicação geral

Pequenas mudanças e adaptações nos processos de produção podem significar reduções de impactos potenciais por meio da diminuição do uso e consumo de recursos, o aumento da produção, a redução do volume de efluentes líquidos e de resíduos sólidos nas plantas industriais. De acordo com a United Nations Environment Programme (2000), pequenas modificações nas plantas industriais e nas práticas de produção podem ser traduzidas em benefícios ambientais e econômicos, como:

- Organização e desobstrução das áreas de trabalho, para evitar acidentes.
- Controle rigoroso de insumos.
- Garantia que o funcionário tenha ciência de suas responsabilidades quanto aos aspectos ambientais relacionados às atividades da indústria.
- Treinamento da equipe em boas práticas de fabricação (BPFs) e de manipulação de alimentos (BPMs).
- Estabelecimento de um cronograma de atividades de manutenção para evitar ineficiências e quebra de equipamentos.
- Otimização e padronização das configurações dos equipamentos a cada turno de trabalho ou pelo menos uma vez ao dia.
- Identificação e marcação de todas as chaves de acionamento dos equipamentos, para evitar que sejam ligados de modo incorreto por algum funcionário.
- Melhoria dos procedimentos de inicialização e finalização dos processos.
- Separação dos resíduos para reúso e reciclagem.

Uso/consumo de água no processamento de peixes

A forma de uso/consumo da água requer mudanças comportamentais, principalmente no que diz respeito à quantidade, mas também à qualidade (Fish, 2010; Nalini, 2010; Kajenthira et al., 2012; Dong et al., 2013). Em nível global, são observadas condições de escassez relativa ou absoluta desse recurso em países desenvolvidos, assim como naqueles em processo de desenvolvimento, seja por questões de distribuição e/ou por mau uso do recurso natural, demonstrando a precariedade dos sistemas de gestão de recursos hídricos. Juntamente à irregularidade na distribuição de água potável, a situação demanda mudanças na forma de abordagem da gestão dos recursos naturais, de forma a compreender e adotar princípios e estratégias em uma visão sistêmica, prezando pela sustentabilidade (Souza Júnior, 2004; Hanjra; Qureshi, 2010).

Os problemas diretamente relacionados à questão hídrica são comuns na indústria de alimentos, a qual demanda quantidades significativas de água (Beddington, 2010; Hanjra; Qureshi, 2010; Ene et al., 2013). Aproximadamente dois terços da captação de água doce mundial destinam-se à produção alimentícia (Manetti, 2008; Beddington, 2010), necessitando, portanto, de alternativas sustentáveis para racionalização do uso e aumento da disponibilidade hídrica.

Além de produto, quando engarrafada, a água é um insumo fundamental da indústria de alimentos, tanto nos processos industriais quanto na geração de matérias-primas (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, 2012). Na indústria de pescado, segmento responsável por parcela considerável do abastecimento mundial de alimentos (Anticamara et al., 2011), não é diferente. O uso de grandes quantidades de água, comum às indústrias de pescado, está diretamente relacionado às diferentes características físicas das espécies processadas (tamanho, peso), à escala de produção, às tecnologias adotadas no processamento e ao grau de comprometimento da indústria com os conceitos de “produção mais limpa” (*cleaner production*), principalmente no que se refere às práticas de minimização do uso de água.

Na Tabela 1 são apresentados os dados de uso/consumo de água de acordo com a espécie e tipo de produto final.

Tabela 1. Razão de uso de água por quilograma de pescado a ser processado em diferentes indústrias.

Tipo de indústria/Produtos	Uso de água (L/kg de produtos a ser processados matéria-prima)	Referência
Fábrica de pescado japonesas	15 a 50	Carawan (1991)
Fábrica de surimi japonesas	228 (média)	Carawan (1991)
Peixe congelado	8,9	Nimnu (1998)
Sardinha enlatada	9,0	Proença et al. (2000)
Atum enlatado	13,0	Uttamangkabovorn et al. (2005)
Processamento de pescado em geral	8,4 a 33,4	Murphy (2006)
Fábricas de pescado da província canadense Colúmbia Britânica	2,9 a 228	Chowdhury et al. (2010)
Anchova marinada	74,9	Alkaya; Demirer (2016)
Camarão marinado, escargot e lula congelado	21,5	Alkaya; Demirer (2016)
Dourado-do-mar: posta e filé congelado	4,8	Souza et al. (2018)
Salmão (matéria-prima eviscerada e congelada); filé sem espinha e sem pele	2,5	Souza et al. (2018)
Tambaqui, matrinxã, surubim: frescos e eviscerados	10,48	Ferracioli et al. (2018)

Murphy (2006) relatou que a razão água utilizada/quilograma de produto a ser processado cresce rapidamente com o aumento de produção, ou seja, uma pequena indústria processadora de pescado gastará mais água por quilograma de matéria-prima comparado a outra com maior volume de fabricação. Isso se deve, principalmente, ao fato de que a maior quantidade de água usada em indústrias de processamento de pescado é destinada à limpeza e higienização da indústria e dos equipamentos.

O gráfico da Figura 18 apresenta os dados de Uttamangkabovorn et al. (2005) que confirmam o que muitos autores indicam: o ponto de maior uso de água é a limpeza e higienização dos equipamentos e do chão da fábrica, que pode constituir cerca de 40 % do uso total de água (Thrane et al., 2009). Outras fontes consumidoras de água são a limpeza do pescado; estocagem, refrigeração e congelamento (antes, durante e após o processamento); preparo de molhos e salmouras; sprays de equipamentos; lubrificante e transporte de vísceras de pescado; cozimento; água de resfriamento; geração de vapor, entre outros pontos, dependendo do tipo de processamento e produto final (Carawan, 1991; Murphy, 2006; Chowdhury et al., 2010).

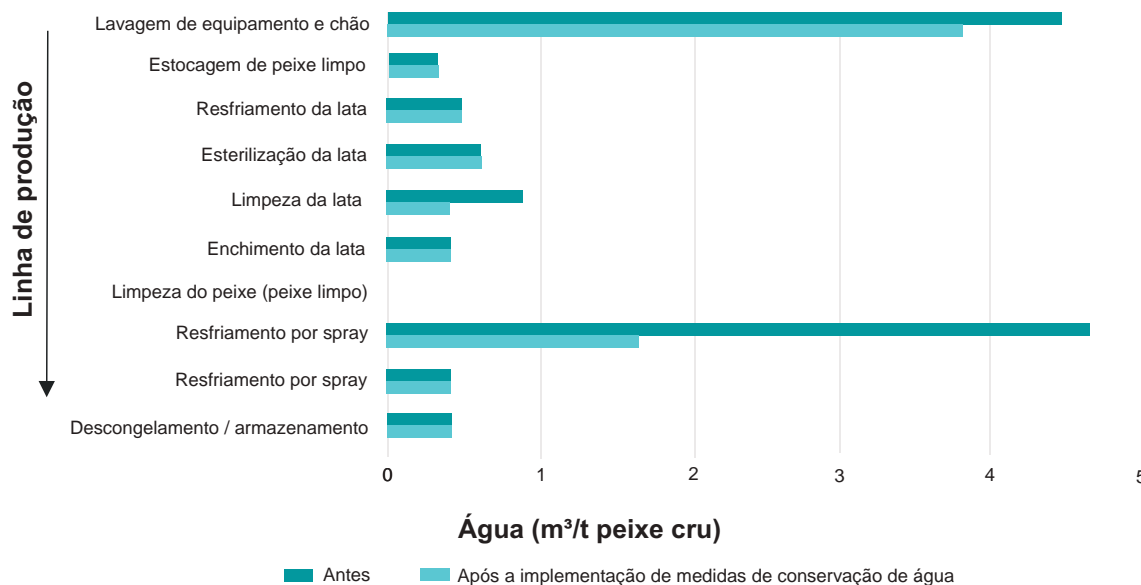


Figura 18. Uso de água em uma indústria de atum enlatado antes e após a implementação de medidas de conservação de água.

Fonte: Uttamangkabovorn et al. (2005).

Mesmo que o alto consumo/uso de água nesse segmento industrial esteja associado aos requisitos de segurança e saúde pública, há alternativas e possibilidades de redução por meio da aplicação de estratégias de uso eficiente e práticas sustentáveis que podem ser administradas mediante a (Chowdhury et al., 2010):

- Identificação de desperdícios nas unidades de processamento, com base em análise inicial dos padrões de uso.
- Determinação da taxa máxima de uso/consumo de água para processos unitários individuais.
- Caracterização dos efluentes gerados.

Dadas às informações, as opções de minimização e reutilização de água podem ser consideradas, sem o risco de comprometimento da qualidade do produto e sua higiene. A United Nations Environment Programme (2000) aponta algumas ações para a diminuição do uso de água no processamento:

- Uso de sistemas de transporte de vísceras que evitem ou minimizem o uso de água (exemplo: uso de rosca sem fim na canaleta de condução de resíduos sólidos).
- Instalação de dispositivos de restrição ou controle de fluxo de água em processos manuais de limpeza (exemplo: acionadores automáticos, redutores de fluxo etc.).
- Substituição do uso de grandes volumes de água por jatos de alta pressão na limpeza de superfícies.
- Reúso de água com baixa carga de poluentes, como a água de degelo, para outras aplicações, como transporte de vísceras ou limpeza inicial de áreas sujas.
- Uso de ar comprimido, em substituição à água, quando apropriado.
- Instalação de hidrômetros em pontos de alto uso/consumo de água para controle e monitoramento do uso.
- Uso de sistemas fechados de refrigeração.
- Pré-lavagem de pisos e equipamentos para facilitar a retirada de sujeiras no momento da limpeza (molhos).
- Recirculação de água em pontos não críticos.
- Reparo imediato e manutenção periódica de equipamentos.

Espera-se que a aplicação de boas práticas de fabricação (BPFs) e de manipulação de alimentos (BPMs), associada às técnicas de produção mais limpa e treinamento dos empregados, possa resultar em economia de água sem que haja perda na qualidade do produto final. Esses ganhos ambientais e econômicos foram analisados em estudos práticos em indústrias de processamento de pescado.

Uttamangkabovorn et al. (2005) apresentaram um estudo do uso de água de uma indústria de atum enlatado, na Tailândia, que consumia 13,0 m³/t de peixe a ser processado (matéria-prima). Verificaram que as três principais etapas consumidoras de água foram o resfriamento de peixe por spray, a lavagem de equipamentos e de chão na linha produção e, por fim, a limpeza das latas após enchimento (Figura 18).

Os autores apresentaram medidas de conservação de água nos dois principais pontos de uso e na lavagem das latas já enchidas com o produto. Tais medidas indicaram a possibilidade de 32 % de economia de água (uso final de 8,8 m³/t), sendo que a lavagem de equipamentos e chão continuou sendo a principal etapa consumidora desse recurso (de 43 % para 35 %). Como o uso de água está diretamente ligado à quantidade de efluente gerado, a água consumida (8,8 m³/t de peixe processado) gerou 12,4 m³ de efluente por tonelada de peixe processado. O acréscimo de volume foi devido, principalmente, à perda de água e matéria orgânica do produto durante o processamento.

Souza et al. (2008) apresentaram um estudo realizado no Abatedouro Escola da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos e no Laboratório de Piscicultura, ambos da Universidade de São Paulo (USP). Os autores fizeram alterações hidráulicas nas mesas de filetagem, como instalação de hidrômetros para verificar o uso de água nas duchas para limpeza e filetagem do peixe, e para limpeza interna das mesas. Após outras ações de produção mais limpa, os autores alcançaram redução de 98,16 % no uso de água na etapa de filetagem pelo método eviscerado no processamento de 33 kg de tilápia por 3 horas, e de 97,97 % pelo método não eviscerado no processamento de 35 kg de peixe por 2,1 horas.

Alkaya e Demirer (2016) alcançaram uma redução de 64,9 % e 77,2 % nas etapas de descongelamento e evisceração de anchovas, respectivamente, em uma indústria na Turquia. Como consequência da diminuição do uso de água, outros benefícios foram alcançados, como a redução do consumo de energia de 434 kWh/t para 409 kWh/t de matéria-prima; redução das emissões de CO₂ de 256 kg/t para 241 kg/t de matéria-prima; redução da geração de efluentes de 64,1 m³/t para 35,3 m³/t de produto final. Basicamente, as medidas implementadas foram o reciclo da água de descongelamento por meio de um circuito fechado de sistema de recirculação; tratamento e reciclo do efluente da evisceração; e produção de óleo e gordura de peixe como coproduto resultante do tratamento do efluente da evisceração.

Legislação brasileira associada ao uso de água em indústrias de processamento de pescado

O *Manual de procedimentos para implantação de estabelecimento industrial de pescado: produtos frescos e congelados* (Brasil, 2007) indica:

- Dispor de instalações que permitam o abastecimento de água potável, à pressão e quantidade suficientes recomendando-se, no mínimo, 5 l para cada quilograma de matéria-prima ou, excepcionalmente, de água do mar limpa, ou tornada limpa através de um sistema de tratamento, cuja eficácia seja devidamente comprovada por testes laboratoriais.
- A utilização de água não potável pode ser viável para fins específicos como produção de vapor de uso indireto, combate a incêndios, arrefecimento dos equipamentos e lavagem de pisos, desde que não

se constitua em risco de contaminação das matérias primas e produtos, sendo indispensável que as tubulações sejam claramente diferenciadas daquelas empregadas na circulação de água potável ou água do mar limpa.

Esse manual é o único documento nacional oficial que indica a quantidade mínima de água a ser utilizada por quilograma de pescado. Entretanto, não especifica a proporção relativa a cada etapa de processamento.

Geração de efluentes líquidos nas indústrias de processamento de peixes: quantidade x qualidade e reúso

A qualidade do efluente de indústrias de processamento de peixes varia com a espécie a ser processada, o produto a ser desenvolvido, os métodos de produção, a vazão e carga de poluentes do efluente, o grau de aplicação das práticas de produção mais limpa e os aditivos utilizados (salmoura, molhos, óleos comestíveis em enlatados, entre outros) (Murphy, 2006; Carawan, 2010; Chowdhury et al., 2010).

Carawan (1991) relata que cada planta industrial é única. Assim, generalizar o uso de água ou a geração de efluentes é muito difícil, mas é possível estabelecer uma média da qualidade e quantidade dos efluentes gerados para cada categoria industrial. Assim como em outras indústrias alimentícias, a quantidade de efluentes líquidos gerados na indústria de pescado está diretamente ligada ao uso de água. Quanto mais água usada, mais efluente é gerado. Portanto, ações que visem à minimização do uso, conseqüentemente, reduzirão o volume de efluente gerado.

Por outro lado, a aplicação de medidas de controle de uso de água fará com que o efluente fique mais concentrado, com maior carga de poluentes e, conseqüentemente, demandando modificações no sistema de tratamento (Afonso; Bórquez, 2002). O foco, então, deve ser direcionado para a identificação e aplicação de estratégias capazes de reduzir a carga de poluentes do efluente. Desta forma, os esforços devem ser concentrados para evitar o desperdício de matéria-prima e seu descarte na corrente de efluente. Além disso, devem ser aplicadas medidas de substituição de produtos químicos, usados para a limpeza e desinfecção, por outros menos agressivos ao meio ambiente e com menor carga de resíduos tóxicos.

Em geral, o efluente de indústrias processadoras de pescado possui alta concentração de lipídios (óleos e graxas) e proteínas, provenientes do processo de abate e evisceração, resultando em alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), alto teor de compostos nitrogenados e fósforo (Carawan, 1991; Murphy, 2006; Chowdhury et al., 2010).

Chowdhury et al. (2010) indicou que o pH do efluente de diferentes indústrias de pescado da província canadense, Colúmbia Britânica, ficou próximo ao neutro, variando entre 5,7 e 7,4, e sólidos totais entre 2000 mg/L e 3000 mg/L, sendo 10 % a 30 % referente aos sólidos suspensos totais (devido, principalmente, aos lipídios e às proteínas). Entretanto, há indústrias que geram efluente com maior concentração de sólidos totais, como aquelas que processam atum, e o efluente final pode ter grande concentração de sólidos totais (17.900 mg/L), sendo cerca de 40 % referente à matéria orgânica. Os ácidos graxos voláteis e os sólidos voláteis também estão presentes, a exemplo da trimetilamina, uma das principais substâncias responsáveis pelo odor associado a peixe em decomposição (Chowdhury et al., 2010).

Na prática, a aplicação de medidas para a segregação de resíduos sólidos e sua destinação para a produção de coprodutos pode reduzir sensivelmente a carga orgânica do efluente gerado e aumentar a eficiência produtiva da indústria. Além disso, tais medidas podem representar redução de custos no sistema de tratamento do efluente. Pode-se citar como exemplos a produção de surimi e de carne mecanicamente separada (CMS) como coprodutos com valor de mercado, produzidos a partir de porções anteriormente tidas como descarte. A produção de couro de peixe, óleo e farinha de peixe também são exemplos de destinação de material residual para a produção de produtos com valor agregado de mercado.

Há algumas técnicas para a redução do volume e carga de contaminantes do efluente (United Nations Environment Programme, 2000):

- Coleta e transporte dos resíduos sólidos utilizando-se métodos que não demandam o uso de água, a exemplo de esteiras filtrantes coletoras, localizadas sob as mesas de processamento.
- Uso de drenos com telas para evitar que resíduos sólidos sejam conduzidos ao sistema de tratamento de efluentes.
- Recuperação de resíduos sólidos por meio de varredura para serem destinados à produção de coprodutos impedindo que sejam conduzidos aos ralos do sistema de coleta de efluentes.
- Evisceração dos peixes com equipamentos a vácuo e coleta do sangue e vísceras, evitando seu carreamento para o sistema de coleta de efluentes.
- Uso de técnicas de limpeza a seco, sempre que possível, para higienização dos equipamentos e piso por meio de raspagem antes da lavagem; pré-lavagem com pistolas de ar; e limpeza do chão com rodos.

- Em plantas onde o processamento é feito basicamente de forma manual, bins podem ser alocados em pontos apropriados para a coleta dos resíduos sólidos, evitando sua deposição nos pisos e posterior condução nas canaletas juntamente com os resíduos líquidos.
- Segregação de correntes de efluentes. A segregação consiste na separação dos resíduos (líquidos ou sólidos) de cada processo ou, ao menos, na coleta conjunta daqueles com características microbiológicas e físico-químicas semelhantes, permitindo tratamento adequado para cada tipo de resíduo.
- Reúso de efluente.

Quanto à segregação de efluentes de unidades processadoras de pescado, Carawan (1991) os dividiu em duas categorias: a primeira, com alto volume e baixa concentração de resíduos; e a segunda, com baixo volume e alta concentração de resíduos. Os efluentes de etapas que não incluem perda de massa sólida do pescado, como a defumação, o degelo, a água de transporte, lavagem e higienização dos pisos e maquinário, são classificados na primeira categoria. O degelo pode representar até 50 % da vazão de efluente, dependendo do tipo de indústria de processamento de pescado (Murphy, 2006). Na segunda categoria, estão os efluentes das etapas em que ocorre perda de massa do produto, ou seja, podem apresentar sangue, carne, óleos e gorduras, como a evisceração e limpeza do pescado, descamação, separação em postas, entre outras.

Chowdhury et al. (2010) adicionam uma terceira categoria de efluente, intermediária quanto ao grau de contaminação, como a etapa de filetagem. Essa terceira categoria é mais expressiva em indústrias que apresentam produtos que exigem distintas etapas de processamento para obter o produto final. Ferraciolli et al. (2017) caracterizam os efluentes das etapas de processamento para produção de peixe fresco eviscerado em uma indústria que beneficia distintas espécies de peixes. A caracterização de efluentes permitiu aos autores apresentarem alternativas de segregação e tratamentos. Os autores indicaram um tratamento baseado na remoção de nutrientes e de sólidos, além da desinfecção de efluentes com menor carga orgânica (barreira sanitária e lavagem de monoblocos), para posterior reúso. Quanto aos efluentes provenientes das etapas do processamento em que há contato da água com o produto sendo processado (lavagem inicial da matéria-prima, incisão abdominal, evisceração e lavagem do produto), indicaram tratamento para remoção de matéria-orgânica e sólidos, além da desinfecção para reúso da água, que foi sugerido para descargas sanitárias, irrigação de jardim e lavagem de chão.

Ferraciolli et al. (2018) apresentaram um estudo de gerenciamento hídrico em uma indústria de processamento de pescado cujos produtos são peixes nativos frescos e eviscerados. A caracterização de efluentes permitiu aos autores identificar a contribuição relativa de cada parâmetro avaliado (30 parâmetros no total) para a diversificação dos efluentes. Os sólidos totais e os sólidos

totais voláteis foram os dois parâmetros que mais contribuíram para a diversificação. Os autores, com base no potencial de concentração dos contaminantes avaliados, indicaram a segregação dos efluentes em três grupos. Nesse estudo, verificaram a possibilidade de uma redução teórica do uso de água em 10 % (equivalente a 1,5 m³/t de pescado processado), condicionada às mudanças de equipamentos do processamento, para aumentar a pressão e conseqüente diminuição da vazão de água. O grupo de efluentes, originários de etapas de limpeza e higienização, após devido tratamento, pode ser reutilizado em outros processos da indústria em que não haja risco aos produtos, proporcionando uma redução teórica de 15,92 %.

Guimarães et al. (2018) quantificaram e caracterizaram os efluentes das etapas de processamento em uma indústria brasileira de processamento de pescado, que beneficia diferentes espécies (peixes, crustáceos) e tipos de produto final a ser comercializado. Os autores não indicaram o reúso direto de efluentes, mas recomendaram o indireto, ou seja, após acondicionamento de efluentes. Destacam-se os efluentes provenientes do descongelamento de câmaras de refrigeração e túneis de congelamento, que poderiam ser reutilizados após tratamento simples. Ao adicionar a purga das torres de resfriamento a esse volume de água de reúso, a redução teórica poderia ser de 21,9 % do volume total de água utilizado na indústria, a qual apresentou uso de 255,80 m³/dia, considerando as áreas administrativas e da planta de processamento.

Reúso de efluentes em indústrias de alimentos

A água é um dos principais insumos utilizados na indústria de alimentos. Apesar de esse segmento consumir uma grande quantidade de água potável, ainda há grandes restrições legais para seu reúso (Codex Alimentarius Commission, 2011). De forma geral, o setor de alimentos é o mais prejudicado pela falta de um arcabouço regulatório para as possibilidades de reúso de águas (Bontus; Bolonhese, 2014).

A falta de regulamentos e normativas legais claras, que definam as águas residuais tratadas como parte dos recursos hídricos dos países, e a falta de enquadramentos legais e institucionais para a implementação de projetos são os maiores desafios para a aplicação do reúso (Raso, 2013). A adequação de água ou efluente tratado para uso em qualquer operação em uma indústria de alimentos é determinada pela qualidade da água requerida na operação; qualidade da água usada; método de recuperação e distribuição; e pela capacidade para acondicionar a água ao nível requerido (Casani et al., 2005). Contudo, é necessária uma avaliação cautelosa para identificar riscos que possam estar presentes na água e os tipos de tratamentos necessários para acondicionar a água a uma qualidade adequada ao uso pretendido.

Diretrizes para aplicações de reúso de água na indústria de alimentos

Para a implantação da prática de reúso de água na indústria de alimentos é necessário conhecer a legislação vigente no país e/ou, em caso de inexistência, as normativas e diretrizes internacionais que possam subsidiar essa prática. Diversos países têm criado diretrizes e regulamentos para uso e reúso hídrico na indústria alimentícia Codex Alimentarius Commission (1999, 2001, 2007).

Geralmente, o reúso na indústria de alimentos se restringe ao uso, direto (sem diluição e tratamento) ou indireto (após diluição e/ou tratamento), em operações nas quais a água não entra em contato com o produto a ser consumido, como em sistemas de resfriamento, irrigação, descargas sanitárias, entre outros (Luiz et al., 2011). Esta é uma realidade de cidades, regiões e países onde a água ainda não representa problemas de escassez ou custo elevado.

A implementação de reúso direto e indireto de água em indústria de alimentos representa um grande desafio tanto para as indústrias quanto para as autoridades de saúde pública, com relação às análises técnicas, documentação, ações de monitoramento e aspectos éticos, associados com a segurança microbiológica de água de reúso (Casani et al., 2005).

O reúso de água/efluente é desejável em termos ambientais e econômicos. A crescente demanda desse recurso, o acesso limitado a esse insumo em algumas regiões e o aumento do interesse, no que diz respeito aos impactos ambientais associados às atividades industriais, são alguns aspectos propulsores das pesquisas e implantação do reúso de água em indústrias (Casani et al., 2005). Massoud et al. (2010) constataram que os gestores das indústrias de alimentos estão mais atentos às questões de segurança e qualidade do produto final e menos às questões ambientais. Assim, é natural que o desafio da minimização e do reúso de água e a busca por soluções estratégicas para preservação ambiental seja priorizado somente quando a produção industrial sofra prejuízos causados pela falta do recurso hídrico.

Outros fatores que motivam os dirigentes de indústrias a adotarem ações de gestão ambiental são o aumento da pressão de ambientalistas e o fato de que os parâmetros exigidos para descarte de água tenham se tornado mais estritos. Além disso, questões econômicas relacionadas às crescentes elevações dos custos com aquisição de água, tratamento e taxas de descarte de efluentes propulsionam o aprimoramento das técnicas de tratamento de efluentes e a implantação de gestão ambiental com foco na minimização/reúso/reciclo de água/efluente (Hancock, 1999; Casani et al., 2005; Sánchez et al., 2011).

Contudo, embora haja um grande volume de efluente gerado em decorrência do grande uso de água nas indústrias de alimentos, a coleta raramente é segregada, principalmente nos países

em desenvolvimento ou subdesenvolvidos. Essa realidade dificulta a aplicação dos princípios de reúso de água nesse tipo de indústria. Os motivos da dificuldade são vários, destacando-se a necessidade de realizar vários testes para garantir a eficiência desejada no tratamento e a complexidade envolvida na implementação das práticas de reúso de água.

Para garantir o sucesso do sistema de reúso nas indústrias, deve-se incentivar e capacitar os funcionários, dispor de recursos financeiros para a prática, implantar medidas de segurança e qualidade para a utilização de água de reúso, colaborar com agências reguladoras e institutos de pesquisa (Casanil et al., 2005) e promover a segregação de efluentes separando-os em grupos com características microbiológicas e físico-químicas semelhantes. Por fim, estabelecer um sistema de gerenciamento ambiental e uma equipe de colaboradores para esta finalidade é a primeira e a principal ação a ser tomada pela direção da indústria.

Aspectos ambientais e econômicos associados

A água é um bem que tem se tornado cada vez mais escasso, seja pelo crescimento da população, seja pela dinâmica das grandes cidades ou, ainda, pela poluição dos mananciais hídricos ou qualquer outro fator condicionante. Assim, a adoção de medidas para reúso é uma das possibilidades para reversão do quadro de escassez, devendo ser um compromisso social e ambiental (Dantas; Sales, 2009).

O uso racional da água e a utilização de tecnologias de reúso para utilização humana e industrial deixaram de ser apenas conceitos e passaram a ser um diferencial na sociedade. Essas práticas vêm ao encontro do estabelecimento e à manutenção de processos produtivos ambientalmente mais sustentáveis, uma vez que promovem a redução de custos, a não taxaço extra (multas), evitando o desperdício e a necessidade de exploração de novas fontes para o suprimento da demanda (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2014).

Na indústria de alimentos, recomenda-se o emprego de processos produtivos que garantam a integridade do meio ambiente, de modo que os recursos ambientais (principalmente a água) sejam utilizados sem que sofram danos para uso futuro (Timofiecsyk; Pawlowshy 2003).

Os principais benefícios ambientais, econômicos e sociais proporcionados pelo reúso de água na indústria estão relacionados à redução dos custos paracaptaço, abastecimento, tratamento, operação e distribuiço de água potável. A reduço na geraço de efluentes refletirá diretamente na diminuço dos valores relativos à taxaço pelo uso da água e, conseqüentemente, no custo total de produço (Bontus; Bolonhese, 2014).

Em 2015, os 193 países membros da Organização das Nações Unidas (ONU) definiram novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) baseados em oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). No total, foram estabelecidos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), dois deles, os objetivos 6 e 12, referem-se à disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, além da adoção de padrões de produção e de consumo sustentáveis, respectivamente (ONUBR, 2015).

Dentre outras metas estabelecidas para esses dois ODS, algumas estão diretamente ligadas às questões de eficiência do uso da água, redução da geração de resíduos e efluentes e a adoção de práticas de responsabilidade socioambientais: i) meta 6.3: “melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando o lançamento de materiais e substâncias perigosas, reduzindo pela metade a proporção do lançamento de efluentes não tratados e aumentando substancialmente o reciclo e reuso seguro localmente”; ii) meta 6.4: “aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores assegurando retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez”; iii) meta 12.5: “reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da Economia Circular e suas ações de prevenção, redução, reciclagem e reuso de resíduos”; iv) meta 12.6: “incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar parâmetros e práticas de responsabilidade socioambiental e a integrar informações acerca dessas práticas em seus sistemas, bancos de dados e ciclo de relatórios” (ONUBR, 2015).

Legislação sobre uso e reúso de água, aplicável às indústrias de alimentos: Brasil x mundo

Um dos principais problemas para a consolidação da prática do reúso na indústria de alimentos está relacionado à limitação dos ordenamentos jurídicos (Dantas; Sales, 2009), principalmente quando a questão envolve higiene e segurança dos produtos finais.

Atualmente, as diretrizes e os regulamentos internacionais sobre o uso e reúso de água na indústria de alimentos reconhecem a utilização de outras qualidades de água além da potável, conforme mudança proposta pela Diretiva 98/83/CE do Conselho das Comunidades Europeias. Essa nova sistemática confere flexibilidade, contudo, exige ampla gama de conhecimentos multi e interdisciplinares por parte da indústria e das autoridades reguladoras, além da conscientização da população sobre os benefícios da prática de reúso da água para uso humano e em processos industriais.

Além das restrições regulamentares, faz-se necessário um trabalho junto à sociedade para que haja aceitabilidade e confiabilidade nos processos de reúso e reciclo da água. É preciso conscientizar a população quanto à importância e preservação do recurso hídrico, bem como os impactos decorrentes do uso indiscriminado desse bem (Casani et al., 2005).

Normativas Internacionais para o reúso de água

Cada país estabelece normas próprias para reúso de água a partir de suas peculiaridades, tecnologias e o nível de desenvolvimento econômico. No âmbito global, a primeira norma sobre o tema foi promulgada nos Estados Unidos em 1918, no Estado da Califórnia. Em 1970, o código estadual de água ordenou que o Estado promovesse todo tipo de esforço, no desenvolvimento da técnica de tratamento e reúso da água, para coordenar a demanda de água no Estado (Sousa, 2008).

No que diz respeito à saúde, a Organização Mundial de Saúde (Organização Mundial de Saúde, 1989) estabeleceu diretrizes para a adoção da prática de reúso na agricultura e aquicultura, tratando, essencialmente, dos critérios microbiológicos e recomendando tecnologias aplicáveis ao tratamento de águas residuais. A Agência de Proteção Ambiental norte-americana (Environmental Protection Agency – EPA) publicou o *Guidelines for Water Reuse* (Environmental Protection Agency, 2012) e o *Water Recycling and Reuse: The Environmental Benefits* (Environmental Protection Agency, 2005), com o objetivo de regular e orientar o reúso em locais onde não há regulamentação para tal prática, abordando processos e critérios de qualidade para águas residuais com vistas ao reúso urbano, industrial e agrícola (Malinowsky, 2006).

No continente africano, a África do Sul conta, desde 1956, com o Ato da Água (*Water Act*), uma normativa considerada um importante instrumento para a implantação das políticas de reúso (Sousa, 2008).

Atualmente, as principais diretrizes internacionais vigentes que determinam os padrões de qualidade de água destinada à prática de reúso na indústria de alimentos são: a) Normas Europeias: Real Decreto 1620 (Espanha, 2007); b) Decreto Ministerial JMD 145.116/2011 (Grécia, 2011) e c) Orientações Americanas (Environmental Protection Agency, 2012) (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de referência de efluentes para reúso industrial. Faixa de concentração ou concentrações

Parâmetro	EPA (Environmental Protection Agency, 2012)	Espanha (ESPAÑA, 2007)	Grécia (GRÉCIA, 2011)
pH	6 - 9	6 - 8,5	-
Sólidos Suspensos Totais – SST (mg/L)	30	5 - 35	2 - 35
Sólidos Dissolvidos Totais – SDT (mg/L)	-	-	2.000
Demanda Biológica de Oxigênio (avaliada em 5 dias) – DBO ₅ (mg/L)	30	-	10-25
Nitrogênio total – Ntotal (mg/L)	-	-	30
Coliformes totais (NMP /100mL)	200	-	2
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	-	0-10 ⁴	250-10 ⁵
Turbidez (NTU)	2 - 2,5	1 - 15	2- sem limite

máximas.

O regulamento da Agência de Proteção Ambiental norte americana (Environmental Protection Agency, 2012) apresenta o reúso para várias aplicações, sendo mais restritivo para as indústrias de alimentos. Nesse documento, cada estado apresenta os requisitos para os parâmetros físico-químicos, entretanto são sugeridos os limites para o reúso industrial em torres de resfriamento, com ou sem recirculação.

A Espanha e a Grécia têm avançado na elaboração de normas para a indústria de alimentos e já possuem requisitos mínimos para o reúso de águas no processamento e na limpeza de alimentos. O Decreto Real 1.620, que estabelece o regime jurídico de reúso de águas tratadas, limita as concentrações dos seguintes parâmetros: *Escherichia coli*, patógenos, sólidos em suspensão e turbidez (Espanha, 2007). A Grécia, com a decisão ministerial conjunta 145.116, estabelece as máximas concentrações para os parâmetros: *Escherichia coli*, coliformes totais, SST, turbidez, DBO₅, pH, metais pesados, N_{total} e outros (Grécia, 2011).

Normativas para o reúso de água no Brasil

A Resolução n° 54 de 28 de novembro de 2005 (Brasil, 2005), emitida pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), instituiu que o reúso não potável de água abrange as seguintes modalidades:

- Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana.

- Reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas.
- Reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente.
- Reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e Reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

O uso dos recursos hídricos no Brasil é regulamentado pela União através da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Brasil, 1997b), que estabeleceu o Plano Nacional de Recursos Hídricos e, entre outras disposições, normatizou o uso e a cobrança da água. Todavia, por ser uma norma geral, esta Lei não regulamentou a reciclagem e reutilização da água, mas impõe a utilização racional dos recursos hídricos, deixando a regulamentação por parte dos órgãos competentes. No caso do reúso e reciclo da água, por estarem diretamente relacionados às condições de higiene e segurança na produção de alimentos, a regulamentação coube ao Ministério da Saúde e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Neste sentido, após a Lei 9.433, os seguintes documentos oficiais foram publicados e citam possibilidade de reúso de efluentes:

- Ministério da Saúde. Anvisa. Portaria SVS/MS nº 326, de 30 de julho de 1997 (Brasil, 1997a). Estabelece o “Regulamento técnico sobre as condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos”:

Pode ser utilizada água não potável para a produção de vapor, sistema de refrigeração, controle de incêndio e outros fins análogos não relacionados com alimentos, com a aprovação do órgão competente.

A água recirculada, para ser reutilizada novamente dentro de um estabelecimento, deve ser tratada e mantida em condições tais que seu uso não possa representar um risco para a saúde. O processo de tratamento deve ser mantido sob constante vigilância. Por outro lado, a água recirculada, que não tenha recebido tratamento posterior, pode ser utilizada nas condições em que o seu emprego não constitua um risco para saúde e nem contamine a matéria-prima nem o produto final. Deve haver um sistema separado de distribuição que possa ser identificado facilmente, para a utilização da água recirculada. Qualquer controle de tratamento para a utilização da água recirculada em qualquer processo de elaboração de alimentos deve ter sua eficácia comprovada e deve ter sido prevista nas boas práticas adotadas pelo estabelecimento e devidamente aprovadas pelo organismo oficialmente competente.

- Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 (Brasil, 2005). Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências:

Art. 9º A atividade de reúso de água deverá ser informada, quando requerida, ao órgão gestor de recursos hídricos, para fins de cadastro.

Art. 10 Deverão ser incentivados e promovidos programas de capacitação, mobilização social e informação quanto à sustentabilidade do reúso, em especial os aspectos sanitários e ambientais.

Art. 11 O disposto nesta Resolução não exime o produtor, o distribuidor e o usuário da água de reúso direto não potável da respectiva licença ambiental, quando exigida, assim como do cumprimento das demais obrigações legais pertinentes.

- Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010 (Brasil, 2010). Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal:

Art. 1º Estabelecer diretrizes e critérios para a prática do reúso direto não potável de água para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas.

Art. 2º As características físicas, químicas e biológicas para a água em todos os tipos de reúso para fins agrícolas e florestais deverão atender os limites definidos na legislação pertinente.

Art. 3º A caracterização e o monitoramento periódico da água de reúso serão realizados de acordo com critérios definidos pelo órgão ou entidade competente.

Art. 4º A aplicação de água de reúso poderá ser condicionada, pelo órgão ou entidade competente, à elaboração de projeto que atenda os critérios e procedimentos por estes estabelecidos.

Art. 5º A aplicação de água de reúso para fins agrícolas e florestais não pode apresentar riscos ou causar danos ambientais e à saúde pública.

- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 9.013 de 29 de março de 2017 (Brasil, 2017a). Dispõe sobre o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA):

Art. 42. O estabelecimento de produtos de origem animal deve dispor das seguintes condições básicas e comuns, respeitadas as particularidades tecnológicas cabíveis, sem prejuízo de outros critérios estabelecidos em normas complementares.

XXI – Rede de abastecimento de água com instalações para armazenamento e distribuição, em volume suficiente para atender às necessidades industriais e sociais e, quando for o caso, instalações para tratamento de água.

XXII – Água potável nas áreas de produção industrial.

XXIII – Rede diferenciada e identificada para água não potável, quando a água for utilizada para outras aplicações, de forma que não ofereça risco de contaminação aos produtos.

XXIV – Rede de esgoto projetada e construída de forma a permitir a higienização dos pontos de coleta de resíduos, dotada de dispositivos e equipamentos destinados a prevenir a contaminação das áreas industriais.

Há pouco tempo, o estado do Rio de Janeiro instituiu uma lei que obriga todas as indústrias com mais de 100 funcionários a praticar o reúso de água:

- Lei nº 7.599 de 24 de maio de 2017 (Rio de Janeiro, 2017). Dispõe sobre a obrigatoriedade de indústrias situadas no estado do Rio de Janeiro instalarem equipamentos de tratamento e reutilização de água:

Art. 1º – As indústrias situadas no estado do Rio de Janeiro, que tiverem em seu quadro 100 (cem) ou mais empregados, ficam obrigadas a instalar equipamentos de tratamento e reutilização de água.

Parágrafo único – Os equipamentos referidos no caput deverão ser licenciados pelos órgãos competentes.

Art. 2º – As indústrias que não cumprirem a determinação contida no art. 1º desta Lei não poderão:

I – Receber nenhum benefício e/ou incentivo do estado do Rio de Janeiro.

II – Ser contratadas pelo estado do Rio de Janeiro.

III – Firmar convênios ou instrumentos similares com o estado do Rio de Janeiro.

Parágrafo único – A obtenção de qualquer benefício e/ou incentivo estadual, bem como a contratação ou assinatura de convênio com o estado do Rio de Janeiro dependerá da apresentação de certidão expedida pelo órgão fiscalizador competente, comprovando o fiel cumprimento desta Lei.

Os documentos supracitados apresentam abertura para reutilização da água, seja tratada ou não, desde que não haja riscos à saúde e de contaminação do produto. Todavia, falta segurança jurídica para a concretização desse reúso, pois não existem parâmetros fixados acerca da qualidade da água ou dos métodos de tratamento permitidos. Adicionalmente, o Brasil ainda não possui legislação específica para reúso de água na indústria de alimentos, o que tem sido praticado é a adoção dos padrões internacionais ou de orientações técnicas produzidas por instituições privadas (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná, 2010), como as orientações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A norma NBR 13.969:1997 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997) classifica e dá valores de parâmetros para esgotos domésticos ou similares, conforme o reúso que será realizado. A NBR 13.969:1997 determina que esse tipo de esgoto pode ser reutilizado para fins em que não haja exigência de água potável, desde que seja sanitariamente seguro. A norma cita que o esgoto, após o tratamento, poderá ser reutilizado para fins como irrigação de jardins, lavagem de pisos e de veículos automotivos, uso para descarga em vasos sanitários, em manutenção paisa-

gística de lagos e canais com água, em irrigação de campos agrícolas e pastagens.

As classificações e os respectivos valores de parâmetros para esgotos, definidos pela NBR 13.969:1997, podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação e aplicação de reúso, parâmetros de qualidade e tratamentos necessários, segundo NBR 13.969/97.

Parâmetro	NBR 13.969			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Coliformes fecais (NMP/100mL)	< 200	< 500	< 500	< 500
pH	6-8	-	-	-
Turbidez (NTU)	< 5	< 5	< 10	-
Cloro residual (mg Cl ² /L)	0,5 - 1,5	> 0,5	-	-
STD Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	< 200	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	-	-	-	< 2,0
Aplicações de reúso	Lavagem de carros, com possível aspersão de aerossóis	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, fins ornamentais	Descargas em vasos sanitários	Irrigação pontual ou escoamento superficial de pomares, cereais, forragens, pastagens
Tratamentos necessários	Aeróbios (filtro aeróbio submerso ou Lodo Ativado por Batelada) + Filtração + Cloração	Aeróbios (filtro aeróbio submerso ou Lodo Ativado por Batelada) + Filtração + Desinfecção	(Água de enxágue de máquina de lavar) Aeróbios + Filtração + Desinfecção	Aplicação deve ser interrompida 10 dias antes da colheita

Geração de resíduos sólidos e recuperação proteica em indústrias de processamento de peixes

As indústrias de processamento de pescado geram grandes quantidades de resíduos orgânicos sólidos e subprodutos (coprodutos), compostos, principalmente, de partes não comestíveis do peixe (como a cabeça) e do endoesqueleto de crustáceos (Duangpaseuth et al., 2007). Esses resíduos e o efluente rico em matéria orgânica devem ter o devido tratamento para não serem lançados diretamente no ambiente, evitando impactos ambientais negativos decorrentes do descarte indevido (Afonso; Bórquez, 2002b). Os resíduos e o alto teor de óleo e proteínas presentes nos efluentes encarecem muito o tratamento de efluentes da indústria (Van Ha et al., 2009). Com a implantação de práticas de reciclo de coprodutos e a recuperação de óleos e proteínas, menos matéria orgânica estará no efluente, reduzindo custos e insumos para seu tratamento (energia e produtos químicos, por exemplo).

No estudo apresentado por Uttamangkabovorn et al. (2005) sobre o uso de água e de energia, além da geração de efluentes e resíduos, de uma indústria de atum enlatado na Tailândia, a cada 18.094 kg de atum processado, cerca de 6.948 kg resultavam em resíduos sólidos (cabeça, rabo, couro, vísceras, espinhas/ossos e carne com sangue), ou seja, 384 kg de resíduos sólidos são gerados a cada tonelada de matéria-prima processada (38,4 %).

O gerenciamento de resíduos sólidos de unidades processadoras de pescado deve ser voltado para o reaproveitamento e a recuperação proteica dos resíduos não comestíveis, ricos em aminoácidos essenciais, óleos e proteínas. Duangpaseuth et al. (2007) citam alguns produtos que usam resíduos sólidos de pescado como matéria-prima: produtos bioquímicos e farmacêuticos, aditivos de cor extraídos do resíduo, gelatina da pele e ossos, farinha de peixe, óleo de peixe, produção de silagem úmida de pescado, ração animal, fertilizante e isca para pegar peixes. Além disso, a digestão anaeróbica do resíduo pode gerar um subproduto economicamente viável à indústria, o gás metano (Chowdhury et al., 2010). A queima desse biogás pode atender total ou parcialmente à demanda de energia da indústria de pescado.

Afonso e Bórquez (2002) citam exemplos de práticas para concentração e recuperação de valiosas proteínas a partir de efluentes de unidades de processamento de pescado. O efluente do ponto de descarregamento do peixe (dos barcos para planta de processamento) tem alta carga orgânica e baixo volume, portanto, se houver segregação de efluentes na planta, este volume poderá ser tratado separadamente para recuperação proteica.

O tratamento por microfiltração seguido por ultrafiltração (UF) ou nanofiltração (NF) concentra e permite o reciclo de proteínas na produção de farinha de pescado, enriquecendo este produto (Afonso; Bórquez, 2002b; Afonso et al., 2004). O efluente tratado pode ser fonte de água a ser

reutilizada/reciclada na unidade, caso não prejudique a qualidade do produto final e que seja autorizado pelo órgão de fiscalização competente. Com esta prática, é possível gerar ganhos econômicos devido à agregação de valor dos produtos (farinhas com maiores teores de proteína) e à minimização do uso de água fresca (caso seja feito o reciclo após a NF ou UF), o que também está diretamente ligado aos ganhos ambientais.

Consumo de energia nas indústrias de processamento de peixes

Assim como a água é importante para garantir a qualidade sanitária do produto, a energia também é indispensável, principalmente nas etapas de refrigeração e esterilização. Outras fases demandantes de energia são: cozimento, secagem, evaporação, operação de máquinas e motores elétricos (compressores para freezers, máquinas de produção de gelo, bombas d'água, entre outros), iluminação dos ambientes e tratamento de efluentes (bombeamento e aeração) (Murphy, 2006).

O consumo de energia depende da escala de produção, do nível de automação e dos produtos a serem manufaturados, um exemplo são os enlatados, que consomem grandes quantidades de energia em sua produção. Neste caso, os principais pontos de demanda de energia são: o aquecimento de água e a produção de vapor d'água para limpeza, além do aquecimento e da esterilização das latas (Thrane et al., 2009). No processo de produção de farinha de peixe, a etapa de maior demanda energética é a secagem.

Para economizar energia, deve-se atentar para a eficiência da tecnologia adotada, bem como para sua fonte geradora. A combustão de gás natural, em substituição à de óleo para fornecimento de energia, contribui não apenas economicamente, mas também em termos ambientais, diminuindo as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera, principais responsáveis pelo aquecimento global (Thrane et al., 2009). Por conseguinte, a economia de energia pode ser alcançada de forma rápida e sem investimentos substanciais, por meio de simples esforços (United Nations Environment Programme, 2000), como o uso de biocombustíveis, em substituição aos combustíveis fósseis, que contribui para a redução de impactos ambientais por serem fontes renováveis. Algumas ações para a redução do uso de energia são (United Nations Environment Programme, 2000; Bugallo et al., 2013):

- Implantar programas de desligamento automático e sensores de luzes e equipamentos.
- Melhorar o isolamento em sistemas de aquecimento ou resfriamento e tubulações.
- Optar pelo uso de equipamentos mais eficientes.

- Fazer manutenção periódica de equipamentos para otimizar sua eficiência energética.
- Manter a eficiência da combustão nas caldeiras para produção de vapor e água quente, isolando-as para evitar perdas de calor.
- Eliminar vazamentos nos sistemas de transmissão de vapor.
- Produzir biogás a partir de resíduos e águas residuais e resíduos sólidos para ser usado como combustível para geração de vapor.

Geração de energia pelo tratamento anaeróbio de lodo de indústrias de processamento de pescado e de resíduos de pescado

A geração de efluentes com alta carga orgânica em indústrias processadoras de pescado é de grande preocupação mundial. Diante disso, a produção de energia a partir da combustão do biogás gerado no tratamento biológico de efluentes e resíduos sólidos configura em uma alternativa sustentável do ponto de vista econômico e ambiental para essas indústrias (Chowdhury et al., 2010). O tratamento biológico pode apresentar menor custo, requerer menos espaço para instalação e gerar menor quantidade de lodo, em comparação ao tratamento aeróbio. De forma geral, o potencial de biometanização (digestão anaeróbia) de resíduos depende da concentração dos seguintes componentes orgânicos: proteínas, lipídios e carboidratos. Portanto, uma caracterização do substrato é necessária para prever a produção de metano (Alvarez et al., 2010).

Chowdhury et al. (2010) indicam o reator anaeróbico de fluxo ascendente (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, UASB), o filtro anaeróbico (*Anaerobic Filter*, FA) e o reator anaeróbico de leito fluidizado (*Anaerobic Fluidized Bed Reactor*, AFB) como opções para atingir a remoção de matéria orgânica (DQO e DBO_5) entre 80 % e 90 % e produzir biogás rico em metano (CH_4). Se não houver produção de efluentes em quantidade suficiente para viabilizar a implementação do tratamento anaeróbico, poderá ser feita a codigestão com outros efluentes, havendo logística favorável (transporte, localização, custo e benefício). Os exemplos de materiais passíveis de codigestão são resíduos sólidos de peixe (cabeça, vísceras) com estrume suíno ou polpa de sisal (Mshandete et al., 2004; Alvarez et al., 2010).

Alvarez et al. (2010) obtiveram geração de 321 L de CH_4 para cada kg de demanda química de oxigênio (DQO), a partir da digestão anaeróbia de um material composto por 84 % de estrume de porco, 5 % de resíduos sólidos de peixe e 11 % de resíduos de biodiesel. Mshandete et al. (2004) obtiveram 0,32 m³ e 0,39 m³ CH_4 /kg sólidos voláteis (SV) para a digestão anaeróbia de polpa de sisal e de resíduos sólidos de peixe, respectivamente, e de 0,62 m³ CH_4 /kg SV para uma mistura

contendo 33 % de resíduos de peixe e 67 % de polpa de sisal.

O tratamento biológico anaeróbio, objetivando a produção de biogás, também pode ser feito para tratamento de resíduos e efluentes gerados em fazendas de produção de pescado. Gebauer (2004) avaliou o tratamento anaeróbio de lodo do efluente de fazendas que cultivavam peixes marinhos. O tratamento testado pelo autor, utilizando reator tanque continuamente agitado (*Continuously Stirred Tank Reactors*, CSTR), alcançou resultados na faixa de 0,114 L a 0,184 L de $\text{CH}_4/\text{g DQO}$. Devido à pouca exploração do potencial de geração de biogás rico em metano, a partir de efluentes e resíduos sólidos de indústrias processadoras e fábricas de conservas de pescado, este tópico deve ser amplamente avaliado para melhorar ganhos ambientais e econômicos.

Emissões gasosas

O ponto crítico das emissões gasosas nas indústrias de pescado são os odores gerados a partir da decomposição dos materiais processados (Murphy, 2006). A estocagem de pescado nas embarcações pode promover a deterioração do produto devido às condições anaeróbias propícias, causando a liberação de amônia, mercaptanos e sulfeto de hidrogênio (Duangpaseuth et al., 2007).

Os tipos de processamento e de produto final influenciam no grau das emissões. Assim, o processamento de subprodutos, como a secagem de farinha de peixe, libera mais odores em comparação ao processamento de pescados enlatados (Murphy, 2006). Na lista dos responsáveis pelos odores estão o sulfeto de hidrogênio (H_2S) e a trimetilamina $[(\text{CH}_3)_3\text{N}]$ (Environmental Protection Agency, 1995; Chowdhury et al., 2010), que não são considerados poluentes perigosos do ar, além de outros compostos orgânicos voláteis (*Volatile Organic Compounds*, VOCs) (Murphy, 2006).

As emissões podem ser controladas com a instalação de purificadores (tipo lavadores de gases Venturi) e condensadores nas chaminés, que reduzem tanto particulados quanto poluentes gasosos (Murphy, 2006; Duangpaseuth et al., 2007). Os coletores centrífugos podem ser utilizados caso haja presença de substâncias sólidas no meio, como cinzas e fuligem provenientes da queima de combustíveis para a geração de calor e vapor (caldeira), e pós gerados nas etapas de moagem e peneiragem de matéria-prima ou subprodutos de pescado (como, por exemplo, a farinha de peixe). O sulfeto de hidrogênio também pode ser liberado dos sistemas biológicos de tratamento de efluentes, caso estejam funcionando com capacidade insuficiente de tratamento ou em desequilíbrio microbiológico (Murphy, 2006).

Algumas ações de boas práticas de fabricação podem auxiliar na redução de emissão de odores, sendo a principal recomendação não processar matéria-prima de qualidade inferior. Outras

ações são não ter grandes estoques de matéria-prima, resíduos e subprodutos; estocar estes produtos por curto período de tempo e em ambiente refrigerado, fechado e ventilado; armazenar subprodutos em recipientes hermeticamente fechados; manter as áreas de estocagem e de produção sempre limpas e livres de resíduos; cobrir/encanar todos os sistemas de transferência e transporte de resíduos líquidos, sólidos e gasosos (Duangpaseuth et al., 2007).

Perspectivas futuras

A legislação brasileira admite a necessidade de haver gerenciamento hídrico nas indústrias para implantar técnicas de produção mais limpa, nas quais se inclui o uso consciente e racional da água (Brasil, 2011). A seguir estão alguns documentos oficiais, elaborados pela Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano e Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, que tratam da racionalização e do uso sustentável da água. As moções apresentadas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (Ministério do Meio Ambiente) dão enfoque para a necessidade de investir em ciência, tecnologia e inovação (CT&I) para a gestão de recursos hídricos:

- Moção nº 40, 07/12/2006:

Recomenda princípios e prioridades de investimento de ciência e tecnologia em recursos hídricos.

Reúso de água: aplicações técnicas – diante das demandas atuais por reúso de água e da existência de situações de reúso, além da normalização em desenvolvimento no setor, torna-se importante apoiar atividades de desenvolvimento tecnológico que trabalhem a integração de procedimentos e mecanismos de uso eficiente e reúso. Tais iniciativas teriam efeito demonstrativo e pedagógico, incentivando a mudança cultural e de hábitos de consumo nos meios onde se instalam (Brasil, 2011).

- Moção nº 45, 17/12/2008:

Recomenda princípios e prioridades de investimento em ciência, tecnologia e inovação para recursos hídricos.

Atividades de CT&I em hídricos:

- Investimentos em pesquisas relacionadas ao reúso de água no meio urbano, reúso agrícola, reúso na aquicultura, reúso industrial, recarga de aquíferos, aproveitamento de água da chuva e dessalinização de água.

- A questão do reúso de água não pode ficar restrita apenas ao aprimoramento de processos convencionais a partir da adaptação de estações de tratamento de esgotos e/ou adaptação de processos de tratamento convencional de esgotos para plantas de reúso de água e bioaproveitamento. Essa questão poderia integrar um rol de ações a serem implementadas a partir da elaboração de um amplo programa nacional (Brasil, 2011).

- Moção nº 57, 16/12/2010: esta moção do Conselho Nacional de Recursos Hídricos é mais específica quanto às recomendações de “princípios e prioridades de investimento em ciência, tecnologia e inovação em recursos hídricos” (Brasil, 2011). Oito grandes áreas compõem as prioridades de investimento, cujas atividades apresentaram níveis de prioridades, classificados em:

URGENTE: demandas que precisam de investimentos imediatos para resolver um problema atual.

EMERGENTE: demandas que refletem necessidades atuais ou futuras já identificadas e que necessitam de respostas rápidas.

PERMANENTE: necessidades de investimento em pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação para resolver questões permanentes ou recorrentes.

As questões de gerenciamento hídrico industrial visando o uso sustentável de água em indústrias se enquadram no Grupo 4 estabelecido pela Moção 57/2010. O Grupo 4 se refere à área “Uso Múltiplo e Sustentável da Água” cujas ações de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação estão relacionadas à “melhoria da aquicultura, irrigação, aproveitamento hidrelétrico, navegação, aproveitamento da água da chuva, dessalinização, reúso agrícola e urbano, otimização do uso da água na indústria, dentre outras” (Brasil, 2011). Algumas atividades do Grupo 4 e suas respectivas justificativas e prioridades estão listadas na Tabela 4.

Neste contexto, torna-se essencial o gerenciamento hídrico em indústrias de processamento de pescado com intuito de estabelecer regras para o uso consciente e sustentável da água. Faz-se necessário o estabelecimento de padrões de procedimentos, com determinação da quantidade mínima de água a ser consumida por quilograma de pescado a ser processado, respeitando a diversidade e a qualidade sanitária dos produtos finais. Outro ponto importante é o desenvolvimento de tecnologias mais limpas mais específicas para cada tipo de pescado e produto final, de acordo com as peculiares de cada um e diferentes equipamentos/processos associados.

As possibilidades de reúso direto ou indireto de água em indústrias de processamento de pescado devem ser consideradas para corroborar com as atividades cujo objetivo seja a minimização e uso/consumo consciente desse recurso. Tais ações, associadas em técnicas de reúso, devem preservar a qualidade do produto final, ou seja, contemplar Boas Práticas de Fabricação (BPFs). Assim, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, órgão ao qual compete a fiscalização de indústrias de processamento de pescado, deve autorizar previamente toda e qualquer prática de reúso de água.

O Grupo 5, “Saneamento Ambiental”, da Moção 57/2010 também incentiva o tratamento anaeróbico para a produção de biogás, que é indicado para fazendas produtoras e indústrias processadoras de pescado devido à alta carga orgânica do efluente e resíduos sólidos (Tabela 5).

Tabela 4. Prioridades, demandas e justificativas do Grupo 4, que compõem as áreas de prioridades de investimento em ciência, tecnologia e inovação em recursos hídricos, listadas na Moção nº 57, 16/12/2010 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

Prioridade	Demanda	Justificativa
Emergente	Estudo dos impactos da aquicultura sobre os recursos hídricos	Investimentos em unidades de tratamento de efluentes de pequenas cargas e gerenciamento do uso de ambientes lênticos para o criatório animal, especialmente, a carcinocultura e a piscicultura em tanque rede
Emergente	Pesquisas relacionadas ao reúso de água no meio urbano, reúso agrícola, reúso na aquicultura, reúso industrial, recarga de aquíferos, aproveitamento de água da chuva e dessalinização de água	Necessidade de desenvolver tecnologias limpas e inovações, voltadas às utilizações sustentáveis dos recursos hídricos
Permanente	Estudos de cenários de desenvolvimento e avaliação, dos impactos setoriais sobre os recursos hídricos	Aumento da demanda hídrica em função do desenvolvimento dos diversos setores usuários de água, principalmente o abastecimento humano, a agricultura irrigada e a indústria, são fatores que impedem a acessibilidade futura da água em situações comuns, tanto em termos de qualidade como de quantidade. Os impactos gerados pelas atividades conscientes dos recursos hídricos, é fundamental para garantia da disponibilidade da água às gerações futuras

Fonte: Brasil (2011).

Tabela 5. Algumas prioridades, demandas e justificativas do Grupo 5, que compõe as áreas de prioridades de investimento em ciência, tecnologia e inovação em recursos hídricos, listadas na Moção nº 57, 16/12/2010 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

Prioridade	Demanda	Justificativa
Emergente	Aproveitamento de biogás em estação de tratamento anaeróbico de esgotos e em aterros sanitários	A emissão de gases em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto por processo anaeróbico é composto, majoritariamente, por metano, um dos gases causadores do efeito estufa. Entretanto, possui potencial energético expressivo, que pode ser um interessante combustível para a geração de energia elétrica, térmica e mecânica, contribuindo para a redução do uso de combustíveis fósseis, o principal fator do aquecimento global

Fonte: Brasil (2011).

Conclusão

Em geral, as indústrias de alimentos são grandes consumidoras de recursos naturais (principalmente água), energia e insumos, para garantir a qualidade e segurança alimentar de seus produtos. Devido à grande variedade de produtos alimentícios industrializados, há geração de elevado volume de efluentes e resíduos em quantidade e qualidade diferentes. Dessa forma, ações para prevenir e minimizar os danos ambientais são essenciais para a sustentabilidade da empresa e da sociedade.

As ações para reduzir volumes e cargas de contaminantes dos efluentes dentro das indústrias processadoras de alimentos, segregar correntes de efluentes e reutilizar água servida (reúso de efluente), em geral, estão contempladas pelos princípios de gestão ambiental. Implantar ações de produção mais limpa pode, ainda, ser economicamente atrativo para as indústrias (Figura 19), assim como melhorar sua imagem, uma vez que poderá lançar mão de marketing ambiental para divulgar suas ações (Thrane et al., 2009). Outros benefícios passíveis são a economia de energia, devido à redução do bombeamento de água e da utilização de água aquecida; redução do uso de aditivos e produtos químicos; maior eficiência e menores custos de descarte e reúso (Miyaki et al., 2000).

A agilidade e o sucesso da implementação das ações propostas dependem da participação da alta gerência. Normalmente, as empresas que obtêm sucesso na implementação de ações dessa natureza apresentam efetiva participação da gerência da indústria no processo de tomada de decisões para adoção de soluções de melhoria dos processos e de redução do uso de água. Contudo, se os gestores não incorporarem a necessidade de promoverem ações sustentáveis, a empresa não alcançará os benefícios sociais, ambientais e econômicos esperados.

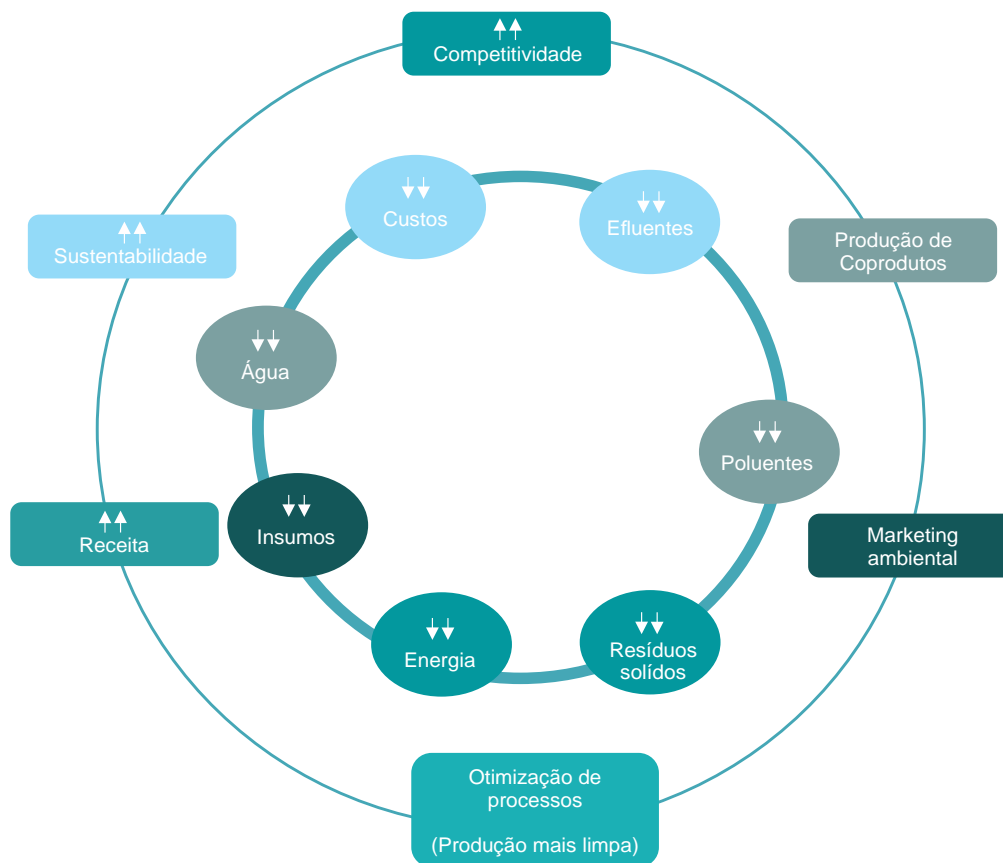


Figura 19. Impactos da adoção de tecnologias de produção mais limpa no processamento de alimentos, incluindo pescado.

Os estudos de viabilidade técnica, econômica e de segurança alimentar devem ser realizados para aplicar as medidas de uso consciente e racional da água em cada etapa de processamento, minimizando o uso de água fresca em indústrias de processamento de pescado. Contudo, devido às especificidades de cada tipo de peixe e, conseqüentemente, variabilidade de uso de água e de características de efluentes, tais estudos poderiam ser realizados para os diferentes grupos de pescado e/ou por tipo de processamento, por exemplo: camarão descascado e précozido, crustáceos in natura em geral, peixes redondos, peixes de couro, filés de peixes de escamas, surimi etc.

Apesar de ser uma alternativa para a solução da atual crise hídrica, a concretização do reúso de água possui barreiras que ainda devem ser ultrapassadas. Uma política nacional de reúso deve abordar formas de transpor tais barreiras e fixar regras de segurança e ações de conscientização para demonstrar à sociedade a necessidade da reutilização e seus benefícios. As principais barreiras no Brasil são:

- Falta de consciência ambiental e baixa aceitabilidade pela população. As causas podem estar ligadas à falta de conhecimento a respeito dos benefícios do reúso e quanto à segurança existente nos atuais processos aplicados para tratamento de águas residuais para fins de reúso.
- Inexistência de incentivo à prática de reúso, mediante benefícios fiscais e cobrança efetiva do uso da água.
- Inexistência de marco regulatório sanitário que confira segurança jurídica às empresas do ramo alimentício, no que se refere à aplicação da prática do reúso de água aos processos industriais.
- Falta de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias de reúso para diminuir custos e viabilizar sua implementação nas indústrias.

É de interesse público que ações sustentáveis sejam estabelecidas em toda e qualquer indústria e, primordialmente, naquelas em que o alto teor de contaminação – química, física ou microbiológica – de seus efluentes requer maior atenção. A indústria de processamento de pescado é considerada altamente poluidora devido ao teor de matéria orgânica dos efluentes e resíduos sólidos. Por conseguinte, são de grande importância o desenvolvimento de tecnologias e a gestão ambiental voltadas para a cadeia, desde a produção até o processamento do pescado. Dada a crescente demanda mundial por essa fonte de proteína, faz-se urgente investimentos e pesquisas neste setor.

Referências

- AFONSO, M. D.; BÓRQUEZ, R. Nanofiltration of wastewaters from the fish meal industry. **Desalination**, v. 151, n.2, p.131-138, 2003.
- AFONSO, M. D.; BÓRQUEZ, R. Review of the treatment of seafood processing wastewaters and recovery of proteins therein by membrane separation processes: prospects of the ultrafiltration of wastewaters from the fish meal industry. **Desalination**, v. 142, n. 1, p. 29-45, 2002.
- AFONSO, M. D.; FERRER, J.; BÓRQUEZ, R. An economic assessment of proteins recovery from fish meal effluents by ultrafiltration. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, n. 10, p. 506-512, 2004.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 331, de 23 de dezembro de 2019. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. **Diário Oficial da União**. n. 249, 23 dez. 2019. Seção 1, p. 96.
- ALKAYA, E.; DEMIRER, G. N. Minimizing and adding value to seafood processing wastes. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p.t. A, p. 195-202, 2016.
- ALVAREZ, J. A.; OTERO, L.; LEMA, J. M. A methodology for optimizing feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 4, p. 1153-1158, 2010.
- ANTICAMARA, J.; WATSON, R.; GELCHU, A.; PAULY, D. Global fishing effort (1950-2010): trends, gaps, and implications. **Fisheries Research**, v. 107, n. 1-3, p. 131-136, 2011.
- ARGENTA, F. F. **Tecnologia de pescado**: características e processamento da matéria-prima. 2012. 61 f. Monografia (Especialização em Produção, Tecnologia e Higiene de Alimentos de Origem Animal) — Faculdade de Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Resolução RDC nº 275 de 21 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. **Diário Oficial da União**, n. 215-C, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. **Sustentabilidade na indústria da alimentação**: uma visão de futuro para a Rio+20. Brasília, DF: CNI, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969**: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- BARANA, A. C. ; BOTELHO, V. M. B.; WIECHETECK, G. K.; DOLL, M. M. R.; SIMÕES, D. R. S. Rational use of water in a poultry slaughterhouse in the state of Paraná, Brazil: a case study. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 1, p. 171-178, jan./fev. 2014.
- BEDINGTON, J. Food security: Contributions from science to a new and greener revolution. **Philosophical Transactions of The Royal Society B**, v. 365, n. 1537, p. 61-71, 2010.
- BONTUS, S. R. S.; BOLONHESE, E. H. Padrões para água de reúso para fins não potáveis em indústria alimentícia e possibilidade de utilização em outros segmentos. **Revista Engenho**, v. 10, n. 6, p. 34-49, dez. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 1.428, de 26 de novembro de 1993. Aprova o regulamento técnico para inspeção sanitária de alimentos, as diretrizes para o estabelecimento de boas práticas de produção e de prestação de serviços na área de alimentos e o regulamento técnico para o estabelecimento de padrões de identidade e qualidade (PIQs) para serviços e produtos na área de alimentos. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 184-15, 2 dez. 1993.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria nº 711, de 1º de novembro de 1995. Normas técnicas de instalações e equipamentos para abate e industrialização de suínos. Alterada pela Portaria nº 1.304, de 07/08/2018. Alterada pela Portaria nº 155, de 17 de julho de 2016. **Diário Oficial da União**, 3 nov. 1995.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, p. 470, 9 jan. 1997b.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria nº 210 de 10 de novembro de 1998. Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiénico-sanitária de Carne de Aves. **Diário Oficial da União**, 26 nov. 1998.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 326 de 30 de julho de 1997. Dispõe sobre o Regulamento técnico sobre as condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos. **Diário Oficial da União**, 1997a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece listas de padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**, n. 249, 23 dez. 2019. Seção 1, p. 133-148.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 9 mar. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de procedimentos para implantação de estabelecimento industrial de pescado**: produtos frescos e congelados. Brasília, DF: Mapa: SEA/PR, 2007. 116 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 51, p. 86, 16 mar. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conjunto de normas legais**: recursos hídricos. 7. ed. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA. **Diário Oficial da União**, 30 mar. 2017a.

BRASIL. Ministério da saúde. Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, 2017b.

BUGALLO, P. M. B.; ANDRADE, R. C.; IGLESIAS, A. M.; LÓPEZ, R. T. Integrated environmental permit through best available techniques: evaluation of the fish and seafood canning industry. **Journal of cleaner production**, v. 47, p. 253-264, 2013.

CARAWAN, R. E. Processing Plant Waste Management Guidelines for Aquatic Fishery Products. In: CARAWAN, R. E. **Seafood and The Environment. Pollution Prevention Short Course**, v. 36, 1991. Disponível em: <https://p2infohouse.org/ref/02/01796.pdf>. Acesso: 15 jul. 2019.

CASANI, S.; LETH, T.; KNØCHEL, S. Water reuse in a shrimp processing line: Safety considerations using a HACCP approach. **Food Control**, v. 17, n. 7, p. 540-550, 2006.

CASANI, S.; ROUHANY, M.; KNØCHEL, S. A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry. **Water Research**, v. 39, n. 6, p. 1134-46, 2005.

CHOWDHURY, p.; VIRARAGHAVAN, T.; SRINIVASAN, A. Biological treatment processes for fish processing wastewater: a review. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 439-449, 2010.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. **Code of practice for fish and fishery products**. Rome: FAO, 2003.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Discussion paper on proposed draft guidelines for the hygienic reuse of processing water in food plants. In: JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME, 32., 1999, Washington, DC. **Report...** Rome: FAO, 1999.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Proposed draft guidelines for the hygienic reuse of processing water in food plants. In: JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME, 34., 2001, Bangkok. **Report...** Rome: FAO, 2001a.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Proposed draft guidelines for the hygienic reuse of processing water in food plants In: JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME, 34., 2001, Bangkok. **Report...** Rome: FAO, 2001b.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Report of the thirty-eighth session of the codex committee on food hygiene. In: JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME, 38., 2007, Rome. **Report...** Rome: FAO, 2007.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **O uso racional da água no comércio**. 2014. Disponível em: [http://www.sabesp.com.br/Sabesp/filesmng.nsf/DAE959570767BF59832575A800695933/\\$File/cartilha_uso_racional_agua.pdf](http://www.sabesp.com.br/Sabesp/filesmng.nsf/DAE959570767BF59832575A800695933/$File/cartilha_uso_racional_agua.pdf). Acesso em: 11 abr. 2016.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DOPARANÁ. **Uso e reúso da água**. Curitiba, 2010. (Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar).

DANTAS, D. L.; SALES, A. W. C. Aspectos ambientais, sociais e jurídicos do reúso da água. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 4-20, 2009.

DONG, H.; GENG, Y.; SARKIS, J.; FUJITA, T.; OKADERA, T.; XUE, B. Regional water footprint evaluation in China: a case of Liaoning. **Science of the Total Environment**, v. 442, p. 215-224, 2013.

DUANGPASEUTH, S.; DAS, Q.; CHOTCHAMLONG, N.; ARIUNBAATAR, J.; KHUNCHORNYAKONG, A.; PRASHANTHINI, V.; JUTIDAMRONGPHAN, W. Seafood Processing. **ED78.20**: industrial waste abatement and management. [S.l.]: School of Environment, Resource & Development, Asian Institute of Technology (AIT), 2007.

ENE, S. A. ; TEODOSIU, C.; ROBU, B.; VOLF, I. Water footprint assessment in the winemaking industry: a case study for a romanian medium size production plant. **Journal of Cleaner Production**, v. 43, p. 122-135, 2013.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Compilation of air pollutant emission factors**. Volume I: stationary point and area sources. [S.l.: s.n.], 1995.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for Water Reuse**. **AR-1530. EPA/600/R-12/618**. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency, 2012.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Water recycling and reuse: the environmental benefits. **Water Encyclopedia**, v. 2, p. 610-613, 2005.

ESPAÑA. Real Decreto 1620/2007 de 7 Diciembre, por el que se establece el Rregimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. **BOE**, Madri, n. 294. p. 50639-50661, 8 dez. 2007.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture**. Rome, 2010.

FERRACIOLLI, L. M. D. V.; LUIZ, D. de B.; SANTOS, V. R. V. dos; NAVAL, L. P. Reduction in water consumption and liquid effluent generation at a fish processing plant. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, pt. 1, p. 948-956, 2018.

FERRACIOLLI, L. M. . V. D.; LUIZ, D. de B.; NAVAL, L. P. Potential for reuse of effluent from fish-processing industries. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 5, p. 730-742, 2017.

FISH, R. D.; IORIS, A. A.; WATSON, N. M. Integrative water and agricultural management: collaborative governance for a complex policy problem. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 23, p. 5623-5630, 2009.

GARCIA, S. M. ; ZERBI, A.; ALIAUME, C.; DO CHI, T.; LASSERRE, G. The ecosystem approach to fisheries: Issues, terminology, principles, institutional foundations, implementation and outlook. Rome: FAO, 2003. 71 p. (FAO Fisheries Technical Paper, n. 443).

GEBAUER, R. Mesophilic anaerobic treatment of sludge from saline fish farm effluents with biogas production. **Bioresource Technology**, v. 93, n. 2, p. 155-167, 2004.

GRÉCIA. Joint Ministerial Decree (JMD) 145116/2011: definition of measures, conditions and procedure for wastewater reuse. **Greek Government Gazette**, n. 354B, 8 mar. 2011.

GUIMARÃES, J. T. SOUZA, A. L. M.; SANTA BRÍGIDA, A. I.; FURTADO, A. A. L.; CHICRALA, P. C. M. S.; SANTOS, V. R. V.; ALVES, R. R.; LUIZ, D. B.; MESQUITA, E. F. M. Quantification and characterization of effluents from the seafood processing industry aiming at water reuse: A pilot study. **Journal of Water Process Engineering**, v. 26, p. 138-145, 2018.

HADADIN, N. Water shortage in Jordan: sustainable solutions. **Desalination**, v. 250, n. 1, p., 2010.

HANCOCK, F. E. Catalytic strategies for industrial water re-use. **Catalysis Today**, v. 53, n. 1, p. 3-9, 1999.

HANJRA, M. A.; QURESHI, M. E. Global water crises and future food security in an era of climate change. **Food Policy**, v. 35, p. 365-377, 2010.

HIEN, P. G.; OANH, L. T. K.; VIET, N. T.; LETTINGA, G. Closed wastewater system in the tapioca industry in Vietnam. **Water Science Technology**, v. 39, n. 5, p. 89-96, 1999.

INAGAKI, J. M. F. **Avaliação da resistência térmica de Salmonella sp. em água de escaldagem do abate de suínos em função do pH e matéria orgânica**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado) — Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Paraná, Palotina, PR.

KAJENTHIRA, ; SIDDIQI, A.; ANADON, L. D. A new case for promoting wastewater reuse in Saudi Arabia: bringing energy into the water equation. **Journal of Environmental Management**, v. 102, p. 184-192, 2012.

KUCA, M.; SZANIAWSKA, D. Application of microfiltration and ceramic membranes for treatment of salted aqueous effluents from fish processing. **Desalination**, v. 241, n. 1-3, p. 227-235, 2009.

KUPUSOVIC, T. ; MIDZIC, S.; SILAJDZIC, I.; BJELAVAC, J. Cleaner production measures in small-scale slaughterhouse industry: case study in Bosnia and Herzegovina. **Journal of cleaner production**, v. 15, n. 4, p. 378-383, 2007.

LUIZ, D. B. ; SILVA, G. S.; VAZ, E. A. C.; JOSÉ, H. J.; MOREIRA, R. F. P. M. Evaluation of hybrid treatments to produce high quality reuse water. **Water Science & Technology**, v. 63, n. 9, p. 2046-2051, 2011.

MALINOWSKI, A. **Aplicação de metodologia para a estruturação de diretrizes para o planejamento do reúso de água no meio urbano**. 2006. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Paraná, Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Palotina, PR.

MANETTI, A. G. S. **Avaliação do potencial de reúso da água industrial oriunda de uma indústria processadora de peixe utilizando Aphanothece microscopia Nägeli**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) — Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS.

MASSOUD, M. A. ; FAYAD, R.; EL-FADEL, M.; KAMLEH, R. Drivers, barriers and incentives to implementing environmental management systems in the food industry: a case of Lebanon. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 3, p. 200-209, 2010.

MIYAKI, H. ; ADACHI, S.; SUDA, K.; KOJIMA, Y. Water recycling by floating media filtration and nanofiltration at a soft drink factory. **Desalination**, v. 131, n. 1-3, p. 47-53, 2000.

MSHANDETE, A. ; KIVAIISI, A.; RUBINDAMAYUGI, M.; MATTIASSON, B. Anaerobic batch co-digestion of sisal pulp and fish wastes. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 1, p. 19-24, 2004.

MURPHY, N. **Meat processing environmental impacts: environmental impacts from meat and fish processing**. [S.l.]: Waste Reduction Resource Center, 2006.

NALINI, J. R. **Ética ambiental**. 3. ed. Campinas, SP: Millenium, 2010.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Environmental Outlook to 2030**. [S.l.]: OECD Publishing, 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 7 nov. 2018.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Directrices sanitárias sobre el reúso de aguas residuales em agricultura y acuicultura**. Genebra, 1989. (Relatório da OMS nº 778).

OSTRENSKY, A.; BORGUETTI, J. R.; SOTO, D. (ed.). **Aquicultura no Brasil: o desafio é crescer**. Brasília, DF, 2008. 276 p.

PEREIRA, C. F. O. A ausência de marcos legais em matéria sanitária no Brasil: por uma bioética aplicada. **Fórum de Direito Urbano e Ambiental**, ano 9, n. 52, p. 18-23, jul./ago. 2010.

PROENCA, A. C.; NUNES, M. L.; BARATA, F. Clean technologies in sardine canning industry. **Proceedings of 30th WEFTA Plenary Meeting on the Faroe Islands**, p. 145-49, 2000.

RASO, J. **Update of the final report on wastewater reuse in the European Union**. Barcelona, Spain: TYPESA Consulting Engineers and Architects, 2013. Project: service contract for the support to the follow-up of the communication on water scarcity and droughts.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 7599 de 24 de maio de 2017. Dispõe sobre a obrigatoriedade de indústrias situadas no estado do Rio de Janeiro instalarem equipamentos de tratamento e reutilização de água. **Diário Oficial do estado do Rio de Janeiro**, 2017.

ROUTLEDGE, E. A. B.; ZANETTE, G. B.; FREITAS, L. E. L.; FERREIRA, F. M.; LIMA, E. C. Ações e desafios para a consolidação das políticas de PD&I em pesca e aquicultura. **Revista Parcerias Estratégicas**, v. 16, n. 32, p. 165-184, 2011.

SÁNCHEZ, I. M. R.; RUIZ, J. M. M.; LÓPEZ, J. L. C.; PÉREZ, J. A. S. Effect of environmental regulation on the profitability of sustainable water use in the agro-food industry. **Desalination**, v. 279, n. 1-3, p. 252-257, 2011.

SANTOS, E. A. **Implantação de ferramentas de gestão da qualidade dos alimentos em uma unidade de alimentação e nutrição institucional**: um estudo de caso. 2014. 161 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos) — Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG.

SOUSA, A. F. S. **Diretrizes para implantação de sistemas de reúso de água em condomínios residenciais no método APPCC**: análise de perigos e pontos críticos: estudo de caso Residencial Valville. Ed. rev. São Paulo: [s.n.], 2008. 176 p.

SOUZA, A. L. M.; GUIMARÃES, J. T.; SANTA BRIGIDA, A. I.; LUIZ, D. B.; FRANCO, R. M.; MESQUITA, E. F. M. Water management applied to the processing of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) and Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in a fish cold storage warehouse in Rio de Janeiro, Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 4, p. 1240-1248, 2018.

SOUZA, M. A.; VIDOTTI, R. M.; OLIVEIRA NETO, L. A. Redução no consumo de efluente gerado em abatedouro de tilápia do nilo através da implantação de conceitos de produção mais limpa (P+L). **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 2, p. 289-296, 2008.

THRANE, M.; NIELSEN, E. H.; CHRISTENSEN, P. Cleaner production in Danish fish processing: experiences, status and possible future strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 3, p. 380-390, 2009.

TIMOFIECSYK, F. R.; PAWLOWSKY, U. Minimização do uso de água na indústria de alimentos. **Brasil Alimentos**, v. 22, p. 25-28, 2003.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Cleaner production assessment in fish processing**. Paris, 2000. Disponível em: www.unep.org/shared/publications/pdf/2481-CPfish.pdf Acesso em: 30. jul. 2021.

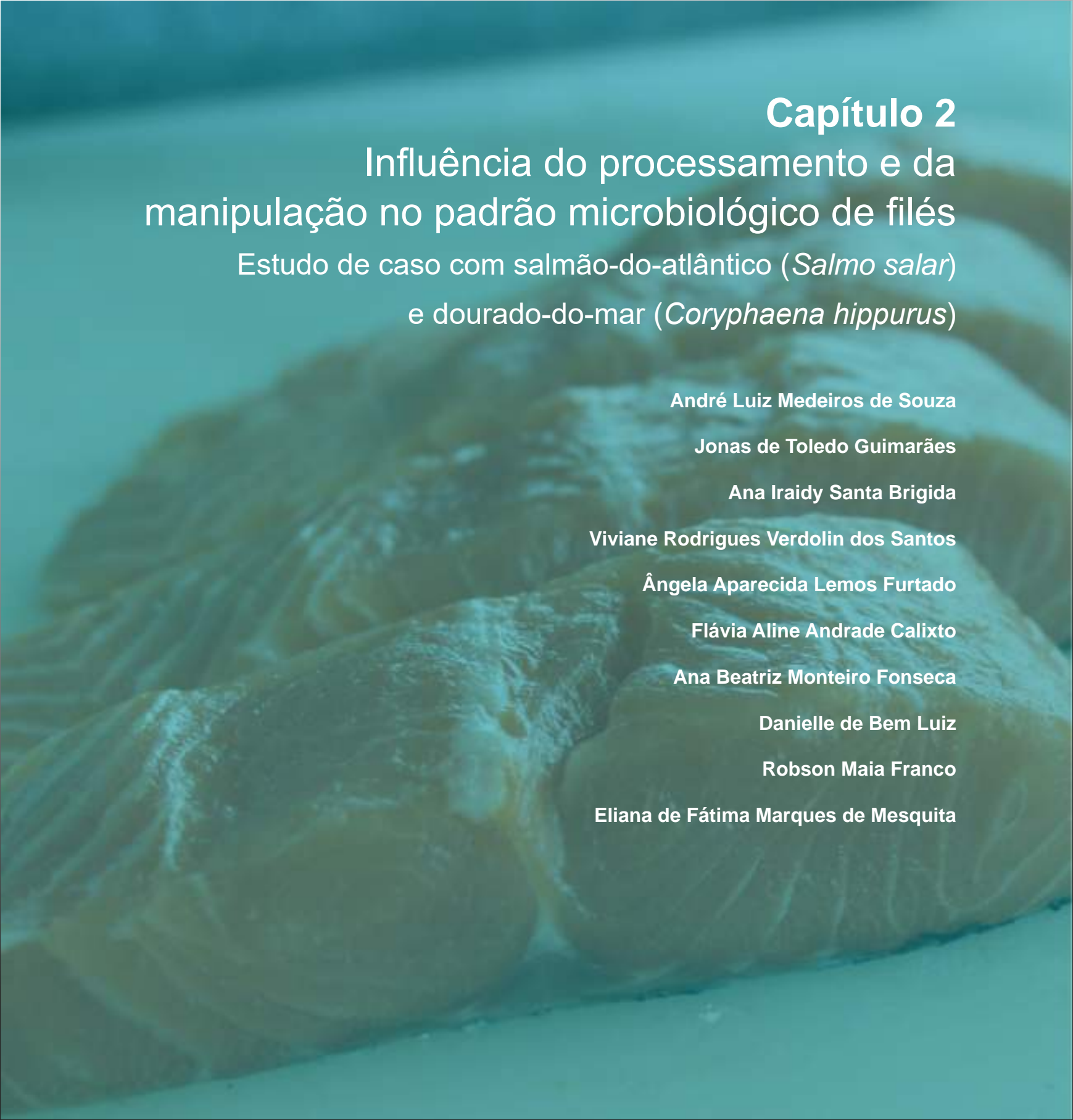
UTTAMANGKABOVORN, M.; PRASERTSAN, P.; KITTIKUN, A. H. Water conservation in canned tuna (pet food) plant in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 6, p. 547-555, 2005.

VAN HA, T. V.; ANANTH, A. P.; VISVANATHAN, C.; ANBUMOZHI, V. Techno policy aspects and socio-economic impacts of eco-industrial networking in the fishery sector: experiences from An Giang Province. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 14, p. 1272-1280, 2009.

VASCONCELOS, A. V.; SILVA, M. R. **Avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água de pequenos laticínios da região de Francisco Beltrão/PR**. 2012. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Alimentos) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão.

WAN ALWI, S.R. MANAN, Z. A.; SAMINGIN, M. H.; MISRAN, N. A holistic framework for design of cost-effective minimum water utilization network. **Journal of Environmental Management**, v. 88, n. 2, p. 219-252, 2008.





Capítulo 2

Influência do processamento e da manipulação no padrão microbiológico de filés

Estudo de caso com salmão-do-atlântico (*Salmo salar*)
e dourado-do-mar (*Coryphaena hippurus*)

André Luiz Medeiros de Souza

Jonas de Toledo Guimarães

Ana Iraidy Santa Brigida

Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos

Ângela Aparecida Lemos Furtado

Flávia Aline Andrade Calixto

Ana Beatriz Monteiro Fonseca

Danielle de Bem Luiz

Robson Maia Franco

Eliana de Fátima Marques de Mesquita

Introdução

O pescado, rico em proteínas, minerais, vitaminas e outros nutrientes, é um grupo altamente perecível de organismos aquáticos destinados ao consumo humano. A qualidade final do produto é dependente de uma série de características intrínsecas, como a elevada quantidade de água livre e nutrientes presentes no alimento, e extrínsecas ao animal (FAO, 2014). O tempo de armazenamento, refrigeração, manipulação e processamento inadequados são exemplos de fatores que favorecem alterações bioquímicas e/ou autolíticas promovidas pelo desenvolvimento de microrganismos, podendo representar riscos para a saúde do consumidor, principalmente quando o produto é consumido cru (Hamada-Sato et al., 2005).

Esses fatores implicam, diretamente, em uma preocupação maior com a qualidade higiênico-sanitária do alimento, pelo fato de a matriz alimentícia ser um veículo favorável para agentes microbianos patogênicos e/ou deteriorantes (Silva et al., 2008). Dados estimados por DeWall e et al., (2012) relataram que 12,5 % dos surtos de agentes etiológicos veiculados por alimentos ocorridos nos Estados Unidos no período de 1990 a 2008 foram decorrentes do consumo de pescado. No Brasil, no período de 2007 a 2016, o pescado representou 0,8 % dos alimentos ligados a surtos de agentes etiológicos (Brasil, 2016).

Um ponto importante durante toda a cadeia produtiva do pescado e, em especial, no beneficiamento do produto, é o controle da contaminação cruzada que pode ocorrer na área de manipulação a qualquer momento e promover prejuízos econômicos e à saúde coletiva. De acordo com dados nacionais, a manipulação e preparação inadequadas foram as principais causas da ocorrência de surtos provenientes de alimentos, em cerca de 40 % dos casos; outros fatores causais de importância foram a conservação inadequada, em 35 % dos casos, além do uso de matéria-prima imprópria, em aproximadamente 20 % das situações (Brasil, 2016).

Para garantir a segurança do pescado, indica-se um maior controle em toda a cadeia de processamento do produto, com a aplicação das Boas Práticas de Manipulação (BPMs), Boas Práticas de Fabricação (BPFs), Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) e Procedimentos Padrões de Higiene Operacional (PPHO), ferramentas de auxílio que impactam significativamente na redução de microrganismos e de contaminação cruzada. Recomenda-se, ainda, a realização periódica de análises microbiológicas, físico-químicas e sensoriais para a observação dos diferentes lotes de matéria-prima e dos produtos processados (FAO, 2010).

O termo “Boas Práticas Higiênico-Sanitárias” é aplicado aos processos, às condições e medidas necessários para garantir a segurança da matéria-prima ou alimento em todos os estágios da produção alimentar e é indicado para todo estabelecimento onde seja realizado alguma das seguintes operações: produção/fabricação, importação, manipulação, fracionamento, armaze-

namento, distribuição, venda para o consumo final e transporte de alimentos (São Paulo, 2006; FAO, 2010). De acordo com Silva Júnior (2001), as Boas Práticas Higiênico-Sanitárias, quando adequadamente praticadas, como higiene pessoal e dos utensílios; dos equipamentos e ambientes; prevenção da contaminação pelos manipuladores de alimentos; qualidade inicial da matéria-prima; controle de pragas; garantia da qualidade da água, além de cuidados com resíduos, ajudam a prevenir os perigos. Portanto, é de grande importância realizar avaliações microbiológicas periódicas em plantas industriais de beneficiamento de pescado para verificação da correta aplicação das Boas Práticas Higiênico-Sanitárias, de forma a garantir um produto seguro ao consumidor.

As espécies-alvo do presente estudo são de grande comercialização no mundo e, mais especificamente, no Brasil. Em 2014, a produção mundial de salmão-do-atlântico de cativeiro foi de 2.326.288 t, enquanto a captura de dourado atingiu 115.658 t (FAO, 2016a, 2016b). No Rio de Janeiro, o salmão foi apontado como o terceiro pescado importado mais comercializado nos supermercados em 2009. Nos últimos anos, o aumento da produção de salmão em cativeiro possibilitou a oferta constante e os preços mais acessíveis aos consumidores, o que, somado à expansão da culinária japonesa, popularizou seu consumo. O dourado foi apontado como um dos principais peixes comercializados nas Centrais de Abastecimento (Ceasa) do estado do Rio de Janeiro, totalizando 300 t semanais de outubro a dezembro de 2009 (Barroso; Wiefels, 2010).

Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar o impacto do processamento e da manipulação do salmão-do-atlântico (*Salmo salar*) e do dourado-do-mar (*Coryphaena hippurus*) na qualidade dos produtos beneficiados, por meio da realização de análises microbiológicas em dois pontos do fluxograma de processo de um entreposto de pescado no Rio de Janeiro, Brasil. Os dois pontos de avaliação, escolhidos em etapas anterior e posterior ao processamento do pescado, indicam as condições higiênico-sanitárias durante beneficiamento dos produtos.

Material e métodos

O estudo foi conduzido em um entreposto de pescado de grande escala localizado no estado do Rio de Janeiro, Brasil. Devido ao volume de produção na empresa e à representatividade no mercado brasileiro, foram selecionadas duas espécies-alvo de peixes marinhos, o salmão-do-atlântico (*Salmo salar*) e o dourado-do-mar (*Coryphaena hippurus*). O salmão, produzido em cativeiro no Chile, é importado previamente eviscerado pela empresa, enquanto o dourado, oriundo da pesca extrativista na costa brasileira, é adquirido inteiro (sem prévia evisceração) em grandes centros de abastecimento.

Para comparar a qualidade do produto destinado à produção de filés, foram realizadas coletas de pescado no recebimento da matéria-prima (ponto A e I) e após a finalização do processamento do produto (ponto B e II). Entre estas duas etapas, há grande manipulação da matéria-prima e alto consumo industrial de água, sendo, portanto, grandes fontes de contaminações. Assim, foram coletadas quatro amostras de pescado em quatro lotes diferentes para cada uma das etapas selecionadas, totalizando 32 amostras para cada espécie avaliada. Os resultados das análises foram comparados aos padrões microbiológicos (para pescados crus frescos, resfriados ou congelados) estabelecidos na RDC no 331/2019 (Brasil, 2019a), na IN nº 60 (Brasil, 2019b), na norma da *International Commission on Microbiological Specifications for Foods* (ICMSF, 1986) de acordo com a Tabela 1, considerando apenas os limites para plano de duas classes.

Tabela 1. Padrões microbiológicos para pescado fresco, resfriado ou congelado.

Micro-organismos	Limite microbiológico aceitável	Referência
<i>Salmonella spp.</i>	Ausente em 25g	Brasil (2019b)
Estafilococos coagulase positiva	1x10 ² UFC/g	Brasil (2019b)
<i>Escherichia coli</i> para Produtos não consumidos crus	5x10 UFC/g	Brasil (2019b)
<i>Escherichia coli</i> , para produtos consumidos crus	1x10 UFC/g	Brasil (2019b)
Bactérias Heterotróficas Aeróbias Mesófilas (BHAM)	5x10 ⁵ UFC/g	ICMSF (1986)
<i>Escherichia coli</i>	1,1x10 UFC/g	ICMSF (1986)

Os pontos de coletas amostrais foram:

- Para o salmão-do-atlântico, no recebimento da matéria-prima (fresca eviscerada) (Figura 1, ponto A); e no produto final, antes de ser embalado (filé fresco com pele e sem espinhas) (Figura 1, ponto B).
- Para o dourado-do-mar, após a etapa de descongelamento (produto descongelado inteiro por 12 horas) (Figura 2, ponto I); e após a etapa de evisceração e lavagem (filé resfriado com pele) (Figura 2, ponto II).

As Figuras 1 e 2 apresentam os fluxogramas de processamento do salmão e do dourado, com a indicação dos pontos de coleta de amostras para análise microbiológicas em cada beneficiamento correspondente.

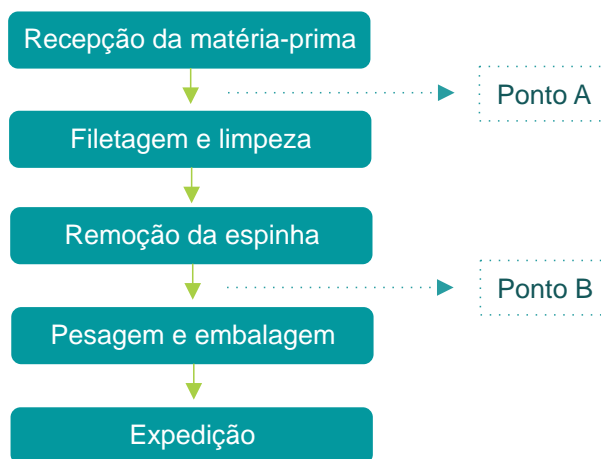


Figura 1. Fluxograma de processamento do salmão para a produção de filé sem espinhas e indicação dos pontos de coleta A e B.

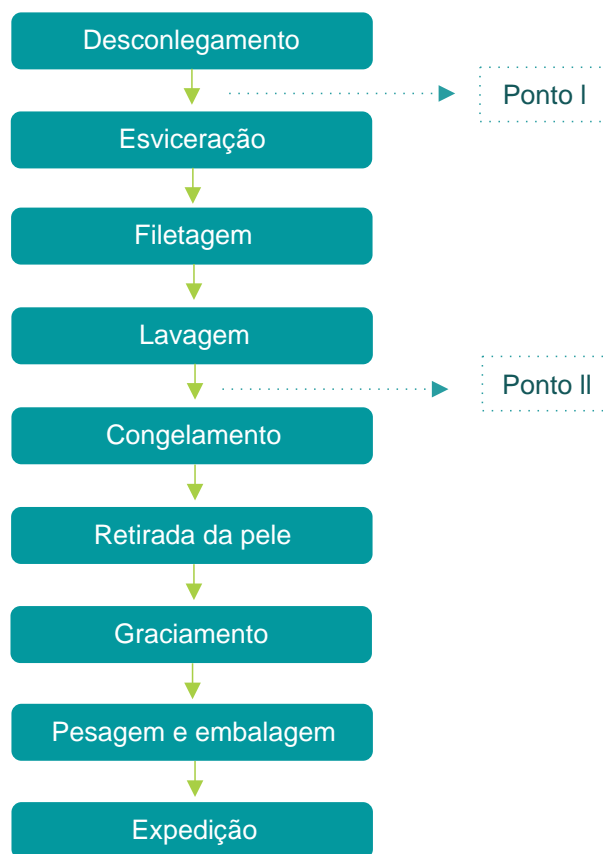


Figura 2. Fluxograma de processamento do dourado para a produção de filé congelado sem pele e indicação dos pontos de coleta I e II.

De cada peixe selecionado aleatoriamente, retirou-se uma amostra de 200 g do dorso e do ventre do animal, com auxílio de material de corte previamente esterilizado, com posterior acondicionamento em uma sacola estéril autoclavável, como observado nas Figuras 3 e 4. Após o fechamento hermético das sacolas com o auxílio de lacres e adequada identificação, as amostras foram acondicionadas em caixas de poliestireno expandido com quantidade suficiente de gelo, atingindo temperaturas inferiores a 5 °C e transportadas para o Laboratório de Controle Microbiológico de Produtos de Origem Animal, do Departamento de Tecnologia dos Alimentos da Universidade Federal Fluminense, para a realização das análises bacteriológicas, em tempo inferior a 5 horas (ICMSF, 1986; American Public Health Association, 1992).



Foto: André Luiz Medeiros de Souza.

Figura 3. Foto demonstrativa da coleta amostral de 200 g de filé de salmão fresco com pele e sem espinhas (ponto B).



Foto: André Luiz Medeiros de Souza.

Figura 4. Foto demonstrativa da coleta amostral de 200 g de dourado descongelado inteiro (ponto I).

Em cada amostra foram avaliadas a contagem de *Salmonella* spp., de Bactérias Heterotróficas Aeróbias Mesófilas (BHAM), de *Staphylococcus aureus*, de coliformes totais e *Escherichia coli*, em triplicata, utilizando-se o método de Petrifilm™ 3M (Figura 5). Foram preparadas as unidades analíticas correspondentes a 10 g de amostra do pescado, diluídas em 90 mL de solução salina peptonada a 0,1 % (SSP) perfazendo as primeiras diluições (10^{-1}), a partir das quais foram transferidos, sequencialmente, 1 mL de cada para tubos com 9 mL de SSP 0,1 % até obtenção da diluição 10^{-3} .

De cada diluição realizada, foram transferidas, com auxílio de uma pipeta, alíquotas de 1 mL para as placas Petrifilm™ 3M correspondentes às contagens de BHAM, *S. aureus*, coliformes totais e *E. coli* (meio vermelho violeta bile lactose com indicador específico para *E. coli*); procedendo-se à incubação dos filmes semeados em estufas a 35-37 °C por 24 horas, conforme recomendações do fabricante.

Excepcionalmente para a pesquisa de *Salmonella* spp., utilizando a metodologia Petrifilm™ 3M, amostras de 25 g de pescado foram pré-enriquecidas em 225 mL de solução de Suplemento para Enriquecimento 3M, incubadas em estufas a 41,5 °C por 24 horas, e inoculadas em tubos com caldo de enriquecimento seletivo Rappaport Vassilliardis (incubação a 41,5 °C por 24 ho-

ras). Posteriormente, foram semeadas alíquotas de 1 mL em placas Petrifilm™ 3M *Salmonella* Express (SALX) e incubadas em estufas a 41,5 °C por 24 horas (3M Food Safety Method, 2013; 3M Petrifilm™, 2013a; 3M Petrifilm™, 2013b; 3M Petrifilm™, 2013c).

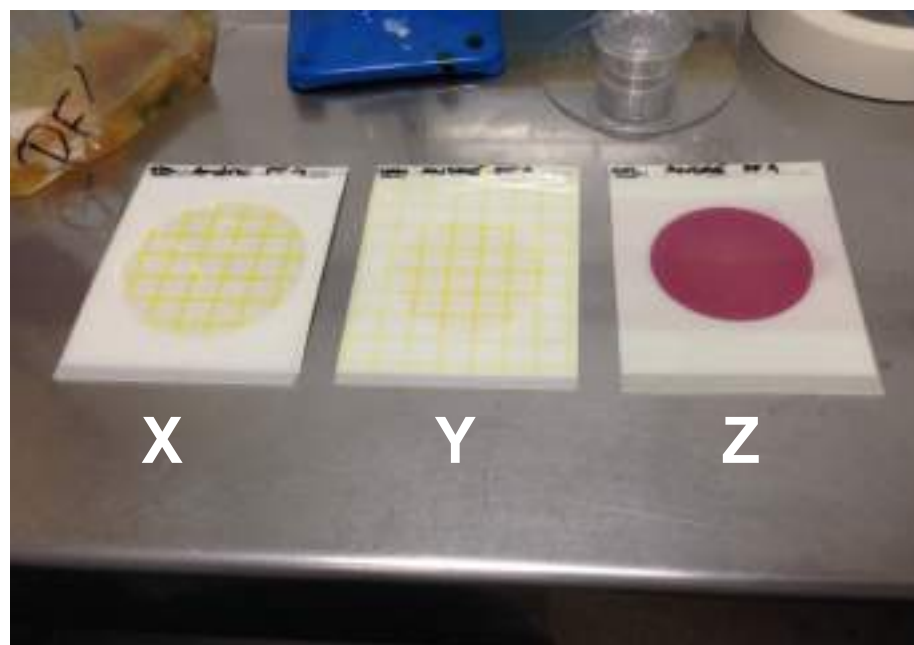


Foto: André Luiz Medeiros de Souza.

Figura 5 . Exemplos ilustrativos de placas 3M após a inoculação de alíquotas (X: Placa 3M para contagem de *S. aureus*; Y: Placa 3M para contagem de Aeróbios; Z: Placa 3M para contagem de *E. coli* e coliformes totais).

Os critérios para selecionar as bactérias a serem analisadas foram: a importância na saúde coletiva, a significância quanto à qualidade higiênico-sanitária e a contaminação humana durante beneficiamento. Para comparação dos resultados obtidos no presente trabalho com limites microbiológicos, utilizaram-se os padrões descritos na Tabela 1. Vale citar que embora as legislações consultadas considerem a análise de *S. coagulase* positiva, no presente estudo procedeu-se à contagem especificamente de *S. aureus* pelo método da 3M, uma vez que a bactéria *S. aureus* é coagulase positiva (Franco, 2012). O padrão microbiológico internacional da ICMSF (1986) também foi utilizado, pois alguns limites não são abordados nas leis brasileiras, como é o caso das bactérias heterotróficas aeróbias e mesófilas (BHAM). Quanto aos coliformes totais, não foi encontrado um padrão microbiológico nacional ou internacional pré-estabelecido para o pescado, uma vez que estes microorganismos são indicadores de contaminação ambiental de forma geral, e estes coliformes foram estudados apenas para avaliar o grau de higiene durante o processamento do pescado.

As comparações entre as contagens microbiológicas da matéria-prima in natura e o produto final foram avaliadas por teste não paramétrico de Wilcoxon, enquanto a comparação entre os resultados para amostras de salmão e dourado foi realizada por teste não paramétrico de Mann-Whitney. O significado estatístico foi indicado por $p \leq 0,05$ (Vieira 2010).

Resultado

A Tabela 2 apresenta os resultados médios e o desvio padrão (DP) das análises bacteriológicas para as amostras de pescado investigadas. Os valores obtidos em todas as amostras analisadas estavam em conformidade aos padrões estabelecidos pelas legislações nacional e internacional (ICMSF, 1986; Brasil, 2019b), com exceção das contagens de *S. aureus* no produto final de dourado. Em ambas as espécies não foram encontradas colônias confirmativas de *E. coli* e *Salmonella* spp.

Tabela 2. Resultados das análises bacteriológicas em amostras de salmão e dourado coletados no recebimento da matéria-prima (pontos A/I) e no produto final (pontos B/II)¹.

Micro-organismos	Salmão		Dourado	
	Fresco eviscerado (Ponto A)	Filé fresco com pele e sem espinhas (Ponto B)	Descongelado inteiro (Ponto I)	Filé resfriado com pele (Ponto II)
<i>E. coli</i>	ND ($\leq 1,5 \times 10$)	ND ($\leq 1,5 \times 10$)	ND ($\leq 1,5 \times 10$)	ND ($\leq 1,5 \times 10$)
Coliformes totais	ND ($\leq 1,5 \times 10$) ^{Aa}	$4,0 \times 10 \pm 4,1 \times 10$ ^{Ba}	$2,2 \times 10 \pm 2,9 \times 10$ ^{Ab}	$5,5 \times 10 \pm 4,1 \times 10$ ^{Ba}
<i>Salmonella</i> spp.	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
<i>S. aureus</i>	$4,3 \times 10 \pm 3,2 \times 10$ ^{Aa}	$3,9 \times 10 \pm 4,8 \times 10$ ^{Aa}	$1,8 \times 10 \pm 2,8 \times 10$ ^{Ab}	$1,7 \times 10^2 \pm 1,3 \times 10^2$ ^{Bb}
BHAM	$1,2 \times 10^4 \pm 8,0 \times 10^3$ ^{Aa}	$3,1 \times 10^3 \pm 1,6 \times 10^3$ ^{Ba}	$1,2 \times 10^3 \pm 1,1 \times 10^3$ ^{Ab}	$7,7 \times 10^3 \pm 1,8 \times 10^3$ ^{Bb}

¹Os resultados são apresentados em UFC/g. Os valores são as médias \pm o desvio padrão.

ND = não detectado

^{A; B} = Letras maiúsculas diferentes na mesma linha, para a mesma espécie de peixe, representam diferença estatística entre a matéria-prima e o produto final, de acordo com teste não paramétrico de Wilcoxon ($p \leq 0,05$).

^{a; b} = Letras minúsculas diferentes na mesma linha, para pontos de coleta semelhantes (Ponto A x I e B x II), representam diferença estatística entre salmão e dourado, de acordo com teste não paramétrico de Mann-Whitney ($\leq 0,05$).

Ao analisar os resultados de contagem microbiana nas matérias-primas e nos produtos finais, os resultados da contagem de *S. aureus* variaram entre $1,8 \times 10$ a $1,7 \times 10^2$ UFC/g, entre $1,2 \times 10^3$ a $1,2 \times 10^4$ UFC/g para BHAM e entre $\leq 1,5 \times 10$ a $5,5 \times 10$ UFC/g para coliformes totais. Por outro lado, não foram detectadas as bactérias *E. coli* e *Salmonella* spp.

Para o processamento de salmão, houve diferença significativa entre os pontos A e B apenas para coliformes totais (ND vs. $4,0 \times 10$ UFC/g) e BHAM ($1,2 \times 10^4$ vs. $3,1 \times 10^3$) ($p < 0,05$), porém, o aumento na contagem dessas bactérias não ultrapassou os limites estabelecidos na Tabela 1. Além disso, a contagem de BHAM apresentou um decréscimo após o processamento, indicando uma eficiência na manipulação.

Para as amostras de dourado, observou-se um aumento da quantidade de bactérias nos produtos finais (Ponto II, Figura 2) quando comparados à matériaprima in natura (Ponto I, Figura 2) nas contagens de coliformes totais, *S. aureus* e BHAM ($p < 0,05$), indicando falhas na manipulação higiênica e processamento deste produto. Os coliformes totais aumentaram de $2,2 \times 10$ para $5,5 \times 10$ UFC/g ($p < 0,05$), o *S. aureus* aumentou de $1,8 \times 10$ para $1,7 \times 10^2$ UFC/g ($p < 0,05$) e as BHAM aumentaram de $1,2 \times 10^3$ para $7,7 \times 10^3$ UFC/g ($p < 0,05$).

A água de abastecimento do entreposto era constantemente avaliada pelo estabelecimento e apresentou ausência de coliformes totais e de *E. coli*, além de valores de $1,5 \text{ mg/L} \pm 0,5 \text{ mg/L}$ na contagem de cloro residual livre durante os três meses avaliados (dados não apresentados), sendo todos esses valores dentro dos padrões estipulados pela legislação nacional (Brasil, 2019b).

Discussão

Para as amostras de salmão-do-atlântico avaliadas, as contagens de coliformes totais apresentaram um aumento significativo ($p < 0,05$) do produto final quando comparado à matéria-prima fresca, enquanto as contagens de BHAM mostraram o oposto, aproximadamente 75 % de redução significativa ($p < 0,05$) de BHAM do produto processado em relação à matéria-prima fresca. Por outro lado, as contagens de *S. aureus* não apresentaram redução significativa no produto final quando comparado à matéria-prima fresca ($p \geq 0,05$), o que pode não ser desejável no nível da segurança do alimento. Deve-se enfatizar que o uso adequado de boas práticas de manejo e água hiperclorada durante o processamento influencia a redução da carga microbiana entre os produtos frescos e os produtos finais processados (Germano; Germano, 2011).

Enquanto isso, após o processamento do dourado-do-mar, foram observados aumentos significativos ($p < 0,05$) de cerca de 59 % nos coliformes totais, 84 % em BHAM e, aproximadamente, 89 % em *S. aureus* na comparação com as contagens obtidas antes do beneficiamento de dourado. O aumento nos valores de *S. aureus* pode ser indicativo de contaminação proveniente da pele, boca e narinas dos manipuladores dos peixes, bem como da limpeza inadequada de materiais e equipamentos. O fato de apenas no processamento do dourado ter tido um aumento significativo de *S. aureus* pode indicar uma necessidade maior de cuidados com a manipulação desse tipo de produto.

No caso da contagem de coliformes totais e termotolerantes, o aumento poderia ser avaliado como contaminação pós-sanitização ou pós-processamento, sendo interpretado como práticas inadequadas de higiene e sanitização (Siqueira, 1995). Mesmo assim, ambos os produtos se apresentaram aptos para consumo e com boa qualidade bacteriológica, uma vez que os resultados observados indicam níveis bacterianos relativamente inferiores em comparação aos limites estabelecidos na legislação brasileira (Brasil, 2019b) e em padrões internacionais de referência (ICMSF, 1986) para o pescado avaliado.

Deve-se notar que a legislação brasileira atual (Brasil, 2019b) não apresenta um padrão específico para as contagens de BHAM. De acordo com o ICMSF (1978), a contagem de BHAM reflete a qualidade geral dos produtos e também pode ser utilizada para avaliar a eficiência nos processos de manipulação e armazenamento. Níveis superiores a 10^6 UFC/g pode indicar armazenamento prolongado em temperaturas refrigeradas ou armazenamento em altas temperaturas antes do congelamento, o que não foi observado em ambas as espécies do presente estudo. Portanto, a detecção de BHAM é um bom indicador da aplicação das Boas Práticas Higiênicas e de Fabricação, apesar de não indicar, necessariamente, um risco para a saúde do consumidor.

Uma possível explicação para os baixos valores e/ou ausência de algumas bactérias pesquisadas no presente estudo é o correto armazenamento da matéria-prima *in natura* e dos produtos finais em baixas temperaturas (de 0 °C a 5 °C para salmão e abaixo de -1 °C para o dourado), o que dificulta o crescimento de grande parte das bactérias, como *Salmonella* spp. e *E. coli*. Segundo Franco e Landgraf (2003), dependendo do sorotipo, a *Salmonella* spp. apresenta crescimento em temperaturas entre 5 °C a 47 °C e a *E. coli*, entre 7 °C a 46 °C. Nespolo et al. (2009), ao avaliar a contaminação de salmão comercializado em comércio varejista de São Paulo, encontraram valores entre 10^1 a 10^6 UFC/g na contagem de bactérias heterotróficas mesófilas e ausência de detecção de coliformes totais e termotolerantes em 67,74 % e 80,64 % das amostras analisadas de salmão, respectivamente, assemelhando-se aos dados obtidos no presente estudo.

Leisner et al. (2014) apresentaram resultados similares a Nespolo et al. (2009) e aos obtidos no presente estudo. Em avaliação da qualidade microbiológica, em dois produtos contendo salmão e comercializados em restaurantes japoneses na Dinamarca, foram observados valores de $6,12 \times 10$ a $8,75 \times 10$ UFC/g na contagem de aeróbios; até $3,6 \times 10$ UFC/g na contagem de *E. coli* e resultados de $< 3 \times 10$ a $4,8 \times 10$ UFC/g de *S. aureus*. Porém, é possível encontrar relatos na literatura, como os mostrados a seguir, em que os autores observaram a comercialização do salmão fora dos padrões microbiológicos, o que causa ainda mais preocupação por ser uma espécie comumente consumida crua, como no caso da culinária japonesa.

Hansen et al. (1998), em estudo comparativo da qualidade de produtos de salmão refrigerados e defumados em três plantas de beneficiamento dinamarquesas, observaram valores de 10^1

a 10^6 UFC/g na contagem de enterobactérias, que inclui *Salmonella* spp., coliformes totais e *E. coli*, e de 10^3 a 10^8 UFC/g na contagem de bactérias mesófilas. Em Portugal, Miguéis et al. (2015) observaram que 63,93 % das amostras coletadas de 23 restaurantes japoneses foram classificadas como insatisfatórias por apresentarem altos níveis de mesófilos, Enterobacteriaceae, *S. aureus*, *Bacillus cereus* e fungos. Montanari et al. (2015), na avaliação de sashimis de salmão comercializados em restaurantes japoneses em JiParaná, Rondônia, relataram que dois estabelecimentos comercializavam produtos com níveis elevados de coliformes termotolerantes, sendo considerados fora dos padrões sugeridos pela legislação brasileira.

Em relação aos resultados no dourado-do-mar, observam-se similaridades na qualidade do produto com outros estudos da literatura utilizando a mesma matéria-prima. Por exemplo, Boiteanu et al. (2014) concluíram que filés de dourado comercializados em mercados alemães mostravam bom estado microbiológico para consumo, assim como no presente estudo (Tabela 2, Ponto II). Lin et al. (2014) conduziram uma análise bacteriológica de filés e produtos secos de dourado comercializados em mercados na Tailândia e que apresentaram baixa contagem de aeróbios ($4,9 \times 10$ a $8,4 \times 10$ UFC/g nos filés e $5,6 \times 10$ a $9,4 \times 10$ UFC/g no produto seco), o que indica boa qualidade na higienização de equipamentos e estruturas usadas no beneficiamento do pescado. Porém, nesse mesmo estudo, os autores encontraram elevadas contagens de coliformes totais e de *E.coli*, de < 3 a 1650 NMP/g e < 3 a 45 NMP/g nos filés e < 3 a 5900 NMP/g e < 3 a 2500 NMP/g nos produtos secos. Esses valores foram superiores aos coliformes totais no filé de dourado analisado no presente estudo (Tabela 2). Quintero et al. (2012) encontraram contagens de até 10^6 UFC/g de bactérias aeróbias mesófilas em filés de dourado coletados em um mercado no México. Esses valores foram superiores aos encontrados nos Pontos I e II (Tabela 2), indicando uma manipulação adequada na linha de processamento observada no presente estudo.

Comparando os resultados bacteriológicos das duas espécies de peixes frescas (Ponto A e Ponto I), foram observadas maiores cargas bacterianas no salmão do que no dourado descongelado, especialmente em relação ao *S. aureus* e BHAM ($p < 0,05$), fato que pode ser explicado pela maior manipulação realizada no salmão, que é recebido já eviscerado no entreposto (processado previamente em empresas chilenas de beneficiamento). Enquanto isso, o dourado é oriundo de pesca extrativista praticada na costa brasileira, sendo recebido na forma inteira, sem sofrer processamento prévio e recebido congelado no entreposto estudado.

Após o processamento de ambas as espécies (Ponto B e Ponto II), observou-se que o produto final do salmão obteve cargas bacterianas mais baixas para *S. aureus* e BHAM ($p < 0,05$), indicando que o processamento desse produto no entreposto é mais eficiente que do dourado, pensando nas Boas Práticas de Manipulação.

De acordo com os fluxogramas de processamento do salmão e do dourado (Figuras 1 e 2), as maiores diferenças estão no processo de evisceração do dourado, que é realizado na própria empresa, enquanto a evisceração do salmão é previamente realizada em outra indústria; e no processo de remoção de espinhas do salmão, que não entra no fluxograma do dourado, e utiliza bastante água hiperclorada. Portanto, as diferenças no processamento destas duas espécies podem estar influenciando a contaminação final do produto e isto deve ser levado em consideração no momento de estudar e aplicar as Boas Práticas de Fabricação em produtos diferentes.

Conclusão

Este estudo avaliou o impacto do processamento e manipulação durante a elaboração de produtos de pescado de espécies diferentes (salmão-do-atlântico e dourado-do-mar) nas suas qualidades microbiológicas. Os resultados mostraram que houve diferença na contaminação microbiana de acordo com o produto que estava sendo elaborado, indicando que o tipo de processamento e as etapas realizadas em cada fluxograma podem influenciar na qualidade final do produto. De forma geral, a matéria-prima do salmão apresentou-se mais contaminada que a do dourado, porém, ao longo do processamento, o dourado aumentou sua contaminação enquanto a do salmão se manteve e até diminuiu. Esta diferença pode estar relacionada aos procedimentos de evisceração, realizado apenas no dourado, e de retirada de espinhas, realizado apenas no salmão.

Portanto, apesar de os mesmos funcionários terem feito ambos os processamentos, do dourado e do salmão, sendo treinados para Boas Práticas Higiênicas, pode-se sugerir que estas práticas sejam mais voltadas para cada espécie/matéria-prima/produto de pescado utilizado. Sugere-se também realizar com maior periodicidade treinamento e cursos de BPF e BPM para os colaboradores, assim como a realização de análises bacteriológicas periódicas para melhor controle do processamento.

Referências

3M FOOD SAFETY METHOD. **3MTM Petrifilm™ Salmonella Express System**: Easier *Salmonella* Detection, Faster Confirmation. It's about time. São Paulo, 2013. 18 p.

3MPETRIFILM™. **Placa para contagem de aeróbios**. São Paulo, 2013a. 8 p.

3MPETRIFILM™. **Placa para contagem de E. coli e Coliformes**. São Paulo: 2013b. 12 p.

3MPETRIFILM™. Placa Petrifilm™ Staph **Express para contagem expressa de Staphylococcus aureus**. São Paulo, 2013c. 6 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 331, de 23 de dezembro de 2019a. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. **Diário Oficial da União**, n. 249, 23 dez. 2019a. Seção 1, p. 96.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece listas de padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**, n. 249, 23 dez. 2019b. Seção 1, p. 133-148.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 3. ed. Washington, D.C.: APHA, 1992. cap. 2, p. 25-48.

BARROSO, R. M.; WIEFELS, A. C. **O mercado de pescado na região metropolitana do Rio de Janeiro**. Uruguai: INFOPECA, 2010. 103 p.

BOITEANU, C. N.; KARL, M. M.; KARL, H.; MEYER, C.; SAVU, C. Proximate Composition, Microbiological quality and sensory attributes of Mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) and Emperor Sea Bream (*Lethrinus* spp.) fillets sold on retail market. **Bulletin UASVM Food Science and Technology**, v. 71, n. 2, p. 893-95, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 dez. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Surtos de doenças transmitidas por alimentos no Brasil**. Apresenta dados epidemiológicos no Brasil entre 2007 a 2016. Brasília, DF, 2016.

DEWAAL, C. S.; ROBERS, C.; CATELLA, C. **Outbreak alert 1999–2008**. Washington, D.C.: CSPI, 2012.

FAO. Good practices for the feed industry: implementing the Codex alimentarius code of practice on good animal feeding. **FAO Animal Production and Health Manual**, n. 9, 2010.

FAO. Assessment and management of seafood safety and quality: current practices and emerging issues. **FAO Technical Paper**, n. 574, 2014.

FAO. **Species Facts Sheets**: –*Salmo salar* (Linnaeus, 1758). Rome, 2016a.

FAO. **Species Facts Sheets** –*Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758). 2016.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2003. 182 p.

FRANCO, R. M. **Atlas de microbiologia de alimentos**. Rio de Janeiro: Stampapa, 2012. 228 p.

GERMANO, P. M. L.; GERMANO, M. I. S. **Higiene e vigilância sanitária dos alimentos**. 4. ed. São Paulo: Manole, 2011. 1088 p.

HAMADA-SATO, N.; USUI, K.; KOBAYASHI, T.; IMADA, C.; WATANABE, E. Quality assurance of raw fish based on HACCP concept. **Food Control**, v. 16, n. 4, p. 301-307, 2005.

HANSEN, L. T.; RONTVED, S. D.; HUSS, H. H. Microbiological quality and shelf life of cold-smoked salmon from three different processing plants. **Food Microbiology**, Rome, n. 15, p. 137-150, 1998.

ICMSF. **Microorganisms in foods**. 1: their significance and methods of enumeration. 2. ed. Toronto: University of Toronto Press, 1978.

ICMSF. **Microorganisms in foods**. 2: Sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications. 2. ed. Toronto: University of Toronto Press, 1986.

LEISNER, J. J.; LUND, T. B.; FRANDSEN, E. A.; ANDERSEN, N. B. E.; FREDSLUND, L.; NGUYEN, V. P. T.; KRISTIANSEN, T. What consumers expect from food control and what they get: a case study of the microbial quality of sushi bars in Denmark. **Food Control**, v. 45, p. 76-80, 2014.

LIN, C. S.; TSAI, H.-C.; LIN, C.-M.; HUANG, C.-Y.; KUNG, H.-F.; TSAI, Y.-H. Histamine content and histamine-forming bacteria in mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) fillets and dried products. **Food Control**, v. 42, p. 165-171, 2014.

MIGUÉIS, S.; SANTOS, C.; SARAIVA, C.; ESTEVES, A. Evaluation of ready to eat sashimi in northern Portugal restaurants. **Food Control**, v. 47, p. 32-36, 2015.

MONTANARI, A. S. et al. Avaliação da qualidade microbiológica de sashimis de salmão, preparados e comercializados em restaurantes japonês no município de JiParaná – RO. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 2, n. 1, p. 4-16, 2015.

NESPOLO N. M. et al. Características microbiológicas de salmão (*Salmo salar*) comercializado em algumas cidades do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 25., 2009, Porto de Galinhas, PE. **Resumo em congresso**. Porto de Galinhas, : [s.n.], 2009.

QUINTERO, G. B.; RAMÍREZ DE LEÓN, J. A.; RUIZ, J. A. C.; HUMARAN, I. L. S.; INZUNZA, J. R. R. Contenido de histamina y calidad microbiológica de pescado comercializado en Mazatlán, Sinaloa. **Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud**, v. 14, n. 1, p. 3-12, 2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria Municipal de Saúde. Portaria SMS-G no 1210, de 02 de agosto de 2006. Aprova o Regulamento Técnico de Boas Práticas na Produção de Alimentos. **Diário Oficial [do] Município de São Paulo**, 3 ago. 2006.

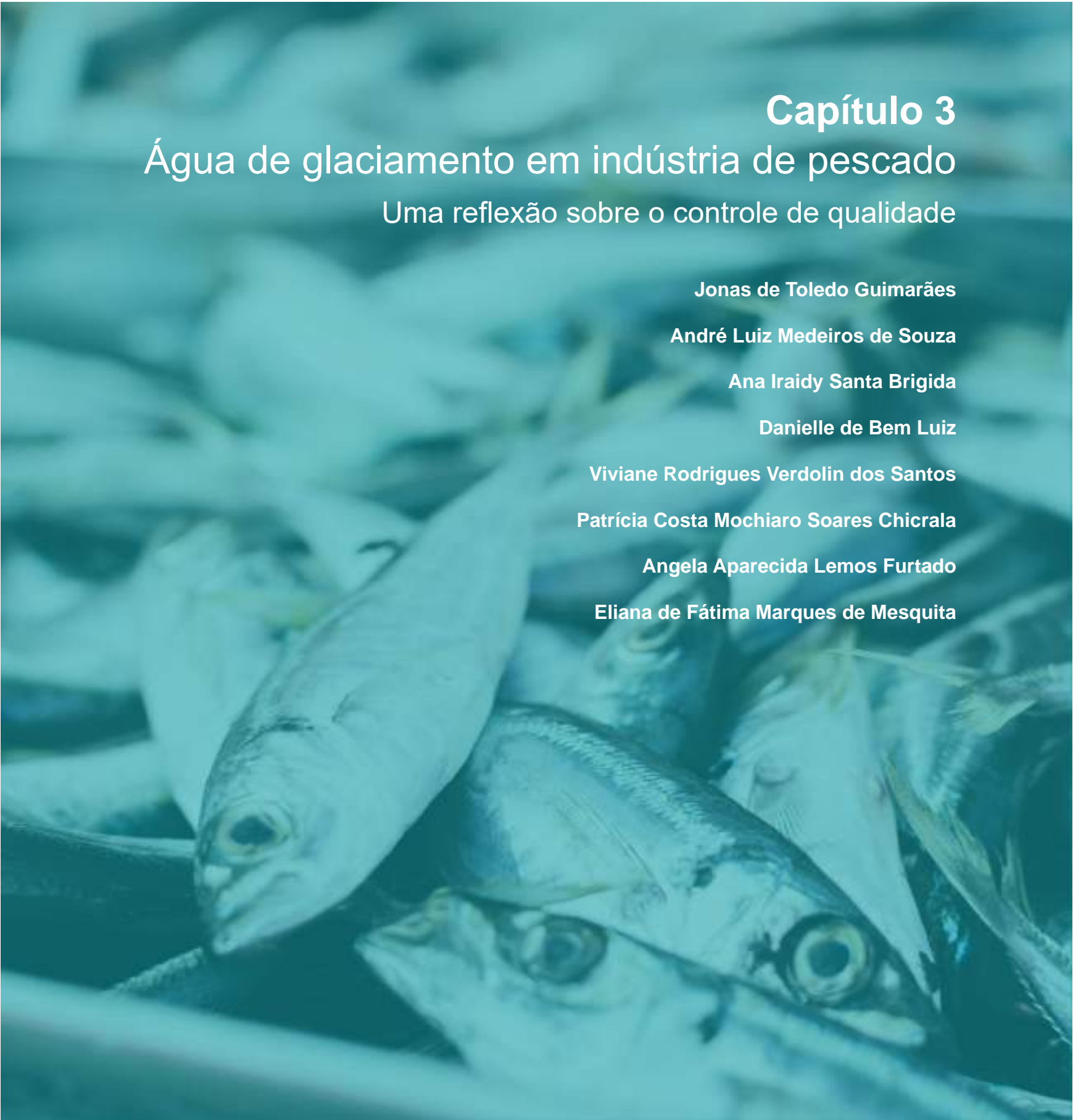
SILVA JUNIOR, E. A. **Manual de controle higiênico-sanitário em alimentos**. 4. ed. São Paulo: Varela, 2001. 475 p.

SILVA, M. L.; MATTÉ, G. R.; MATTÉ, M. H. Aspectos sanitários da comercialização de pescado em feiras livres da cidade de São Paulo, SP/Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 67, n. 3, p. 208-214, set. 2008.

SIQUEIRA, R. S. **Manual de microbiologia de alimentos**. Brasília, DF: EMBRAPA – CTAA/SPI, 1995. 159 p.

VIEIRA, S. **Bioestatística**: tópicos avançados. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 288 p.





Capítulo 3

Água de glaciamento em indústria de pescado

Uma reflexão sobre o controle de qualidade

Jonas de Toledo Guimarães

André Luiz Medeiros de Souza

Ana Iraidy Santa Brigida

Danielle de Bem Luiz

Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos

Patrícia Costa Mochiaro Soares Chicrala

Angela Aparecida Lemos Furtado

Eliana de Fátima Marques de Mesquita

Introdução

Os produtos à base de pescado são altamente perecíveis devido ao alto teor de água nos tecidos e à presença de macrocomponentes facilmente digeríveis. Além da rápida deterioração, o pescado passa por perdas pós-processamento, ocasionadas pelo crescimento microbiano e reações bioquímicas que são agravadas pelas altas temperaturas de conservação (Al-Busaidi et al., 2016). O objetivo deste estudo foi avaliar as características da água usada durante a etapa de congelamento de diversos produtos congelados de pescado em uma planta de processamento, com vistas à produção de pescado congelado de alta qualidade no Brasil.

A conservação de produtos alimentícios, principalmente os de degradação rápida como carnes e derivados, precisa de meios que mantenham ou evitem alterações em sua qualidade, seja sensorial, nutricional ou em relação à segurança do alimento. As alterações são produzidas por causa das alterações microbianas, químicas e físicas (Huss, 1995).

A manutenção do frescor e da qualidade do pescado é mais difícil em relação aos outros tipos de carne (Venugopal, 2006). Dentre os métodos de conservação de pescado, os mais importantes são aqueles que empregam as baixas temperaturas, eficazes na preservação do aroma e do valor nutricional (Chevalier et al., 2001; Gonçalves; Gindri Júnior; 2009). O armazenamento do pescado congelado é um método eficiente de conservação, mas não melhora a qualidade do produto. Desse modo, a qualidade do produto final dependerá da sua qualidade no momento do congelamento, bem como de outros fatores durante o armazenamento e distribuição (Johnston et al., 1994; Chevalier et al., 2000; Gonçalves; Gindri Júnior; 2009).

Algumas alterações lesivas podem ocorrer durante o armazenamento do produto congelado, como oxidação lipídica, desidratação superficial e desnaturação proteica, afetando negativamente a qualidade sensorial e nutricional do pescado (Soares et al., 2013). A oxidação é um processo degradante e de fácil ocorrência, especialmente em peixes considerados gordos, como o salmão (Sánchezalonso; Borderias, 2008). A oxidação de lipídios pode ocorrer durante o processamento por tratamento térmico e armazenamento, afetando as características sensoriais, tornando o produto impróprio para consumo. Selami e Sadoki (2008) citam que a rancificação *off-flavor* é uma das principais causas de rejeição à produção e comercialização de produtos de peixe.

De acordo com a FAO (2014), em 2012 o congelamento foi o principal método de conservação de pescado para o consumo humano, representando 54 % do total processado para este fim e 25 % de toda produção. De acordo com Brasil (2011), os congelados foram relevantes e o tipo mais comercializado no país em 2011, correspondendo às importações e exportações de 233.427 e 26.867 t de pescado, respectivamente. Em 2013, foram produzidas 105.852 t de pescado inteiro e congelado no Brasil. Para produção de filé e outros cortes, foram industrializadas 413.468 t

(Brasil, 2013). Portanto, aproximadamente 25,6 % do total processado no Brasil é vendido inteiro e congelado.

Para a conservação sob congelamento, a indústria utiliza o método de congelamento rápido e subsequente glaciamento. O congelamento deve ser feito com equipamento adequado, proporcionando ao pescado a temperatura de -18°C no seu centro de massa (FAO, 1995). Já o glaciamento é a aplicação de uma fina camada de gelo protetora na superfície do produto congelado, seja pelo método de imersão em água gelada ou por aspersão de água gelada diretamente na superfície do pescado (FAO, 2020). Tais técnicas evitam a desidratação e a oxidação lipídica durante o armazenamento do produto, além de preservar seu sabor, aroma e textura, minimizando os efeitos do gotejamento durante o descongelamento (Soares et al., 2013; Jacobsen; Fossan, 2001).

A água utilizada nas unidades de produção de alimentos é um fator crucial no controle de qualidade e preservação. Esse recurso hídrico pode ser usado como ingrediente, na lavagem final dos equipamentos ou, ainda, em contato com o produto ao longo do processamento (Huss, 1993). Assim como os alimentos, a água é veículo de transmissão de muitos patógenos que são causadores de doenças em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Uma das formas de contaminação por agentes infecciosos ou compostos químicos tóxicos dá-se mediante a ingestão da água propriamente dita ou de alimentos contaminados por causa do contato direto com a água contaminada ou, ainda, pela manipulação na produção ou processamento industrial (Kirby et al., 2003).

No glaciamento, a água integra o produto final. Sendo assim, seu uso de forma saneada é imprescindível. A legislação brasileira (Brasil, 2007) e o *Codex Alimentarius* (FAO, 1995) estabeleceram que a água usada para o processamento do pescado, no qual está incluído o glaciamento, deve atender aos parâmetros de potabilidade descritos pela legislação brasileira e internacional. Os padrões de potabilidade da água para consumo humano são estabelecidos internacionalmente nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde, intitulada *Guidelines for Drinking-Water Quality* (World Health Organization, 2011), pela Diretiva Consular da União Europeia 98/83/EC (European Union, 1998) e, no Brasil, pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 (Brasil, 2011).

De acordo com Johnston et al. (1994), o glaciamento pelo método de imersão possui limitações, bem como o risco de contaminação da água após um período de tempo de processamento. Uma das limitações citadas por Gonçalves e Gindri Junior (2009) é que o glaciamento pelo método de imersão pode provocar variação na espessura da camada de gelo, o que interfere na capacidade de preservação do pescado e no teor de água do produto final.

Segundo o código de práticas para pescados, do *Codex Alimentarius* (FAO, 2020), a água de glaciamento deve ser trocada regularmente, a fim de garantir a baixa carga de micro-organismos e prevenir o acúmulo de material orgânico. Entretanto, não foram encontradas na literatura quaisquer referências que especifiquem ou justifiquem a frequência que esta água deve ser trocada, ficando a critério da indústria a definição da constância de troca.

Material e métodos

As amostras de água foram coletadas em uma planta de processamento de pescado no estado do Rio de Janeiro, Brasil. Na indústria estudada, o glaciamento era realizado por imersão do pescado congelado em água gelada (2 ± 1 °C) e, em seguida, armazenado em tanques plásticos de 500 l. Nessa indústria, a mesma água era usada para o glaciamento de diferentes tipos de pescado, dependendo da demanda de processamento do dia. A renovação completa da água era feita, em média, após 4 horas de processamento, independentemente do tipo e da quantidade de produto.

As amostras foram coletadas uma vez por mês, durante um ano (total de 12 coletas) e eram feitas sempre no período da manhã (entre duas a quatro horas após o início do turno de trabalho). No entreposto foram submetidas ao glaciamento, não necessariamente no mesmo dia, as seguintes espécies: merluza (*Merluccius* spp.), panga (*Pangasius bocourti*), salmão-do-atlântico (*Salmo salar*), cação (*Squalidae*), congro-rosa (*Genypterus* spp.), camarão (*Penaeidae*), badejo (*Mycteroperca* spp.), dourado-do-mar (*Coryphaena hippurus*), peixe-prego (*Ruvettus pretiosus*), polaca-do-alasca (*Theragra chalcogrammus*), polvo (*Octopus vulgaris*), lula (*Loligo vulgaris*) e pescada-amarela (*Cynoscion acoupa*).

As amostras de água foram analisadas quanto aos parâmetros de cor aparente, turbidez, demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, nitratos, nitritos, alcalinidade, dureza, cloretos, ferro, alumínio e coliformes totais. Para tanto, foram utilizadas as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Tabela 1) (APHA, 2012):

Tabela 1. Métodos utilizados para as análises dos parâmetros da água de glaciamento.

Parâmetro	Método
Cor aparente	SMEWW 2120 C – Espectrofotométrico – método de comprimento único de onda
Turbidez	SMEWW 2130 B – método nefalométrico
DBO	SMEWW 5210-B – teste 5 dias DBO
DQO	SMEWW 5220 – D – refluxo fechado, método colorimétrico.
pH	SMEWW 4500 H+B – método eletrométrico
Nitrogênio amoniacal	SMEWW 4500 NH ₃ – F – método fenato
Nitrogênio total	SMEWW 4500-N método Kjeldahl
Nitrato	SMEWW 4500 NO ₃ -D. – método do eletrodo para nitrato.
Nitrito	SMEWW 4500 NO ₂ - B – método colorimétrico
Alcalinidade	SMEWW 2320 B – método titulométrico
Dureza	SMEWW 2340 C – método titulométrico com EDTA
Cloreto	SMEWW 4500-Cl- B – método argenteo métrico
Ferro total	SMEWW 3030E – digestão de ácido nítrico e 3111B – método direto de chama ar-acetileno
Alumínio total	SMEWW 3030 E – digestão de ácido nítrico e 3111D – método direto de chama óxido nítrico-acetileno
Coliformes totais	SMEWW 9223 B – teste de coliforme por substrato enzimático

Resultados e discussão

A planta estudada processa diversas espécies comerciais de pescado. Ademais, ela executa uma mistura de processos primários e secundários, incluindo filetagem, evisceração, retirada de pele, lavagem, resfriamento, defumação, congelamento, glaciamento e embalagem.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos analisados na água de glaciamento, usada para o processamento de diversos produtos congelados na planta sob estudo. A maioria dos parâmetros obteve uma preponderante diferença entre os valores mínimos e máximos analisados. Esses dados refletem as variações nas condições de processamento, bem como nas quantidades e tipos de pescado processado. O pH, a dureza, o nitrito e o cloreto foram os parâmetros que menos sofreram alterações, indicando que as condições de processamento exerceram pouca influência sobre eles.

Inúmeras indústrias brasileiras apresentaram padrões de produção semelhantes à indústria estudada, isto é, processam diferentes espécies de pescado na mesma planta, o que também é uma realidade em outros países, a exemplo do Reino Unido, onde 52 % das plantas estão envolvidas na produção de espécies variadas (Seafish Industry Authority, 2012). Isto denota a importância

de se estudar e conhecer os processos envolvidos nas unidades de processamento, visando a melhoria na qualidade e segurança dos produtos.

Embora cada país tenha leis regulamentares específicas no que diz respeito à qualidade da água de processamento em indústrias de alimentos, o *Codex Alimentarius* declara que a água de glaciamento deve ser potável (FAO, 2020), de acordo com os padrões de potabilidade descritos pela OMS (2011).

Tabela 2. Médias e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e tempo de coleta da água usada no glaciamento.

Amostra	Espécies processadas	Tempo de coleta (h)	Cor aparente (UH)	Turbidez (NTU)	DBO (mg de O ₂ /L)	DQO (mg/L)	pH	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)
1	Merluza, Panga, Salmão	2,5	25	35,8	163,0	189	6,93	43,13	81,16
2	Cação, Congro-rosa, Merluza	3,5	10	13,9	288,0	344	7,85	25,09	51,43
3	Camarão, Cação	4,0	100	29,2	160,7	228,0	7,03	37,12	123,70
4	Filé de merluza, camarão	3,5	20	42,6	188,8	218	8,21	3,01	29,59
5	Filé de badejo, filé de dourado	3,5	5	13,3	60,4	90	6,98	15,35	16,96
6	Lombo de peixe prego, filé de salmão, camarão	4,0	5	390,0	128,0	213	8,15	18,76	22,27
7	Polaca do Alasca e Salmão	3,0	5	24,0	113,1	121	7,82	26,42	38,29
8	Camarão, posta de cação, filé e posta de salmão, lombo de dourado	4,0	20	48,8	253,7	323	7,65	3,22	133,34
9	Tentáculos de polvo e anéis de lula	3,5	25	28,3	126,2	150	6,94	4,97	134,99
10	Filés de salmão e de dourado	3,0	30	38,2	240,7	372	6,89	10,30	12,77
11	Camarão	2,0	20	16,2	121,0	283	6,38	14,91	20,79
12	Posta de dourado e pescado amarela, filé de salmão e tentáculos de polvo	3,0	100	413,0	62,9	273	7,13	49,20	182,93
Valor máximo	-	4,0	100	413,0	288,0	372	8,21	49,20	182,93
Valor mínimo	-	2,0	5	13,3	60,4	90	6,38	3,01	12,77
Média	-	3,3	30	91,1	158,9	233,7	7,33	20,96	70,69
DP	-	0,6	34	145,5	72,4	88,6	0,6	15,60	58,60
CV (%)	-	-	103	137	50	44	26	75	82

Continua...

Tabela 2. "Continuação".

Amostra	Espécies processadas	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Alcalini- dade (mg/L)	Dureza (mg/L)	Clore- tos (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Colifor- mes totais (NM- P/100mL)
1	Merluza, Panga, Salmão	0,57	< 0,01	48,3	46	30,28	0,047	0,094	7,0x10 ⁵
2	Cação, Congro-rosa, Merluza	0,45	< 0,01	313,9	41	47,00	0,173	0,094	4,9x10 ⁷
3	Camarão, Cação	15,71	< 0,01	167,0	42	23,07	0,120	0,153	5,0x10 ⁵
4	Filé de merluza, camarão	1,02	< 0,01	152,0	45	41,25	0,231	0,100	1,4x10 ⁸
5	Filé de badejo, filé de dourado	2,50	< 0,01	136,0	45	26,87	0,114	0,832	1,8x10 ⁰
6	Lombo de peixe prego, filé de salmão, camarão	2,50	< 0,01	146,0	47	44,32	0,103	0,693	1,6x10 ⁸
7	Polaca do Alasca e Salmão	1,60	< 0,01	205,0	55	29,54	0,103	0,132	1,7x10 ¹
8	Camarão, posta de cação, filé e posta de salmão, lombo de dourado	2,50	< 0,01	150,0	42	20,83	< 0,047	< 0,094	2,4x10 ⁶
9	Tentáculos de polvo e anéis de lula	5,44	0,02	160,0	48	31,73	0,113	0,250	2,4x10 ⁵
10	Filés de salmão e de dourado	2,22	< 0,01	148,5	43	21,28	0,270	0,289	2,1x10 ⁴
11	Camarão	0,78	0,01	165,0	70	30,62	0,175	0,235	1,0x10 ³
12	Posta de dourado e pescada amarela, filé de salmão e tentáculos de polvo	< 0,01	< 0,01	880,0	46	41,57	< 0,047	0,332	2,4x10 ⁶
Valor máximo	-	15,71	0,02	880,0	70	47,00	0,270	0,832	1,6x10 ⁸
Valor mínimo	-	< 0,01	< 0,01	48,3	41	20,83	< 0,047	< 0,094	1,8x10 ⁰
Média	-	3,21	0,02	222,6	47	32,36	0,14	0,29	2,9x10 ⁷
DP	-	4,38	0,01	215,4	8	9,09	0,1	0,25	5,8x10 ⁷
CV (%)	-	135	34	100	30	35	57	86	135

Cor aparente e turbidez

O valor médio encontrado para a cor aparente foi de 30 (\pm 34) Unidades Hazen (UH), acima dos 15 UH, limite permitido para água potável. Acima desse valor, os consumidores podem detectar mudanças na água e rejeitá-la, independente dos riscos à saúde (European Union, 1998; Brasil, 2011; World Health Organization, 2011).

A cor aparente da água potável pode ser associada à presença de matéria orgânica colorida, principalmente ácidos húmicos e fúlvicos, bem como à presença de ferro e outros metais. Segundo Prasertsan e Choirit (1988), a causa da cor avermelhada nos efluentes de uma planta de processamento de atum está relacionada à presença de um fotopigmento produzido por uma bactéria fotossintética, a astaxantina, que é um cetocarotenoide vermelho usado como fonte de pigmentação na aquicultura de espécies marinhas, amplamente utilizado no cultivo de salmonídeos. De acordo com Stepnowski et al. (2004), a extração de astaxantina da matriz da casca de crustáceos é um processo normal que, por sua vez, pode ser encontrada e extraída de efluentes industriais provenientes do processo de cozimento do camarão (Torrissen, 1995; World Health Organization, 2011; Amado et al., 2015).

Das doze amostras analisadas, oito tiveram cor aparente acima de 15 UH, sendo que sete delas envolviam o glaciamento de salmão ou camarão, logo, é possível que essas espécies tenham contribuído para o aumento da cor aparente na água. Estes resultados são consistentes com a possibilidade de a astaxantina (presente no camarão, salmão selvagem e no salmão de cultivo) ter sido liberada na água de glaciamento após a imersão do pescado. Estes resultados não têm correlação sanitária para a produção de pescado congelado, mas evidenciam a possibilidade de contaminação cruzada de produtos glaciados com substâncias naturais de outras espécies.

O valor médio de turbidez foi de 91,1 (\pm 145.5) de unidade nefalométrica de turbidez (NTU). Para água potável, este valor não deveria ultrapassar 1 NTU. Duas amostras apresentaram valores elevados de turbidez (390 e 413 NTU), mas não puderam ser associados a um produto específico (European Union, 1998; Brasil, 2011; World Health Organization, 2011).

De acordo com Allen et al. (2008), a turbidez pode ser um grande indicador de mudanças na qualidade da água, que pode ser associada ao aumento de carga microbiana. A alta turbidez também pode estar relacionada às partículas suspensas ou ao material coloidal, tanto orgânico quanto inorgânico, que servem de substrato para a fixação de micro-organismos. Segundo Payment (1999) e World Health Organization (2011), esse fenômeno pode reduzir a eficácia da inativação microbiana pelo cloro, então a turbidez é utilizada como indicador precoce da qualidade da água.

Embora a turbidez indique anormalidades na água, o aumento deste parâmetro não necessariamente representa riscos à saúde. Isto porque as diferentes fontes e os tipos de partículas podem contribuir para o aumento da turbidez e nem todo o aumento desse parâmetro está associado à contaminação (Hsieh et al., 2015).

A elevada variação na cor aparente e na turbidez indica grande influência da qualidade e quantidade do pescado processado por litro de água. No entanto, não foi possível estabelecer uma relação entre as várias espécies estudadas e o recurso hídrico analisado. Mesmo que as legislações nacionais e internacionais proponham que a água potável seja límpida e incolor, foram observados valores médios acima do permitido por lei, tanto para cor aparente como para turbidez na água de glaciamento durante o processamento.

DBO e DQO

Os aumentos na cor aparente e na turbidez são indicadores eficientes de presença de matéria orgânica (World Health Organization, 2011), que pode ser confirmada pela DBO, a qual apresentou valor médio de 158,9 (\pm 72,4 mg O₂/L: maior que o nível permitido pelo Conama, que é de 3 mg O₂/L para água doce de classe I, destinada ao consumo humano após tratamento simplificado (Brasil, 2005).

No âmbito internacional, não há limites estabelecidos de DBO e DQO para água potável, pois estes parâmetros são avaliados apenas na água bruta, antes do tratamento, visando seu consumo (European Union, 1998; WHO, 2011). Existem poucos estudos que avaliam efluentes industriais de plantas processadoras de pescado, sendo que os dados de DBO encontrados na literatura são muito variados, tanto dentro da própria indústria como quando comparados a outras. Jamieson et al. (2017) citaram valores entre 236 mg/L e 268 mg/L em efluentes de processamento de salmão e linguado, enquanto Cristóvão et al. (2015) encontraram valores de DBO entre 241 mg/L e 27.946 mg/L para efluentes em indústria de pescado em conserva. Prasertsan et al. (1994) avaliaram a DBO de efluentes provenientes do processo de congelamento do atum e reportaram o valor médio de 814 mg/L, muito maior que o obtido neste estudo para a água de glaciamento.

Nos efluentes do processamento de pescado, a DBO alta é proveniente de compostos derivados de carbono ou que contenham nitrogênio (proteínas, peptídeos e aminas voláteis) (Chowdhury et al., 2010). Entretanto, altos níveis de DBO não foram associados ao aumento dos valores de nitrogênio amoniacal ou nitrogênio total dentro deste estudo. Os óleos e as graxas (O&G) também são parâmetros relevantes para a caracterização de efluentes de pescado e podem contribuir para o aumento da DQO.

Murray e Burt (2001) afirmaram que embora 75 % das amostras tenham apresentado níveis de óleos e gorduras (O&G) < 10 mg/L (dados não apresentados), esses compostos podem ter influenciado os níveis de DBO, principalmente nas amostras provenientes do processamento do salmão, espécie que, entre as estudadas por esses autores, caracteriza-se por possuir maior teor lipídico, apresentando 3 % a 14 % de gordura em seus músculos. A julgar pelos altos valores de DBO encontrados nas amostras 2, 8 e 10 e os pelos dados das amostras 5 e 11, é provável, que as espécies que mais contribuíram para o aumento da DBO na água de glaciamento tenham sido o camarão, o salmão, o cação e o dourado. Cabe frisar que estas espécies foram processadas com maior frequência na indústria estudada, fazendo com que o fluxo do glaciamento destas seja mais intenso.

No que diz respeito à DQO, o valor médio encontrado foi de 233,7 (\pm 88,6) mg/L, maior que o reportado em estudos que avaliaram efluentes do cozimento do atum (73.6 mg/L – 157 mg/L) (Prasertsan et al., 1993, 1997). Prasertsan et al. (1994) analisaram a DQO de efluente gerado no processo de congelamento do atum e observaram um valor médio de 1464 mg/L, valor mais alto que os encontrados neste estudo. Jamieson e colaboradores (2016) também encontraram valores mais altos de DQO (458 mg/L – 1129 mg/L) em efluentes do processamento de salmão e linguado.

A DQO de um efluente geralmente é maior que a DBO (Chowdhury et al., 2010). A proporção DBO:DQO oscila dentro da mesma indústria e entre indústrias diferentes, variando de 1,1:1 a 3:1 (Wastewater..., 1994). Segundo Carawan et al. (1979), a DBO (500 mg/L - 1500 mg/L) de um efluente de processamento de atum representou apenas 40 % da DQO (1300 mg/L - 3250 mg/L). Neste estudo, a DBO foi responsável por 68 % da DQO, indicando haver maior contaminação por matéria orgânica biodegradável na água de glaciamento.

pH

O pH dos efluentes de indústrias de processamento de pescado raramente é ácido, sendo geralmente próximo de 7 ou alcalino (Chowdhury et al., 2010). O pH alcalino em águas residuais do processamento de pescado é gerado pela decomposição de matéria proteica e liberação de compostos relacionados à amônia (Gonzales, 1996). O valor médio de pH encontrado no presente estudo foi de 7,3 (\pm 0,6), próximo da neutralidade, apesar da variação encontrada entre 6,3 a 8,2. O pH da água antes do processamento era de 6.7 \pm 0.2 (dado não apresentado). Os valores máximos encontrados foram de 8,15 e 8,21, observados no glaciamento combinado de peixe-prego, filé de salmão e camarão, como também no glaciamento de filés de merluza e camarão.

No Brasil, o pH recomendado para água potável é de 6,0 a 9,5 (Brasil, 2011), valor semelhante ao recomendado pela união europeia de 6.5 a 9.5 (European Union, 1998). De acordo com

WHO (2011), nenhum valor limite de pH foi estipulado, uma vez que tem baixa influência sobre a saúde. Os resultados obtidos na análise de efluentes do processamento de quatro diferentes indústrias de pescado na Columbia Britânica, que processavam diferentes espécies de pescado, como o salmão, bacalhau, arenque e peixes de fundo, tiveram efluentes com pH na faixa de 5,7 a 7,4, com uma média de 6,48 (Wastewater..., 1994).

A variação do pH no pescado pode ser atribuída à espécie, estação do ano, dieta, ao nível de atividade, estresse durante a captura e tipo de músculo. O pH pode aumentar com o tempo de estocagem e o alto pH *post-mortem* no pescado afeta a taxa de deterioração do produto, motivo pelo qual ocasiona a curta validade comercial do pescado fresco (Gram; Huss, 1996; Ocaño-Higuera et al., 2009).

Um aumento no pH muscular também está relacionado à acumulação de vários compostos alcalinos como amônia, trimetilamina (TMA) entre outras bases voláteis produzidas pela *proliferação de microrganismos* na carne. Entretanto, o pH não é um indicador de crescimento microbiano e o pH final, que pode indicar dano à musculatura, é o que se encontra acima de 7 (Ocaño-Higuera et al., 2009; Soto-Valdez et al., 2015).

Moura et al. (2003) reportaram o pH muscular de algumas espécies de camarão que estão entre 7,1 e 8,1. Buchtová et al. (2015) encontraram pH muscular médio de 6,3 ($\pm 0,14$) para as espécies *Lepidocybium flavobrunneum* da família do peixe-prego (*Ruvettus pretiosus*). Ruiz-Capillas e Moral (2001) encontraram pH muscular de 6,1 a 7,2 em merluza resfriada, sendo que o menor valor foi observado no pescado recém-armazenado e o maior valor após 25 dias de armazenamento. Ocaño-Higuera et al. (2009) analisaram as mudanças post-mortem na musculatura de cação armazenado em gelo e o pH variou de 6,43 no dia 1 a 6,78 no dia 18. Considerando que o pH da água de glaciamento também pode ser influenciado pelo pH muscular, entende-se que o camarão pode ter sido o principal responsável pelo aumento do pH da água.

Nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito

Neste estudo foram encontrados valores médios elevados de nitrogênio total e amoniacal (70,7 mg/L \pm 58,6 mg/L e 21,0 mg/L \pm 15,6 mg/L). Estes dados são consistentes com resultados de pH acima de 7.

As indústrias de pescado no Canadá citaram concentrações de amônia em efluentes de processamento de salmão e peixes de fundo de 42 mg/L e 20 mg/L (Wastewater..., 1994). A presença de nitrogênio na água pode estar relacionada, principalmente, com a degradação de proteínas miofibrilares e sarcoplasmáticas por causa da autólise que ocorre naturalmente no período post-mortem no pescado. Também ocorre pela ação de bactérias proteolíticas, reduzindo o óxido

de trimetilamina (OTMA) em TMA e produzindo amônia, entre outras bases voláteis totais (BVT) (Huss, 1995; Ahmed et al., 2015). Algumas destas substâncias, como aminoácidos livres e bases nitrogenadas, são chamadas de extractive substances ou substâncias extrativas, pois são facilmente extraídas da carne do pescado por água ou soluções aquosas. Muitas dessas substâncias contribuem diretamente para o sabor e aroma característicos de cada espécie (Murray; Burt, 2021).

Segundo a Resolução do Conama nº 357, de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005), o teor de nitrogênio amoniacal permitido na água doce destinada ao abastecimento para consumo humano deve ser menor que 3,7 mg/L e o valor médio encontrado na água de glaciamento (21 mg/L \pm 16 mg/L) ultrapassou esse limite. Na indústria, o íon amônio acumulado na água do tanque pode interagir com o cloro utilizado no início do processo, reduzindo a fração de cloro livre e formando cloraminas, que possuem baixa eficácia de desinfecção (Huss, 1993; Who, 2011). Sendo assim, a presença de altos níveis de nitrogênio amoniacal pode dificultar a manutenção dos níveis baixos de contaminação microbiana da água de glaciamento. Além disso, a contaminação cruzada de produtos de pescado por aminoácidos livres e bases voláteis na água de glaciamento podem depositar sabor e aroma desagradáveis para esses produtos.

Nas análises para o presente estudo, os valores de nitrato e nitrito obtidos foram de 3,2 mg/L \pm 4,4 mg/L e 0,02 mg/L \pm 0,01 mg/L. As legislações internacionais permitem níveis de nitrato e nitrito de 50 mg/L e 3,0 mg/L. De acordo com WHO (2011), na União Europeia (European Union, 1998) os limites são 50 mg/L e 0,5 mg/L para nitrato e nitrito, respectivamente. No Brasil, a legislação estabelece limites de 10 mg/L para nitrato e 1,0 mg/L para nitrito (Brasil, 2011). Portanto, com base nestes dados, as amostras da água de glaciamento estão em conformidade com os padrões para água potável.

Alcalinidade e dureza

Quanto à alcalinidade, observou-se uma variação de 48,3 mg/L a 880 mg/L, com média 222,6 mg/L (\pm 215,4) mg/L. O valor máximo de 880 mg/L foi observado durante o glaciamento combinado de postas de dourado e pescada amarela, filé de salmão e tentáculos de polvo.

Na faixa de pH das amostras (6,4 – 8,2), os compostos que alteram a alcalinidade da água são os bicarbonatos. A alcalinidade total não tem regulamento sanitário para a água potável e não há padrão estabelecido pela legislação internacional (European Union, 1998; World Health Organization, 2011). A alcalinidade é associada com corrosividade, que afeta a aceitabilidade da água, pois influencia no sabor da água potável (Dietrich; Burlingame). Os altos valores de alcalinidade também estão relacionados aos processos de decomposição de matéria orgânica e CO² dissolvido em água (Brasil, 2014). Portanto, os níveis altos para este parâmetro em efluentes de pesca-

do podem indicar deterioração indesejada do pescado em processo. As análises apresentaram dureza total no valor médio de 47 mg/L \pm 8 mg/L e o valor máximo de 70 mg/L foi observado durante o glaciamento de camarão.

É sabido que os consumidores costumam notar mudanças na dureza da água e, em alguns casos, eles toleram a dureza em excesso na água de até 500 mg/L (World Health Organization, 2011). Dependendo da interação com outros fatores, como pH e alcalinidade, as águas com dureza acima de 200 mg/L podem causar degradação de minerais. Em contrapartida, a dureza abaixo de 100 mg/L pode resultar em baixa capacidade de tamponamento, tornando a água corrosiva para tubulações de metal (World Health Organization, 2011). No Brasil, o padrão organoléptico de dureza para água potável permite um valor máximo de 500 mg/L (Brasil, 2011).

De acordo com World Health Organization (2011), não há valores estipulados, no que diz respeito à saúde, para este parâmetro em água potável. Logo, para os valores observados de dureza na água de glaciamento (47,5 mg/L \pm 8,0 mg/L), não há riscos de mudanças na qualidade sensorial do pescado processado.

Cloreto

No estudo, o valor médio de cloreto encontrado foi de 32,4 (\pm 9,1) mg/L. O cloreto em água potável não tem implicação sanitária quando presente em níveis altos. Entretanto, quando atinge níveis de 200 mg/L– 300 mg/L de sódio, potássio ou cloreto de cálcio, o cloreto muda suas propriedades sensoriais, como o gosto da água (Dietrich; Burlingame, 2015).

De acordo com leis internacionais e brasileiras, o máximo de cloreto permitido em água potável é de 250 mg/L (European Union, 1998; Brasil, 2011; World Health Organization, 2011), assim, os valores encontrados na água de glaciamento atendem aos padrões estabelecidos. O valor máximo de 47 mg/L foi observado durante o glaciamento combinado de cação, congro-rosa e merluza. Portanto, independente das espécies processadas no tanque de glaciamento, o teor de cloreto na água não atingiu concentrações suficientes a ponto de causar possíveis alterações sensoriais nos produtos de pescado glaciados.

Ferro total

Foi constatado no estudo que o ferro total foi de 0,14 mg/L \pm 0,1 mg/L. O valor máximo (0,270 mg/L) foi observado durante o glaciamento de salmão e filés de dourado. No mais, foi observado o valor de 0,23 mg/L na água de glaciamento de merluza e camarão.

De acordo com a literatura, os seguintes valores (mg/kg peso úmido) de ferro podem estar presentes na musculatura de camarão, salmão, merluza e dourado: 24,1 (Martin et al., 2000), 2,16 – 9,25 (Ikem; Egiebor, 2005), 5,1 (Martínezvalverde et al., 2000), e 2,24 – 5,83 (Kojadinovic et al., 2007). Em duas das amostras do processamento de diferentes espécies, o ferro total excedeu o limite estabelecido pelas leis da União Europeia, que é de 0,2 mg/L para água potável (European Union, 1998). O valor dos parâmetros estudados atende aos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde do Brasil, que é de 0,3 mg/L (Brasil, 2011). Segundo World Health Organization (2011), não há limite estabelecido em água potável para este parâmetro.

No abastecimento de água potável, sais de ferro (Fe^{2+}) são instáveis e precipitados como hidróxido de ferro insolúvel (Fe^{3+}), que se deposita como um lodo cor de ferrugem. A turbidez e cor aparentes podem desenvolver-se em tubulações com níveis de ferro acima de 0,05 mg/L – 0,1 mg/L (World Health Organization, 2003a). Embora nove amostras tenham apresentado níveis de ferro total acima de 0,1 mg/L, apenas cinco delas tiveram cor acima de 15 UH, indicando que, neste caso, o ferro na água não é um fator importante para o aumento da cor das amostras.

Embora o teor total de ferro não pareça prejudicial à saúde humana, os níveis observados podem contribuir para mudanças na qualidade do pescado processado. De acordo com Repetto et al. (2012), em alimentos ricos em gorduras poli-insaturadas, como o pescado, podem ocorrer mudanças significativas tanto sensoriais quanto nutricionais, graças ao desenvolvimento de rancidez oxidativa, em que o processo de peroxidação lipídica é induzido pelo efeito pró-oxidante dos metais de transição. Em estudo avaliando os efeitos de diferentes íons metálicos na oxidação lipídica do pescado, foi observado que o ferro II (Fe^{2+}) causa forte peroxidação lipídica e seus efeitos não dependem da concentração deste metal (Thanonkaew et al., 2006).

Devido às variações do teor de ferro na musculatura de diferentes espécies de pescado, é indicado que o glaciamento de espécies com maior teor de ferro, como o camarão, seja realizado de forma separada, já que podem causar contaminação cruzada quando realizado junto às outras espécies que apresentaram baixos teores de ferro. A contaminação pelo ferro pode aumentar o risco de oxidação lipídica desses produtos e, conseqüentemente, reduzir seus prazos de vida de prateleira.

Alumínio total

Para alumínio total, foi observado o valor médio de 0,29 ($\pm 0,25$) mg/L e o valor máximo de 0,8324 mg/L foi encontrado no glaciamento combinado de badejo e filés de dourado. Seis amostras excederam o limite máximo permitido, pois estes valores não estão em conformidade com as normas internacionais e brasileiras para água potável, que é de 0,2 mg/L (European Union, 1998; Brasil, 2011; WHO, 2011).

Yilmaz et al. (2010), estudando três espécies de peixes demersais, encontraram teores musculares de alumínio variando de 2,23 mg/kg a 4,93 mg/kg (peso úmido). Em vista disso, o pescado pode ser uma fonte de alumínio para a água de glaciamento. Embora o alumínio não seja um metal com forte propriedade próoxidante, sabe-se que sua ingestão constante e excessiva pode causar graves problemas à saúde (Wills; Savory, 1983). Por muitos anos, tem-se acreditado que o alumínio seja um desencadeador da doença do Alzheimer, por relatos de intoxicação deste metal, porém, os estudos acerca desse assunto ainda são controversos (Tomljenovic, 2011; Barnard et al., 2014; Kandimalla et al., 2016).

Bactérias coliformes

Foram encontrados níveis de coliformes totais na água de glaciamento entre $1,8 \times 10^0$ e $1,6 \times 10^8$ NMP (número mais provável) por 100 mL, com um valor médio $2,9 \times 10^7$ NMP/100 mL. Os coliformes totais incluem micro-organismos que podem sobreviver e crescer na água, podendo servir como indicadores de falhas na desinfecção (World Health Organization, 2011). A alta contagem de coliformes totais na água de glaciamento pode indicar ausência de boas práticas de manipulação ou falhas nos processos de desinfecção da superfície do pescado em etapas anteriores ao glaciamento. Esta contaminação também indica que a frequência da renovação da água não é suficiente para manter os níveis de coliformes baixos que se acumulam no tanque de glaciamento.

O cloro na água de glaciamento atua como um agente desinfetante. Embora a água usada nesta etapa possa ser clorada, a alta turbidez, o alto pH e os altos níveis de nitrogênio amoniacal reduzem o potencial desinfetante do cloro. Ademais, o cloro, quando combinado com matéria orgânica, pode formar cloraminas e trihalometano (THM), que são danosos à saúde do ser humano, além de possuírem fracas propriedades de desinfecção (World Health Organization, 2011). As leis internacionais e brasileira estabelecem um limite máximo de cloro na água potável de 5 mg/L e este nível de cloro (5 mg/L) foi utilizado na água de glaciamento da indústria em estudos (World Health Organization, 2003b; Brasil, 2011). No Brasil, além do limite máximo de 5 mg/L, também é estabelecido um limite mínimo de 0,2 mg/L (Brasil, 2011). Nos estudos de Souza et al. (2018), na análise do teor de cloro livre na água de glaciamento por imersão foi observado que o processamento de 3,8 kg a 4,3 kg de lombo de peixe-prego congelado/L de água de glaciamento foi o suficiente para reduzir o cloro livre de 3,78 mg/L para 0,09 mg/L no início e fim do processo, respectivamente.

Visando solucionar o problema da deficiência do cloro, alguns estudos têm sido conduzidos a fim de testar outros agentes antimicrobianos na água de glaciamento, com foco na qualidade da água e do pescado. Zhang et al. (2015) observaram a atividade inibitória de alguns micro-organismos usando água eletrolisada, fracamente acidificada, no glaciamento de pescado.

Duas amostras, nas quais foram observados os maiores valores de pH, foram as que apresentaram as mais altas contagens de coliformes totais: $1,6 \times 10^8$ e $1,4 \times 10^8$. Outras amostras com pH elevado também tiveram altas contagens de coliformes totais e isso ocorre porque o pH interfere na eficiência de desinfecção com cloro, que é melhor quando o pH está abaixo de 7 (Huss, 1993). Assim, a água clorada usada para a reposição da água do tanque do glaciamento pode não estar sendo capaz de manter a baixa contagem de micro-organismos, gerando a contaminação do pescado com alto pH muscular, contribuindo para a contaminação da água.

Alguns estudos afirmam que a água de glaciamento não influencia significativamente no crescimento de bactérias durante o armazenamento do pescado glaciado (Soares et al., 2013; Zhang et al., 2015). Entretanto, essas pesquisas foram conduzidas em escala laboratorial, com o controle da água potável, o que não representa a situação real na maioria das indústrias que produzem pescado congelado.

De acordo com Souza et al. (2018), a contaminação da matéria-prima pode afetar a qualidade da água de glaciamento, mas a água parece não afetar o crescimento microbiológico do produto glaciado, avaliado após 24 horas de armazenamento. No entanto, ainda não há certeza se pode ocorrer proliferação dos micro-organismos ao longo do período de armazenamento do produto congelado, principalmente de fungos que são resistentes às baixas temperaturas. Diante disso, mais pesquisas são necessárias para avaliar o efeito real da água na qualidade microbiológica do pescado glaciado.

Conclusão

Foi observado que diversos parâmetros analisados na água de glaciamento, após 2 a 4 horas de utilização, estavam acima dos limites permitidos para água potável. Na indústria modelo, devido à grande variedade de espécies e produtos de peixes processados é inviável o uso de equipamentos específicos por tipo de produto ou espécie processada. A consequência disto é que cada espécie ou produto contribui de maneira diferente para a contaminação da água de glaciamento, seja devido às diferenças na microbiota natural do pescado ou às composições físico-químicas que variam muito entre as espécies e indivíduos, dependendo da idade, sexo, ambiente e estação do ano.

A variação foi observada na água de glaciamento onde diversos produtos foram imersos. Logo, os resultados das análises foram bem distintos, apresentando grande variabilidade nos dados para cada parâmetro analisado. Isso indica que, além das espécies, a massa total do pescado processado também influenciou os parâmetros de qualidade da água.

Apesar da regularidade no horário das coletas de amostras, houve discrepância nos dados, mesmo quando processados em matrizes similares. Sendo assim, a frequência da renovação da água de glaciamento deve considerar não somente o tempo decorrido da última renovação de água, mas também a quantidade de pescado processada e o tipo de produto glaciado. Os resultados indicam que a renovação da água, após quatro horas de uso, não foi suficiente para atender aos padrões de potabilidade da água de glaciamento e, desse modo, é importante incluir a renovação frequente de água do tanque de glaciamento no programa de higiene e sanitização das indústrias de pescado congelado. De todo modo, a indústria estudada passa por inspeções sanitárias regulares e seus produtos estão sempre de acordo com os padrões de qualidade microbiológicas definidos pela legislação brasileira RDC nº 331 (Brasil, 2019) e IN nº 60 (Brasil, 2019).

Muitas regiões do Brasil e do mundo têm sofrido com a falta de água potável, especialmente em áreas industrializadas. Controlar o uso da água de glaciamento pelo método de imersão também tem seu benefício ao meio ambiente, como meio consciente e racional do uso da água. Por causa da relevância no processo de congelamento do pescado e o uso do glaciamento pelo método de imersão, sem critérios bem estabelecidos para a manutenção da qualidade da água, este estudo tem como um de seus objetivos encorajar pesquisas que avaliem a relação entre a água e o produto final, com foco no aspecto sanitário para o reúso seguro da água de glaciamento.

Referências

- AHMED, Z.; DONKOR, O.; STREET, W. A.; VASILJEVIC, T. Calpains and cathepsins induced myofibrillar changes in postmortem fish: impact on structural softening and release of bioactive peptides. **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 130-146, 2015.
- AL-BUSAIDI, M. A.; JUKES, D. J.; BOSE, S. Seafood safety and quality: an analysis of the supply chain in the Sultanate of Oman. **Food Control**, v. 59, p. 651-662, 2016.
- ALLEN, M. J.; BRECHER, R. W.; COPES, R.; HRUDEY, S. E.; PAYMENT, P. **Turbidity and microbial risk in drinking water**. British Columbia: Minister of Health, 2008.
- AMADO, I. R.; VÁZQUEZ, J. A.; MURADO, M. A.; GONZÁLEZ, M. P. Recovery of astaxanthin from shrimp cooking wastewater: optimization of astaxanthin extraction by response surface methodology and kinetic studies. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 2, p. 371-381, 2015.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22, ed. Washington, DC, 2012.
- BARNARD, N. D.; BUSH, A. I.; CECCARELLI, A.; COOPER, J.; DE JAGER, C. A.; ERICKSON, K. I.; FRASER, G.; KESLER, S.; LEVIN, S. M.; LUCEY, B.; MORRIS, M. C.; SQUITTI, R. Dietary and lifestyle guidelines for the prevention of Alzheimer's disease. **Neurobiol. Aging**, v. 35, p. 74-8, 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março 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, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, n. 53, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 331, de 23 de dezembro de 2019. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, n. 249, p. 96, 23 dez. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece listas de padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, n. 249, p. 133-148, 23 dez. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controlada qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, DF: Funasa, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2. 914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, DF, 12 dez. 2011.

BUCHTOVÁ, H.; ĐORĐEVIĆ, D.; KOČÁREK, S.; CHOMÁT, P. Analysis of chemical and sensory parameters in different kinds of escolar (*Lepidocybium flavobrunneum*) products. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 33, n. 4, p. 346-353, 2015.

CARAWAN, R. E.; CHAMBERS, J. V.; ZALL, J. V. **Seafood water and wastewater management**. Raleigh: North Carolina Agricultural Extension Services, 1979.

CHEVALIER, D; SEQUEIRA-MUNOZ, A; LE BAIL, A; SIMPSON, B. K; GHOU, M. Effect of freezing conditions and storage on ice crystal and drip volume in turbot (*Scophthalmus maximus*): evaluation of pressure shift freezing. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 1, n. 3, p. 193-201, 2000.

CHOWDHURY, P.; VIRARAGHAVAN, T.; SRINIVASAN, A. Biological treatment processes for fish processing wastewater: a review. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 439-449, 2010.

CRISTÓVÃO, R. O.; BOTELHO, C. M.; MARTINS, R. J. E.; LOUREIRO, J. M.; BOAVENTURA, R. A. R. Fish canning industry wastewater treatment for water reuse e a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 603-612, 2015.

DAMS, R. I.; TEIXEIRA, E.; BEIRÃO, L. H. Práticas de higiene e sanificação em indústria de pescado congelado. **B. CEPPA**, v. 15, n. 2, p. 159-66, jul. /dez. 1997.

DIETRICH, A. M.; BURLINGAME, G. A. Critical review and rethinking of USEPA secondary standards for maintaining organoleptic quality of drinking water. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 2, p. 708-720, 2015.

EUROPEAN UNION. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. **Official Journal of the European Communities**, L330, p. 32-53, 1998.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2014**: Opportunities and challenges. Rome, 2014.

FAO. **Code of practice for fish and fishery products**: CXC 52-2003. Roma, 2020.

FAO. **Codex standard for quick frozen finfish, uneviscerated and eviscerated**: Codex Stan 36–1981. Noruega, 1995.

GONÇALVES, A. A.; GINDRI JUNIOR, C. S. G. The effect of glaze uptake on storage quality of frozen shrimp. **J. Food Eng.**, v. 90, n. 2, p. 285-90, 2009.

GONZALEZ, J. F. Wastewater characterization. *In*: GONZALEZ, J. F. (ed.). **Wastewater treatment in the fishery industry**. Rome, n. 355, 1996. 433p.(FAO fisheries technical paper. 355).

GRAM, L.; HUSS, H. H. Microbiological spoilage of fish and fish products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 33, p. 121-137, 1996.

GUIMARÃES, J. T. et al. Quantification and characterization of effluents from the seafood processing industry aiming at water reuse: a pilot study. **Journal of Water Process Engineering**, v. 26, p. 138-145, 2018. ISSN 2214-7144.

HSIEH, J. L. NGUYEN, T. Q.; MATTE, T.; ITO, K. Drinking water turbidity and emergency department visits for gastrointestinal illness in New York city, 2002–2009. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0125071.

HUSS, H. H. Cleaning and sanitation in seafood processing. In: HUSS, H. H. (ed.). **Assurance of seafood quality**. Rome, n. 334, 1993. 169 p. (FAO Fisheries Technical Paper, n. 334).

HUSS, H. H. Post mortem changes in fish. In: HUSS, H. H. (ed.). **Quality and quality changes in fresh fish**. Rome, n. 348, 1995. 203 p. (FAO Fisheries Technical Paper, n. 348).

IBGE. **Pesquisa industrial**, v. 32, n. 2, p. 1-164, 2013.

IKEM, A.; EGIEBOR, N. O. Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 8, p. 771-787, 2005.

JACOBSEN, S.; FOSSAN, K. M. Temporal variations in the glaze uptake on individually quick frozen prawns as monitored by the CODEX standard and the enthalpy method. **Journal of Food Engineering**, v. 48, p. 227-233, 2001.

JAMIESON, B. L.; GAGNON, G. A.; GONÇALVES, A. A. Physicochemical characterization of Atlantic Canadian seafood processing plant effluent. **Marine Pollution Bulletin**, v. 116, n. 1, p. 137-142, 2017.

JOHNSTON, W. A. ; NICHOLSON, F. J.; ROGER, A.; STROUD, G. D. Treatment of fish after freezing. In: JOHNSTON, W. A. et al. (ed.). **Freezing and refrigerated storage in fisheries**. Rome, 1994. (FAO Fisheries Technical Paper, n. 340).

KANDIMALLA, R. ; VALLAMKONDU, J.; CORGIAT, E. B.; GILL, K. G. Understanding Aspects of Aluminum Exposure in Alzheimer's Disease Development. **Brain Pathology**, v. 26, n. 2, p. 139-154, 2016. DOI: 10.1111/bpa.12333.

KIRBY, R. M.; BARTRAM, J.; CARR, R. Water in food production and processing: quantity and quality concerns. **Food Control**, v. 14, n. 5, p. 283-299, 2003.

KOJADINOVIC, J. ; POTIER, M.; LE CORRE, M.; COSSON, R. P.; . Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean. **Environmental Pollution**, v. 146, n. 2, p. 548-566, 2007.

MARTIN, R. E. ; CARTER, E. P.; FLICK JUNIOR, G. J.; DAVIS, L. M. (ed.) **Marine and Freshwater Products Handbook**. Lancaster: Technomic., 2000.

MARTÍNEZ-VALVERDE, I. ; PERIAGO, M. J.; SANTAELLA, M.; ROS, G.. The content and nutritional significance of minerals on fish flesh in the presence and absence of bone. **Food Chemistry**, v. 71, n. 4, p. 503-509, 2000.

MOURA, A. F. P. MAYER, M. del B.; LANDGRAF, M.; TEUTA FILHO, A. Qualidade química e microbiológica de camarão-rosa comercializado em São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 2, p. 203-208, 2003.

MURRAY, J. ; BURT, J. R. **The composition of fish**. [S.l.]: Ministry of Technology: Torry Research Station, 2001. 14 p. (Torry Advisory Note, 38).

OCAÑO-HIGUERA, V. M.; MARQUEZ-RÍOS, E.; CANIZALES-DÁVILA, M.; CASTILLO-YÁÑEZ, F. J.; PACHECO-AGUILAR, R.; LUGO-SÁNCHEZ, M. E.; GARCÍA-OROZCO, K. D.; GRACIANO-VERDUGO, A. Z. Postmortem changes in cazon fish muscle stored on ice. **Food Chemistry**, v. 116, n. 4, p. 933-938, 2009.

PAYMENT, P. Poor efficacy of residual chlorine disinfectant in drinking water to inactivate waterborne pathogens in distribution systems. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 45, n. 8, p. 709-715, 1999.

PRASERTSAN, P.; CHORIT, W. Problem and solution of the occurrence of red colour in wastewater of seafood processing plant. **Songklanakarin Journal of Science Tehnology**, v. 10, n. 4, p. 439-446, 1988.

PRASERTSAN, P.; CHORIT, W.; SUWANNO, S. Optimisation for growth of *Rhodocyclus gelatinosus* in seafood processing effluents. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 9, n. 5, p. 590-592, 1993.

PRASERTSAN, P.; JUNG, S.; BUCKLE, K. A. Anaerobic filter treatment of fishery wastewater. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 10, n. 1, p. 11-13, 1994.

PRASERTSAN, P.; JATURAPORNPIPAT, M.; SIRIPATANA, C. Utilization and treatment of tuna condensate by photosynthetic bacteria. **Pure and Applied Chemistry**, v. 69, n. 11, p. 2439-2445, 1997.

REPETTO, M.; SEMPRINE, J.; BOVERIS, A. Lipid Peroxidation: chemical mechanism, biological implications and analytical determination. In: CATALA, A. (ed.). **Lipid Peroxidation**. [S.l.]: InTech, 2012, DOI: 10.5772/45943. 2012.

RUIZ-CAPILLAS, C.; MORAL, A. Correlation between biochemical and sensory quality indices in hake stored in ice. **Food Research International**, v. 34, n. 5, p. 441-447, 2001.

SÁNCHEZ-ALONSO, I.; BORDERIAS, A. Technological effect of red grape antioxidant dietary fiber added to minced fish muscle. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 43, n. 6, p. 1009-1018 2008.

SEAFISH INDUSTRY AUTHORITY. **Survey of the UK seafood processing industry**. Scotland: [s.n.], 2012.

SELAMI, S.; SADOKI, S. The effect of natural antioxidant (*Thymus vulgaris* Linnaeus) on flesh quality of tuna (*Thunnus thynnus* (Linnaeus)) during chilled storage. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 3, n. 1, p. 36-45, 2008.

SOARES, N. M.; MENDES, T. S.; VICENTE, A. A. Effect of chitosan-based solutions applied as edible coatings and water glazing on frozen salmon preservation: a pilotscale study. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 2, p. 316-323, 2013.

SOTO-VALDEZ, H.; EZQUERRA-BRAUER, J.; MÁRQUEZ-RIOS, E.; TORRES-ARREOLA, W. Effect of previous chilling storage on quality loss in frozen (-20 °C) sierra (*Scomberomorus sierra*) muscle packed with a low-density polyethylene film containing butylated hydroxytoluene. **Food Science and Technology** (Campinas), Campinas, v. 35, n. 1, p. 202-206, 2015.

SOUZA, A. L. M. de; GUIMARÃES, J. de T.; BRIGIDA, A. I. S.; LUIZ, D. de B.; FRANCO, R. M.; MESQUITA, E. de F. M. de. Qualidade microbiológica no congelamento de peixe-prego. In: SIMPÓSIO DE CONTROLE DE QUALIDADE DO PESCADO (SIMCOPE), VII, 2018, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: Instituto de Pesca, 2018.

STEPNOWSKI, P.; ÓLAFSON, G.; HELGASON, H.; JASTORFF, B. Preliminary study on chemical and physical principles of astaxanthin sorption to fish scales towards applicability in fisheries waste management. **Aquaculture**, v. 232, n. 1-4, p. 293-303, 2004.

THANONKAEW, A.; BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; DECKER, E. A. The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles. **Food Chemistry**, v. 95, n. 4, p. 591-609, 2006.

TOMLJENOVIC, L. Aluminum and Alzheimer's disease: after a century of controversy, is there a plausible link? **J. Alzheimer's Dis.**, v. 23, n. 4, p. 567-98, 2011.

TORRISSEN, O. J. Strategies for salmonid pigmentation. **Journal of Alzheimer's Disease**, v. 11, p. 276-281, 1995.

VENUGOPAL, V. **Seafood Processing**: adding value through quick freezing, retortable packing and cook-chilling. Boca Raton: CRC, 2006.

WASTEWATER **characterization** of fish processing plant effluents: New Westminster, B.C.: Fraser River Estuary Management Program, 1994. 94 p. (Technical Report Series ; DOE FRAP 1993-39).

WILLS, M. R.; SAVORY, J. Aluminium poisoning: dialysis, encephalopathy, osteomalacia and anemia. **Lancet**, v. 2, n. 8340, p. 29-34, 1983.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Chloride in drinking-water**. Geneva: World Health Organization, 2003b.

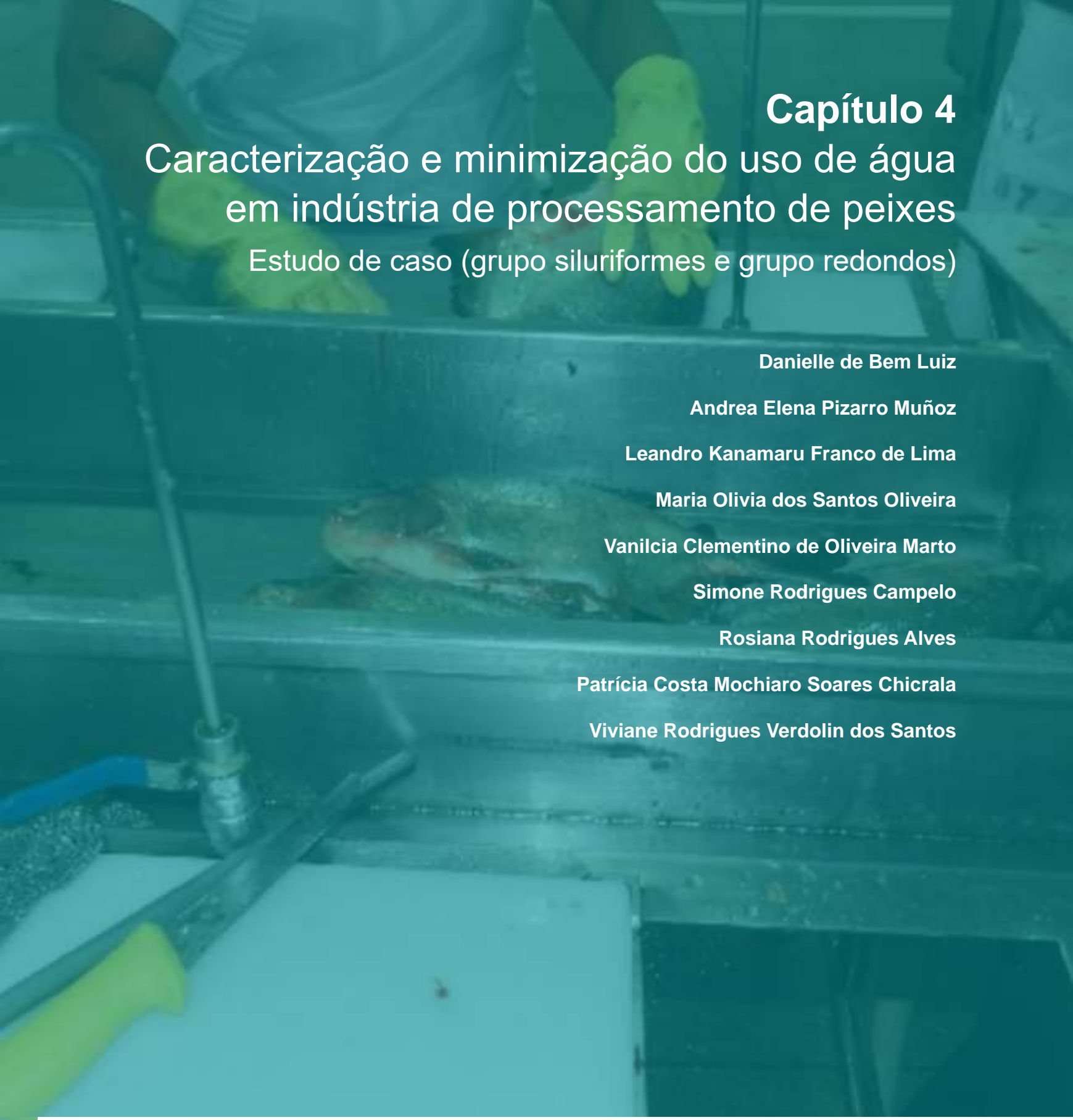
WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. 4. ed. Geneva, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Iron in Drinking-water**. Geneva, 2003a.

YILMAZ, A. B.; SANGÜN, M. K.; YAGLIOGLU, D.; TURAN, C. Metals (major, essential to non-essential) composition of the different tissues of three demersal fish species from İskenderun Bay, Turkey. **Food Chemistry**, v. 123, n. 2, p. 410-415, 2010.

ZHANG, B.; MA, L.; DENG, S.; XIE, C.; QIU, X. Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging. **Food Control**, v. 51, p. 114-121, 2015.





Capítulo 4

Caracterização e minimização do uso de água em indústria de processamento de peixes

Estudo de caso (grupo siluriformes e grupo redondos)

Danielle de Bem Luiz

Andrea Elena Pizarro Muñoz

Leandro Kanamaru Franco de Lima

Maria Olivia dos Santos Oliveira

Vanilcia Clementino de Oliveira Marto

Simone Rodrigues Campelo

Rosiana Rodrigues Alves

Patrícia Costa Mochiaro Soares Chicrala

Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos

Introdução

A indústria de pescado é conhecida pelo elevado uso e consumo de recursos hídricos e pela geração de quantidade significativa de efluentes (United Nations Environment Programme, 2000). No Brasil, o Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) determina que a instalação de estabelecimentos industriais de pescado com vistas à produção de produtos frescos e congelados deve ser provida de abastecimento de água potável, à pressão e quantidade suficientes, recomendando-se, no mínimo, cinco litros de água para cada quilograma de matéria-prima a ser processada (Brasil, 2007). Entretanto, não há dados que indiquem a quantidade mínima de água necessária para o processamento de peixes, considerando diferentes aspectos, como as espécies a serem processadas e os tipos de produto final. Essa informação, uma vez obtida, serviria de base para a formulação da política regulatória e nortear a adoção de estratégias no gerenciamento hídrico das indústrias de pescado dentro de um contexto de produção mais limpa – *cleaner production*.

Há relatos de uso de água em fábricas de pescado da província canadense Colúmbia Britânica variando de 2,9 L/kg a 228 L/kg de produto a ser processado (matéria-prima) (Chowdhuty et al., 2010). Na Tailândia, o enlatamento de atum utiliza 13,0 L de água/kg de produtos beneficiados (Uttamangkabovorn et al., 2005); e em Portugal, o uso é de 9,0 L/kg no processamento de sardinha (Proença et al., 2000). No Brasil, há relatos de uso de 2,5 L/kg a 10,48 L/kg de produto a ser processado (matéria-prima) nas etapas do processamento de dourado-do-mar (posta e filé), salmão (filé sem espinha e sem pele) e peixes nativos (frescos e eviscerados) (Sousa et al., 2018; Ferracioli et al., 2018).

Experiências exitosas com a aplicação de técnicas de produção mais limpa em indústrias de pescado demonstraram que é possível alcançar reduções no uso de água na ordem de até 32 % (Uttamangkabovorn et al., 2005; Bezama et al., 2012). Souza et al. (2008) demonstraram a diminuição do uso de recurso hídrico na etapa de filetagem de tilápias em até 98,16 % apenas instalando dispositivos de controle de fluxo de água individuais nas mesas de evisceração, sendo essa etapa responsável por cerca de 60 % do uso de água de todo o processamento.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi quantificar o uso mínimo de água necessário para processar peixes nativos dos grupos redondos e siluriformes, conforme padrão microbiológico indicado pela legislação. Para tanto, foi realizado um balanço hídrico (quantificação do uso de água) em cada etapa do processamento em uma indústria que processa tais peixes, concomitantemente, análises microbiológicas da matéria-prima e do produto foram realizadas para garantir a segurança do alimento. Essa caracterização é necessária para indicar onde há desperdícios de água e em quanto o uso deste insumo pode ser reduzido.

Grupo siluriformes: pintado de água doce, surubim, cachara e híbridos

A ordem Siluriforme é a segunda maior ordem de peixes neotropicais de água doce, conhecidos como peixes de couro. A família Pimelodidae compreende entre 50 a 60 gêneros e 300 espécies (Torrice et al., 2009). O surubim – assim também conhecido o pintado, a cachara e seus híbridos – é um peixe que apresenta cabeça achatada e volumosa tomando boa parte do corpo. Devido a sua coloração clara, textura firme e sabor que agrada aos mais requintados paladares, a carne dos surubins ocupa posição de destaque entre as mais nobres carnes de peixes comercializadas no mundo. Outra característica importante dos surubins é o rendimento de carcaça e filé superior ao observado para outros peixes criados em escala comercial. Nesse contexto, o surubim se destaca comercialmente, sendo um dos mais processados pelas indústrias no estado do Tocantins. Essa informação foi obtida por meio de um questionário aplicado aos empresários e seus respectivos representantes no início das atividades do estudo.

O surubim é considerado como “peixe de primeira” devido à ausência de espinhas, procura e preço de mercado (Godinho; Godinho, 2003 citado por Crepaldi et al., 2006). Em suas mais variadas formas de apresentação (sem cabeça e eviscerado, filé e postas), o surubim é considerado produto nobre e de marketing já consolidado no mercado nacional. Sua carne de coloração clara e textura firme apresenta sabor pouco acentuado, baixo teor de gordura e ausência de espinhas intramusculares, o que a torna adequada aos mais variados usos e preparos, agradando ao mais exigente e requintado paladar (Kubitza et al., 1998 citado por Crepaldi et al. 2006). Tais características atendem às preferências do consumidor de carne de peixes e fazem da carne do surubim um produto muito apreciado no mercado doméstico e externo, portanto, com grande apelo à exportação.

Em 2020, de acordo com a pesquisa pecuária municipal do IBGE, foram produzidas 11.621,35 t de pintado, categoria de pescado que inclui, além desta espécie, cachara, cachapira (híbrido de pirarara com cachara), pintachara (híbrido de pintado com cachara) e surubim. Este montante, que cresceu 6,8 % em relação à quantidade apurada em 2019, representou 2,1 % do total da aquicultura nacional em quantidade e 2,33 % em valor. A propósito, em valores, o crescimento em relação ao ano anterior é ainda mais significativo, alcançando 12,35 %, o que reforça a imagem de espécie de alto valor agregado dentre as espécies comerciais da aquicultura nacional. O esforço para aumento da produção em cativeiro nos últimos anos se justifica, entre outras razões, para compensar a queda dos estoques oriundos da pesca extrativa, majoritariamente da região do pantanal do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, bem como da Amazônia brasileira, sobretudo nos rios Madeira, Solimões e Amazonas, situados entre as cidades de Manaus, AM até Belém, PA.

Dados do projeto Campo Futuro da Aquicultura, desenvolvido através de parceria entre Embrapa e Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), mostraram que o preço do quilograma de pintado pago ao produtor em Sorriso – MT, maior polo de produção da espécie no país, se manteve estável ao redor de R\$ 6,00/kg em 2014 (Muñoz et al., 2014). Na maior central de distribuição do país, Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), o preço mais comum para o pintado de cativeiro no atacado, registrado na data de 20/04/2016, foi de R\$ 11,50/kg (Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo, 2016).

Grupo redondos: tambaqui, caranha, pacu, híbridos

A produção em cativeiro de peixes redondos, que inclui o tambaqui, o pacu, a pirapitinga e seus híbridos, em 2020 representou aproximadamente 25 % do total de peixes produzidos pela aquicultura, perdendo em volume somente para a tilápia que, por sua vez, foi responsável por volta de 55 % da produção do pescado produzido pela aquicultura no Brasil neste ano (IBGE, 2020). Entre os redondos, destaca-se o tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Cuvier, 1818), peixe da ordem dos Characiformes, família Characidae e gênero *Colossoma*. É a principal espécie nativa cultivada no país, cuja produção em 2020 atingiu a marca de 100.570 t. De acordo com o IBGE, os principais estados produtores da espécie no ano indicado foram Rondônia, Mato Grosso, Roraima, Maranhão e Amazonas.

Com base em dados fornecidos pela Superintendência Federal de Agricultura do estado do Tocantins e pela indústria parceira, o tambaqui foi a espécie selecionada para representar o grupo de peixes redondos no estudo, sendo a principal espécie, em volume, processada nas indústrias do Tocantins em 2015. Apresenta carne de coloração clara e sabor suave, com presença de espinhas em “y” na região lombar. Sua comercialização é feita, tradicionalmente, na forma de “peixe fresco eviscerado” com peso variando de 700 g a 4,0 kg e rendimento de carcaça em torno de 90 %.

Dentre as principais vantagens do tambaqui aos piscicultores, destacam-se a facilidade de obtenção de juvenis, bom potencial de crescimento e alta rusticidade. O crescimento da cadeia produtiva do tambaqui é impulsionado pela redução nos estoques naturais desse animal e qualidade superior quando produzido em cativeiro. Servem também como estímulos as margens de lucro atrativas e grande aceitação pelo mercado consumidor, sobretudo na região Norte do país. É crescente o interesse por cortes de peixe mais elaborados, nos quais o tambaqui se destaca pela grande possibilidade, como banda de tambaqui, filé sem espinhas, costela e lombo sem espinhas.

Apesar de o tambaqui apresentar um custo de produção mais elevado que a tilápia, considerando a produção em viveiros escavados para ambas as espécies, ele atinge margens maiores

por causa do melhor preço de venda. Em cinco polos de produção de tambaqui analisados pelo projeto Campo Futuro da Aquicultura entre 2014 e 2015, a saber Palmas, TO, Alta Floresta, MT, Cuiabá, MT, Ariquemes, RO e Pimenta Bueno, RO, as margens foram superiores aos dois polos de tilápia pesquisados, Palotina, PR e Assis Chateaubriand, PR. No caso da produção de Pimenta Bueno, RO, essa margem foi particularmente elevada porque este polo era formado majoritariamente por pequenos piscicultores que vendiam o tambaqui diretamente para varejistas (supermercados, feiras, peixarias), obtendo, assim, maiores preços (R\$ 5,50/kg) (Pedroza Filho et al., 2015).

Material e métodos

Descrição do local de realização

O presente estudo foi conduzido no período de 2 anos, entre 2014 e 2016, em uma indústria de processamento de pescado localizada no estado do Tocantins, na zona rural do município de Almas, TO, distante 323 km de Palmas, capital do estado. A capacidade de operação da indústria de processamento de pescado era de 12 t /dia e produzia peixe fresco eviscerado, sendo o tambaqui seu principal produto, em termos de volume. Entretanto, a indústria também processava outras espécies como surubins, matrinxã, curimatá e piau. A empresa era servida de água de poço artesiano, tratada para alcançar o parâmetro de potabilidade.

O processamento nessa indústria é dividido em dois setores: área suja, onde o peixe fresco inteiro é recebido e acondicionado em monoblocos plásticos com gelo; e área limpa, onde ocorre a transformação do produto em peixe fresco eviscerado. Além do setor de processamento, a indústria é dotada de área administrativa composta por escritório, vestiários, alojamentos e refeitório.

O uso de água referente ao processamento dos peixes ocorre, primeiramente, na área suja, quando o peixe passa por uma limpeza inicial no cilindro de lavagem. Na sequência, é direcionado à área limpa para a mesa de evisceração, onde é feita uma incisão ventral e, após a retirada das vísceras, é feita uma lavagem final individualizada. Em seguida, o produto é acondicionado em monoblocos e, após a pesagem, é adicionado gelo em escama aos monoblocos para a posterior expedição.

Dentro da área limpa ocorre também uso de água para lavagem de piso e equipamentos. Além disso, há o uso de recurso hídrico para fabricação de gelo. Na área suja, o uso é para a lavagem de piso, veículos e monoblocos. A Figura 1 apresenta o fluxograma de funcionamento da indústria, incluindo o processamento, a limpeza e produção de gelo na planta industrial.

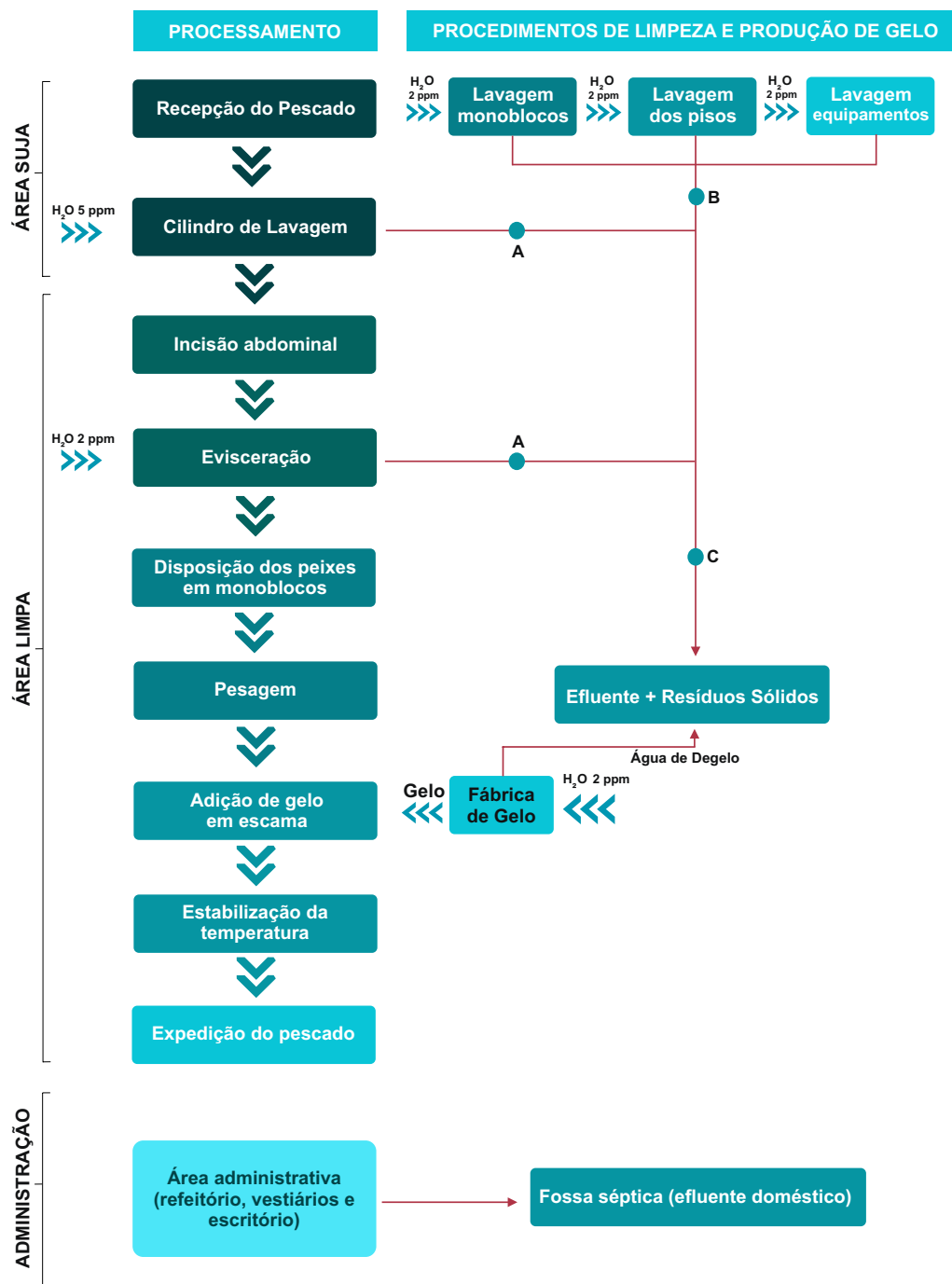


Figura 1. Fluxograma de processamento na indústria piloto.

Levantamento de dados

A definição dos produtos avaliados no presente estudo foi feita com base na análise dos dados fornecidos pela Superintendência Federal de Agricultura (SFA) do estado do Tocantins, com objetivo de identificar as espécies de peixes mais processadas no estado. Além disso, o interesse estratégico da indústria quanto à escolha das espécies e produtos a serem estudados também foi considerado. Dessa forma, definiu-se que o uso de água no processamento dos surubins e do tambaqui, ambos na forma de produto fresco eviscerado, seria o objeto de estudo.

Para entender como a água era utilizada na indústria e a relação entre os critérios de uso de recurso hídrico com o grau de qualidade exigido e com a geração e composição de efluentes na indústria em todas as etapas do processamento, foram avaliados os seguintes documentos: (i) Plano de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC); (ii) manuais de Boas Práticas de Fabricação (BPF) do produto final; (iii) fluxogramas de processos; (iv) projeto hidráulico de captação e distribuição; e (v) os layouts dos setores.

Balanço hídrico

Após a análise dos documentos supracitados, a indústria teve seus setores classificados em duas categorias: A (referente ao uso de água nos setores administrativos) e P (referente ao uso de água no setor de processamento). Essas categorias foram subdivididas de acordo com os fluxos de água, nos seguintes pontos: A_I (alojamento + lavagem de caminhões); A_{II} (vestiários + administração); A_{III} (lavagem de chão externo da indústria); HGP (hidrômetro geral do processamento da indústria); P_I (cilindro de Lavagem); P_{II} (mesa de evisceração); P_{III} (lavagem de botas); P_{IV} (barreira sanitária); P_V (lavagem interna do chão e equipamentos da indústria); P_{VI} (fábrica de gelo); P_{VII} (lavagem de monoblocos); P_{VIII} (perdas no processamento = $HGP - P_I - P_{II} - P_{III} - P_{IV} - P_V - P_{VI} - P_{VII}$); P total (somatório do uso no processamento = P_I a P_{VIII}); uso global (somatório de: P_I a P_{VIII} + A_I a A_{III}). Na Figura 2 é possível visualizar os pontos de instalação dos hidrômetros.

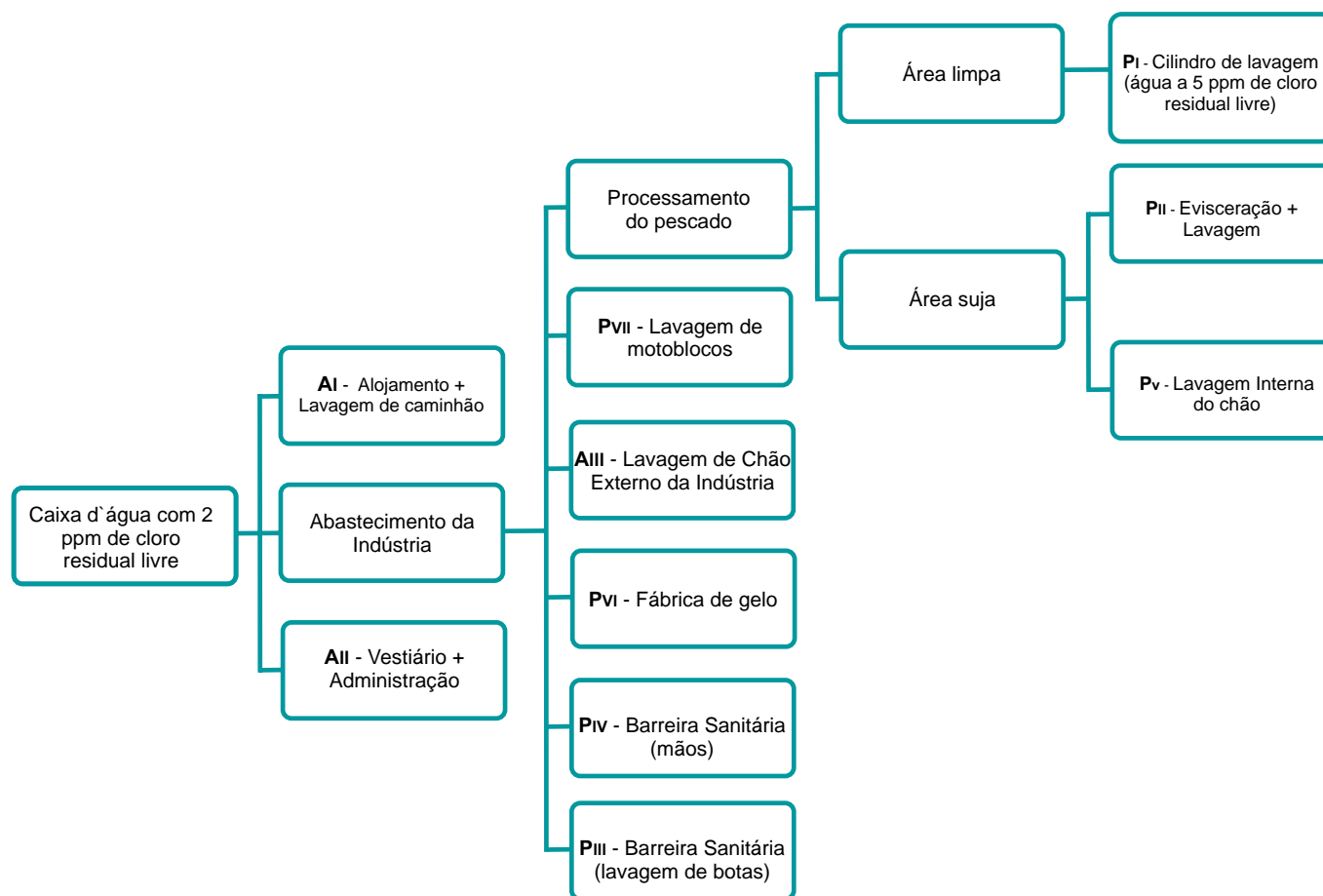


Figura 2. Esquema indicativo dos pontos de instalação dos hidrômetros.

Para aferir a vazão de água em cada ponto de coleta, foram utilizados hidrômetros ultrassônicos da marca Hidrometer com vazão máxima de 3,125 m³/ h. As leituras dos equipamentos instalados nos pontos A_I, A_{II}, A_{III}, P_{III}, P_{IV}, P_V, P_{VI}, P_{VII} e HGP foram feitas imediatamente antes do início do turno de processamento da indústria, com intervalo de 24 horas entre as leituras. O uso de água nesse intervalo e nesses pontos foi, então, obtido por diferença entre os valores aferidos entre uma leitura e a subsequente. O uso por unidade de produto foi obtido dividindo-se esse valor pelo total de produto processado naquele mesmo intervalo de leitura.

Nos pontos P_I e P_{II}, a leitura foi feita imediatamente antes e após o processamento de cada lote de tambaqui ou surubim processados; e o cálculo de água usada por lote foi obtido por diferença entre as leituras feitas antes e após o processamento dos lotes, que eram compostos por, no mínimo, 100 kg de peixe.

Para calcular a quantidade de água usada por unidade de massa de produto processado, as quantidades de matéria-prima (peixe fresco) e de produto acabado (peixe fresco eviscerado) foram pesadas antes e após o processamento. Esse cálculo foi obtido por meio da Equação 1:

[Equação 1]
$$V_x = \frac{H_{f,x} - H_{i,x}}{y}$$

em que:

X = ponto de instalação do hidrômetro

V_x = uso de água no ponto X por unidade de massa de produto processado (volume/massa: L/kg)

Leitura $H_{i,x}$ = leitura do hidrômetro do ponto X antes do processamento (L)

Leitura $H_{f,x}$ = leitura do hidrômetro do ponto X após o processamento (L)

y = quantidade de produto processado (kg)

Avaliação da quantidade mínima de água para processamento: estabelecimento de padrões de beneficiamento

A determinação dos valores de quantidade mínima de água para processamento de tambaqui e surubins foi feita a partir de um diagnóstico prévio do uso de água na indústria (balanço hídrico inicial). Esse diagnóstico foi feito calculando o uso de água em cada um dos pontos da linha de processamento onde foram instalados os hidrômetros e o uso total. Nessa fase, o objetivo foi identificar os pontos críticos de uso de água e, a partir do resultado obtido, propor intervenções físicas, gerenciais e/ou de procedimentos de manipulação capazes de reduzir o uso de água nesses pontos e, conseqüentemente, no uso total. Para calcular o balanço hídrico inicial, o diagnóstico prévio foi feito a partir da leitura dos hidrômetros no processamento de dezenove lotes de tambaqui e quatro de surubins. Cada um deles era composto de pelo menos 100 kg de matéria-prima (peixe fresco inteiro).

Após a implementação das modificações físicas, gerenciais e/ou de procedimentos, sugeridas a partir dos resultados da etapa anterior, fez-se um novo balanço hídrico. Nessa fase, o objetivo foi quantificar o uso de água em cada um dos pontos onde foram instalados os hidrômetros verificando, assim, a redução em função dessas modificações. Para calcular o balanço hídrico final foram consideradas as leituras dos hidrômetros no processamento de seis lotes de tambaqui e cinco de surubins. Cada um deles era composto de pelo menos 100 kg de matéria-prima (peixe fresco inteiro).

Nessas duas etapas, o balanço hídrico foi feito considerando o uso de água por quilograma de produto acabado (peixe fresco eviscerado) e por quilograma de matéria-prima (peixe fresco inteiro), relativo aos usos total da indústria, nas etapas do processamento propriamente dito e nos

pontos críticos de uso identificados no diagnóstico inicial. Os resultados foram expressos em litros/quilograma de produto.

Análises microbiológicas de peixe

Paralelamente, foi avaliada a qualidade microbiológica do pescado na fase de diagnóstico e após a implementação das modificações mencionadas anteriormente. O objetivo foi verificar se tais alterações comprometeriam a qualidade microbiológica do pescado. Para tanto, avaliou-se o grau de contaminação do produto com *Staphylococcus aureus*, de acordo com a Resolução RDC nº331, de 23 de dezembro de 2019 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (Brasil, 2019a) e IN nº 60, de 23 de dezembro de 2019 (Anvisa) (Brasil, 2019b), que dispõe sobre o padrão microbiológico dos alimentos e sua aplicação, incluindo pescado e produtos de pesca.

O plano de amostragem realizado para avaliação do grau de contaminação do produto com *Staphylococcus aureus* foi o de três classes que, de acordo com o Regulamento Técnico Sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos (Brasil, 2019a; Brasil 2019b) (RDC nº331, de 23 de dezembro de 2019 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária e Instrução Normativa nº 60 de 23 de dezembro de 2019), deve ser aplicado quando a unidade amostral a ser analisada pode ser classificada em: (i) aceitável, (ii) qualidade intermediária aceitável ou (iii) inaceitável, em função dos limites **m** e **M**, sendo:

- a) **m**: o limite que separa o lote aceitável do produto ou lote com qualidade intermediária aceitável.
- b) **M**: o limite que separa o lote com qualidade intermediária aceitável do lote inaceitável. Valores acima de **M** são inaceitáveis.
- c) **n**: o número de unidades a serem colhidas aleatoriamente de um mesmo lote e analisadas individualmente.
- d) **c**: o número máximo aceitável de unidades de amostras com contagens entre os limites de **m** e **M** (plano de três classes).

Além disso, essa RDC estabelece um número máximo aceitável de unidades de amostra com contagem entre os limites **m** e **M**, designado por **c** (Tabela 1). As demais unidades (**n** menos **c**) devem apresentar valores menores ou iguais a **m**. Nenhuma das unidades **n** pode apresentar valores superiores a **M**. Os parâmetros estabelecidos pela RDC nº 311 e IN nº 60 (Brasil, 2019a, 2019b) são os que se seguem na Tabela 1.

Tabela 1. Tolerância para amostra representativa de pescado (peixes, crustáceos, moluscos) e miúdos (ovas, moela, bexiga natatória) crus, temperados ou não, frescos, resfriados ou congelados ⁽¹⁾.

Micro-organismo	n	c	m	M
Estafilococcus coagulase positiva/g	5	2	5 x 10 ² UFC/g	10 ³ UFC/g

⁽¹⁾ **m** = limite que separa o lote aceitável do produto ou lote com qualidade intermediária aceitável em um plano de três classes; **M** = limite que separa o lote com qualidade intermediária aceitável do lote inaceitável em um plano de três classes (valores acima de M são inaceitáveis); **n** = número de unidades a serem colhidas aleatoriamente de um mesmo lote e analisadas individualmente; **c** = número máximo aceitável de unidades de amostras com contagens entre os limites de **m** e **M** em um plano de três classes.

Fonte: Brasil (2019a, 2019b).

As análises microbiológicas foram realizadas em dois momentos: o primeiro foi na etapa de diagnóstico e o segundo foi após as modificações implementadas na indústria. Para cada etapa foram coletadas amostras de quatro lotes distintos de peixes para a realização das análises microbiológicas. De cada lote eram coletados quatro peixes em dois pontos da linha: antes do processamento (peixe inteiro) e após o processamento (produto acabado: peixe fresco eviscerado), totalizando 32 amostras para cada espécie (4 lotes x 4 peixes x 2 pontos).

As amostras foram coletadas por manipuladores treinados, paramentados com luvas estéreis, jalecos e máscaras e, posteriormente, acondicionadas em sacos estéreis identificados. Estes sacos foram imediatamente vedados e dispostos em caixas térmicas com gelo em escama em quantidade suficiente para garantir que a temperatura fosse mantida em 5 °C aproximadamente. As amostras foram mantidas resfriadas e imediatamente encaminhadas ao laboratório de microbiologia da Embrapa Pesca e Aquicultura, em Palmas, TO, em um percurso que durava aproximadamente 5 horas. Ao chegarem ao laboratório, os sacos foram abertos em uma capela de fluxo laminar. Em seu interior foram retiradas subamostras em dois pontos do pescado, com auxílio de um bisturi estéril, sempre do lado esquerdo para que houvesse uma padronização, e cortadas em cubos de aproximadamente 1 cm³ (Figura 3).



Foto: Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos.

Figura 3. Localização dos pontos de retiradas das subamostras.

As subamostras foram repicadas em pedaços de aproximadamente 0,5 cm x 0,5 cm e, então, misturadas, formando uma amostra composta para cada peixe. Dez gramas desse material foram acondicionados em saco estéril (apropriado para Stomacher) com capacidade para 532 mL. Em seguida, adicionaram-se 190 mL de água peptonada tamponada estéril ao saco (Figura 4). As amostras foram homogeneizadas em Stomacher por 30 segundos. Desse saco, retirou-se 1 mL de amostra, que foi depositada em Placa 3M™ Petrifilm™ para contagem rápida de *Staphylococcus* (Figura 5). As placas foram, então, incubadas em estufa a 37 °C por 24 horas. Finalizado esse tempo, procederam-se às leituras das placas com o auxílio de leitor de placas.

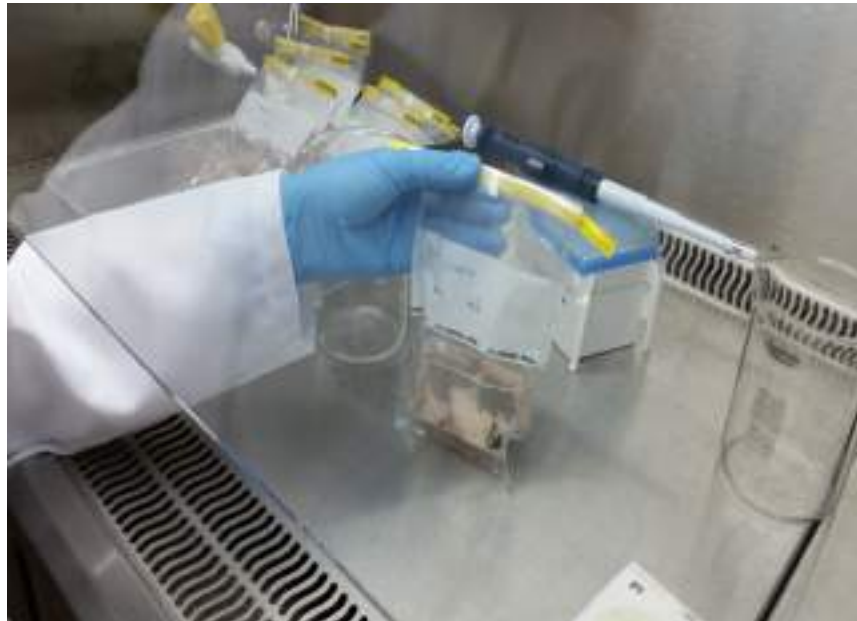


Foto: Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos

Figura 4. Adição de água peptonada.

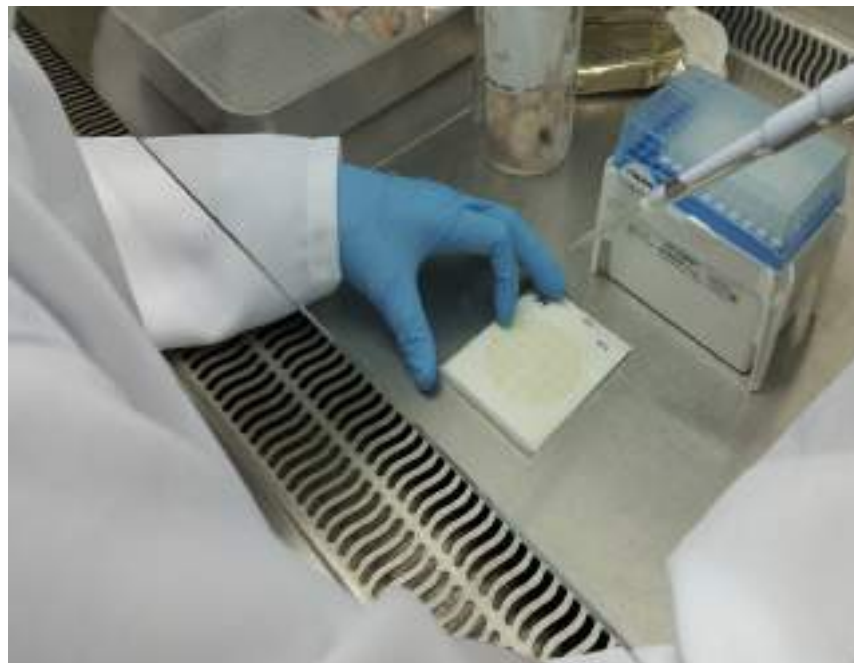


Foto: Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos.

Figura 5 . Adição de 1 mL de amostra à placa.

Análises estatística

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do Programa R (*R Core Team, 2015*), onde os dados foram submetidos ao teste de normalidade das variáveis, de Shapiro-Wilk e de homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Quando comprovadas a normalidade e homogeneidade, realizou-se a análise de variância dos resultados, com aplicação do teste F para detecção de significância no nível de $p < 0,05$, seguido do teste de Tukey para comparação das médias dos tratamentos.

Análise Econômica

Após a definição das possibilidades de minimização e estabelecimento dos padrões de beneficiamento, preservando a qualidade do produto, com determinação da quantidade mínima de água a ser utilizada por quilograma de pescado em cada etapa de processamento, procedeu-se à análise dos impactos econômicos gerados pela tecnologia em avaliação, comparativamente à tecnologia adotada anteriormente, através da metodologia do excedente econômico. Essa análise ocorreu levando-se em consideração apenas os dados referentes ao grupo redondo (tambaqui), por ser o principal produto da indústria-alvo do estudo, as alterações no volume de produção, no preço e nas características de mercado da espécie/produto final.

O principal tipo de impacto econômico gerado pela tecnologia em análise refere-se à redução de custos. Para medir o benefício econômico advindo desse impacto, foram calculados indicadores financeiros, obtidos pela construção de fluxo de caixa, conforme metodologia proposta por Matsunaga (1976). A análise levou em consideração alterações na quantidade de produção, no preço e nas características de mercado da espécie/produto. Do lado das saídas do fluxo financeiro, o investimento necessário para as mudanças previstas, os custos de captação e tratamento de água e de efluentes gerados, economia de energia (bombeamento de água, água aquecida etc.) e de insumos (produtos químicos) foram fatores considerados.

Resultado e discussão

Balanco hídrico

Os resultados do balanço hídrico inicial e final são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Balanço hídrico inicial e final do processamento de tambaqui.

Etapas	Tambaqui		Tambaqui	
	L/kg de matéria-prima (MP)		L/kg de produto acabado (PA)	
	BH inicial	BH final	BH inicial	BH final
A _I	1,57 ± 0,00 ^A	1,57 ± 0,00 ^A	1,78 ± 0,00 ^a	1,78 ± 0,00 ^a
A _{II}	1,61 ± 0,00 ^A	1,61 ± 0,00 ^A	1,83 ± 0,00 ^a	1,83 ± 0,00 ^a
A _{III}	0,02 ± 0,00 ^A	0,02 ± 0,00 ^A	0,02 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,00 ^a
P _I	0,66 ± 0,00 ^A	0,66 ± 0,00 ^A	0,77 ± 0,00 ^a	0,77 ± 0,00 ^a
P _{II}	4,92 ± 1,87 ^A	1,63 ± 0,15 ^B	5,69 ± 2,16 ^a	1,75 ± 0,15 ^b
P _{III}	0,01 ± 0,00 ^A	0,01 ± 0,00 ^A	0,02 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,00 ^a
P _{IV}	0,03 ± 0,00 ^A	0,03 ± 0,00 ^A	0,03 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,00 ^a
P _V	0,44 ± 0,00 ^A	0,44 ± 0,00 ^A	0,50 ± 0,00 ^a	0,50 ± 0,00 ^a
P _{VI}	0,90 ± 0,00 ^A	0,90 ± 0,00 ^A	1,02 ± 0,00 ^a	1,02 ± 0,00 ^a
P _{VII}	0,15 ± 0,00 ^A	0,15 ± 0,00 ^A	0,17 ± 0,00 ^a	0,17 ± 0,00 ^a
P _{VIII}	1,21 ± 0,00 ^A	1,21 ± 0,00 ^A	1,01 ± 0,00 ^a	1,01 ± 0,00 ^a
P _{total (PI a PVIII)}	7,87 ± 1,87 ^A	5,05 ± 0,15 ^B	8,66 ± 2,16 ^a	5,26 ± 0,15 ^b
Uso global	11,08 ± 1,87 ^A	8,26 ± 0,15 ^B	12,30 ± 2,16 ^a	8,90 ± 0,15 ^b

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na mesma linha e médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). *A_I (alojamento + lavagem de caminhões); A_{II} (vestiários + administração); A_{III} lavagem de chão externo da indústria; HGP (hidrômetro geral do processamento da indústria); P_I (cilindro de lavagem); P_{II} (mesa de evisceração); P_{III} (lavagem de botas); P_{IV} (barreira sanitária); P_V (lavagem interna do chão e equipamentos da indústria); P_{VI} (fábrica de gelo); P_{VII} (lavagem de monoblocos); P_{VIII} (perdas no processamento = HGP - P_I - P_{II} - P_{III} - P_{IV} - P_V - P_{VI} - P_{VII}); P_{total} (somatório do uso no processamento = P_I a P_{VIII}); uso global (somatório de: P_I a P_{VIII} + A_I a A_{III}).

Na fase de diagnóstico foi verificado que o uso de água para o processamento do tambaqui foi de 11,08 L/kg de matéria-prima (MP) processada, ou seja, 11,08 L/kg de tambaqui inteiro que chega na indústria, sendo mais que o dobro recomendado pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento: 5 L/kg de MP (Brasil, 2007). Se considerar a relação volume de água: quantidade de produto acabado (peixe fresco eviscerado), esse cenário ficaria ainda mais crítico, totalizando 12,30 L/kg de produto acabado (PA). Esse quadro se repetiu para o surubim, que apresentou valores da ordem de 13,19 L/kg de MP e 14,86 L/kg de PA.

Tabela 3. Balanço hídrico inicial e final do processamento de surubim.

Etapas	Surubim L/kg de matéria-prima (MP)		Surubim L/kg de produto acabado (PA)	
	BH inicial	BH final	BH inicial	BH final
A _I	3,31 ± 0,00 ^A	3,21 ± 0,00 ^A	3,75 ± 0,00 ^a	3,75 ± 0,00 ^a
A _{II}	2,51 ± 0,00 ^A	2,51 ± 0,00 ^A	2,84 ± 0,00 ^a	2,84 ± 0,00 ^a
A _{III}	0,06 ± 0,00 ^A	0,06 ± 0,00 ^A	0,07 ± 0,00 ^a	0,07 ± 0,00 ^a
P _I	0,72 ± 0,00 ^A	0,72 ± 0,00 ^A	0,80 ± 0,00 ^a	0,80 ± 0,00 ^a
P _{II}	3,20 ± 0,98 ^A	1,15 ± 0,21 ^B	3,56 ± 1,09 ^a	1,23 ± 0,23 ^b
P _{III}	0,04 ± 0,00 ^A	0,04 ± 0,00 ^A	0,05 ± 0,00 ^a	0,05 ± 0,00 ^a
P _{IV}	0,02 ± 0,00 ^A	0,02 ± 0,00 ^A	0,03 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,00 ^a
P _V	0,43 ± 0,00 ^A	0,43 ± 0,00 ^A	0,50 ± 0,00 ^a	0,50 ± 0,00 ^a
P _{VI}	0,94 ± 0,00 ^A	0,94 ± 0,00 ^A	1,07 ± 0,00 ^a	1,07 ± 0,00 ^a
P _{VII}	0,33 ± 0,00 ^A	0,33 ± 0,00 ^A	0,37 ± 0,00 ^a	0,37 ± 0,00 ^a
P _{VIII}	1,62 ± 0,00 ^A	1,62 ± 0,00 ^A	1,84 ± 0,00 ^a	1,84 ± 0,00 ^a
P _{total (PI a PVIII)}	7,31 ± 0,98 ^A	5,26 ± 0,21 ^B	8,20 ± 1,09 ^a	5,87 ± 0,23 ^b
Uso global	13,19 ± 0,98 ^A	11,14 ± 0,21 ^B	14,86 ± 1,09 ^a	12,53 ± 0,23 ^b

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na mesma linha e médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). *A_I (alojamento + lavagem de caminhões); A_{II} (vestiários + administração); -A_{III} lavagem de chão externo da indústria; HGP (hidrômetro geral do processamento da indústria; P_I (cilindro de lavagem); P_{II} (mesa de evisceração); P_{III} (lavagem de botas); P_{IV} (barreira sanitária); P_V (lavagem interna do chão e equipamentos da indústria; P_{VI} (fábrica de gelo); P_{VII} (lavagem de monoblocos); P_{VIII} (perdas no processamento = $HGP - P_I - P_{II} - P_{III} - P_{IV} - P_V - P_{VI} - P_{VII}$); P_{total} (somatório do uso no processamento = P_I a P_{VIII}); uso global (somatório de: P_I a P_{VIII} + A_I a A_{III}).

Em geral, na fase do diagnóstico, o uso de água nos setores administrativos representou, aproximadamente, 29 % e 45 % do total necessário para processar 1 kg de MP de tambaqui (Figura 6) e de surubim (Figura 7), respectivamente. Esses dados demonstram a necessidade de capacitação da equipe de funcionários e gestores da empresa para o uso consciente da água, assim como a necessidade de um estudo mais minucioso neste setor para identificar as estratégias passíveis de adoção, com vistas a reduzir esse valor. É importante ressaltar que, nessa indústria, os funcionários dormem no alojamento, o que contribui para a elevação deste valor total. Neste estudo, as ações focaram no setor de processamento, sugerindo aos gestores da indústria uma avaliação mais criteriosa do setor administrativo.

Balanço hídrico inicial do tambaqui (L/Kg de MP)

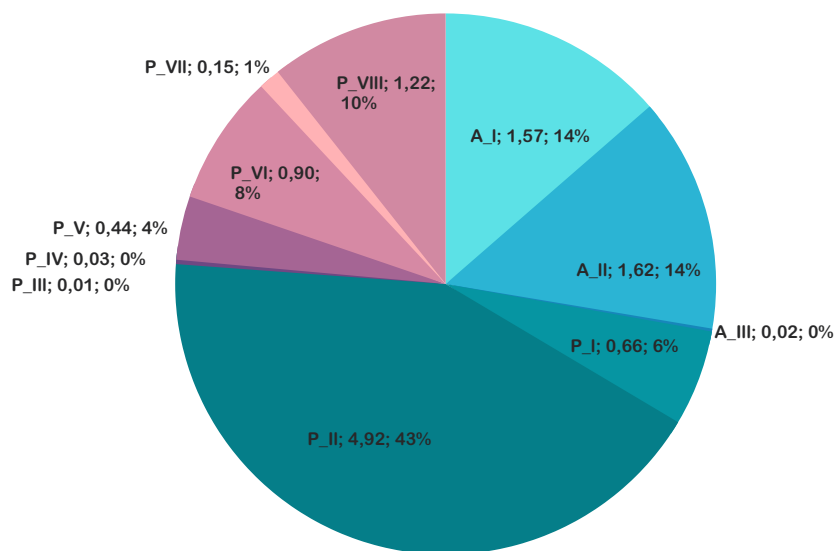


Figura 6. Balanço hídrico inicial do tambaqui – Uso global de água.
 Legenda: consultar item 2.3 Balanço hídrico.

Balanço hídrico inicial do surubim (L/Kg de MP)

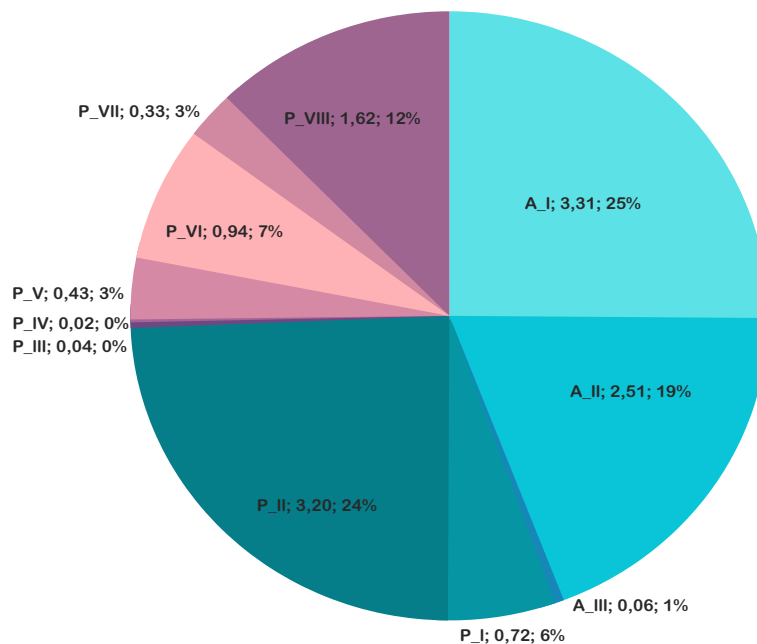


Figura 7. Balanço hídrico Inicial do surubim – Uso global de água.
 Legenda: consultar item 2.3 Balanço hídrico.

O diagnóstico apontou que o ponto mais crítico do uso da água, por unidade de produto, foi a mesa de evisceração (P_{II}), independente da espécie processada (Figura 8). Nessa etapa, o uso era contínuo, apresentando valores de 4,92 L/kg de tambaqui (MP). Já o setor de processamento representou, aproximadamente, 59 % do uso global de água na indústria (Tabela 2).

Para o surubim, o valor encontrado foi menor, na ordem de 3,20 L/kg de MP, na mesa de evisceração e, aproximadamente, 44 % do uso global da água foi representado pelo setor de processamento (Tabela 3). A diferença aferida pode ser atribuída ao menor peso do tambaqui processado nessa indústria, entre 1,5 kg a 2,5 kg, enquanto o peso do surubim variou entre 3,0 kg a 5,0 kg. Desta forma, para processar a mesma quantidade de matéria-prima, era necessário um número maior de exemplares de tambaqui em relação ao surubim, o que demandava a maior quantidade de água devido à necessidade de proceder a limpeza individual dos peixes após a evisceração.

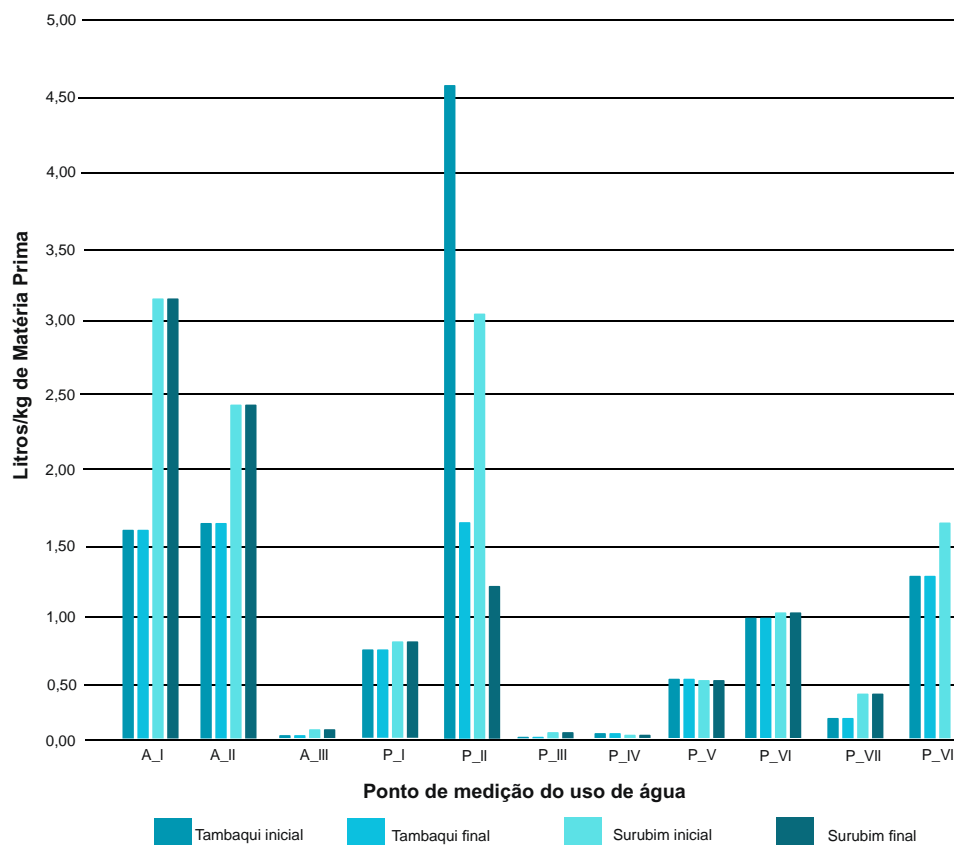


Figura 8. Uso de água por quilograma de matéria-prima processada para tambaqui e surubim (pintado).
Legenda: consultar item 2.3 Balanço hídrico.

O modelo de mesa de evisceração usado na indústria (Figura 9) apresentava abertura central única, onde eram destinados os resíduos sólidos e líquidos rumo à canaleta de escoamento, necessitando de um grande fluxo de água para condução desses resíduos, especialmente os sólidos, que apresentavam riscos de contaminação cruzada. Para promover esse fluxo hídrico contínuo, havia uma tubulação em PVC perfurada acompanhando os contornos da mesa, conferindo uso excessivo de água durante o processamento. Além desse tubo, haviam duchas de pressão com jato único em sistema tubular articulado dispostas ao longo da mesa, usadas individualmente pelos manipuladores na limpeza do peixe após a evisceração.



Foto: Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos.

Figura 9. Mesa de evisceração usada inicialmente. A: tubulação em PVC perfurada. B: abertura central única para destinação de resíduos sólidos e líquidos rumo à canaleta de escoamento.

Ao diagnosticar que o principal ponto crítico de uso de água no processamento de ambos os peixes era a mesa de evisceração, foi proposta uma readequação nesse equipamento e, em seguida a sua modificação, para, então, ser realizado o novo balanço hídrico. A nova mesa tinha um desenho diferenciado (Figura 10): canaleta central, onde eram dispostos os peixes após abertura ventral para proceder a evisceração; e duchas de pressão com jato único em sistema tubular articulado, dispostas ao longo da mesa, usadas individualmente pelos manipuladores na limpeza do peixe após a evisceração (Figuras 10, 11A e 11B); canaletas de escoamento de resíduos sólidos e líquidos, dispostas para uso individual pelos manipuladores.



Foto: Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos.

Figura 10. Modelo de mesa de evisceração adotado após a intervenção.

A



B

Foto: Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos.

Figura 11. **A:** Evisceração e limpeza de um exemplar de surubim. **B:** Evisceração e limpeza de um exemplar de tambaqui.

Após a instalação, os resultados apontaram reduções bastante significativas em relação à quantidade de água usada por unidade de produto, considerando ambas as espécies processadas, passando de 3,20 L/kg para 1,15 L/kg de MP de surubim e de 4,92 L/kg para 1,63 L/kg de MP de tambaqui. Esses valores representaram diminuições no uso global de água de 31 % e 17 % na produção de 1 kg de PA fresco e eviscerado, para tambaqui e surubim, respectivamente, o que foi atribuído à cessação do fluxo contínuo de água, característico do modelo de mesa anteriormente utilizado.

Esses resultados corroboram com os apresentados por Amorim et al. (2007) em um estudo realizado em um abatedouro de frango. Esses autores concluíram que o uso desse tipo de ducha de pressão, ativada por toque, pode reduzir em 40 % o uso da água em comparação com a utilização de torneiras convencionais, porque evitam o fluxo contínuo e desnecessário de água. Bezama et al. (2012) relataram que a implementação de medidas de otimização do uso de água nas linhas de produção, como transporte de resíduos sólidos a seco, e regulagens de pressão e dosagem de água nos equipamentos usados no processamento dos peixes, reduziu em 28 % o uso de água e geração de efluente nas indústrias chilenas que foram avaliadas.

Não foram realizadas alterações em outros pontos de uso de água dentro da indústria estudada exceto na mesa de evisceração. No entanto, sugere-se verificar a possibilidade de instalar redutores de vazão nos bicos das demais torneiras e bicos de pressão acionados com gatilho na ponta das mangueiras usadas para a limpeza dos pisos e superfícies. Barana et al. (2014), em um estudo de caso realizado em um frigorífico de aves, alcançaram reduções de até 4 % no uso de água na planta de processamento, o que representou menor custo de produção, menos efluente gerado e, conseqüentemente, maior competitividade do produto. Kupusovic et al. (2007) recomendam spray pressurizado a 25-30 bar para a limpeza de superfícies.

Outra estratégia importante é a adoção de procedimentos padrão no processamento pelos funcionários da indústria, com vistas à minimização do uso de água. Faz-se necessário também o treinamento constante dos colaboradores para a padronização nos procedimentos de limpeza com uso racional de água em todos os turnos de trabalho. Com a implementação desta prática, a indústria de aves estudada por Kist et al. (2009) atingiu 13 % de redução no uso de água. Essas ações são importantes para evitar o desperdício de água potável e serão tão mais eficazes quanto melhor for o monitoramento.

Em suma, os valores encontrados no balanço hídrico realizado na indústria piloto, tanto na forma global quanto no setorizado e por processamento, foram reduzidos visto que a água é um recurso natural que se encontra em estado de escassez em determinadas áreas do Brasil e do mundo. O volume de água destinado para limpeza e higienização como um todo na indústria, somado ao uso nas áreas administrativas e lavagem externa, pode representar aproximadamente 55 % do uso total desse recurso, dependendo do porte da empresa. Esse valor pode ser reduzido com a implementação de ações de *cleaner production*, treinamento, capacitação dos colaboradores e boas práticas de manipulação e fabricação (BPM e BPF), sem que haja perda na qualidade do produto final.

Quanto às atividades administrativas, o uso deve ser racional e deve haver conscientização dos usuários. Neste estudo, o uso de água no administrativo foi de aproximadamente 34 % e 45 % do uso global para o tambaqui e surubim, respectivamente. A água destinada às atividades não

relacionadas a processamento pode representar 40 % do uso global nas indústrias de pescado, cuja área administrativa esteja localizada no mesmo terreno da indústria.

Análises microbiológicas - fase de diagnóstico

Na fase de amostragem dos quatro lotes distintos de tambaqui para a realização das análises microbiológicas, verificou-se que somente uma amostra apresentou grau de contaminação por *S. aureus* acima do limite aceitável, ou seja, valores acima de 10^3 UFC/g. Entretanto, essa amostra foi coletada antes do processamento do peixe, na sala de recepção do pescado, demonstrando que a contaminação ocorreu previamente à chegada do produto à indústria. Esse resultado realça a importância na adoção de boas práticas de manipulação desde a despesca e do transporte dos peixes para evitar a contaminação prévia e perdas de qualidade da matéria-prima. O restante das amostras de tambaqui apresentou grau de contaminação dentro dos limites aceitáveis, ou seja, valores abaixo de 5×10^2 UFC/g, não configurando problemas para o consumo.

Dos lotes de surubim avaliados no diagnóstico, 100 % das amostras estiveram dentro dos padrões aceitáveis de contaminação por *S. aureus*, sendo 16 provenientes da plataforma de recepção do pescado e 16 do ponto de expedição do produto acabado. Simon e Sanjeev (2007), em estudo realizado na Índia, avaliaram a incidência de *S. aureus* em unidades de processamento de peixes e verificaram a ocorrência de contaminação cruzada e condições higiênicas inadequadas durante o processamento, manipulação e estocagem.

O *S. aureus* é amplamente distribuído no meio ambiente. O gênero *Staphylococcus* responde por 45 % das toxinfecções no mundo e a contaminação dos alimentos pode ocorrer por meio de cepas de origem ambiental ou humana durante a fase de produção, manipulação ou estocagem. A avaliação do grau de contaminação por esse patógeno pode ser um indicativo da aplicação de boas práticas de manipulação dos alimentos (Cunha-Neto et al., 2002; Santiago, 2013).

A frequência de contaminação por esse microrganismo é grande e é comum no mundo inteiro a ocorrência de intoxicações alimentares, tendo como causa o consumo de alimentos contendo enterotoxinas produzidas previamente por essa bactéria (Dinges et al., 2000; Lima et al., 2007). As enterotoxinas são formadas durante a multiplicação bacteriana no alimento, destacando-se aqueles de origem animal (Santana et al., 2010).

Os principais reservatórios de *S. aureus* são os animais e o homem, sendo o habitat preferencial dessa bactéria a cavidade nasal do ser humano (Bergdoll, 1959 citado por Santana et al., 2010). A contaminação do alimento ocorre quando há contato de equipamentos, ar, água ou do próprio alimento ou outro objeto com secreções da cavidade nasal de um indivíduo portador do microrganismo (Santana et al., 2010). Além disso, é possível encontrar *S. aureus* em 30 % a

50 % dos indivíduos saudáveis (Santana et al., 2010). Em um estudo conduzido em empresas de pesca no Ceará, Evangelista-Barreto; Vieira (2003), verificaram que 60 % dos funcionários eram portadores de *S. Aureus*, representando um risco para a saúde pública e denotando a necessidade de implantação de programas de controle das condições higiênico-sanitárias nesses estabelecimentos.

Essa bactéria pode ser encontrada no peixe vivo, principalmente na pele, nas brânquias e escamas. Os demais tecidos são contaminados após a morte do animal. Neste sentido, medidas higiênicas devem ser observadas ao longo de toda a cadeia do processamento: no momento de captura, transporte, manuseio e conservação para evitar a proliferação desse patógeno presente no próprio peixe ou oriundo do meio ambiente (FAO 2010; Santiago et al., 2013).

Dentre as boas práticas de manejo empregadas pela indústria de pescado para garantir a sanidade do produto, Butt et al. (2004) destacam: a aprovação de áreas de cultivo, os métodos de captura, o tipo de pescado capturado e seu tamanho, além do processamento imediatamente após a captura. O Decreto nº 10.468, de 18 de agosto de 2020, dispõe sobre o regulamento de inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal (RIISPOA) (Brasil, 2020), apresentando orientações para controle sanitário de pescado.

Análises microbiológicas - após a minimização do uso de água

Após a troca da mesa de evisceração e redução no uso de água, o grau de contaminação dos peixes com *Staphylococcus aureus* foi avaliado, mantendo-se os dois pontos de amostragem: na recepção do pescado (matéria-prima) e após a evisceração e lavagem do peixe (produto acabado).

Dos quatro lotes de tambaqui avaliados, 25 % das amostras de matéria-prima apresentaram padrões de contaminação inaceitáveis (acima de 10^3 UFC/g), sendo duas do lote 1, uma do lote 2 e uma do lote 3, denotando a ocorrência de contaminação prévia do pescado. Desses mesmos lotes, nas análises de produto acabado, duas amostras provenientes de dois lotes distintos apontaram grau de contaminação acima desse limite, ou seja, padrões inadequados para consumo humano. Esses resultados reforçam a necessidade de capacitação das equipes desde os processos de despesca e transporte até o processamento, considerando a manipulação do peixe, limpeza de utensílios, equipamentos, instalações e veículos na indústria.

Nas amostras de surubim, dos quatro lotes avaliados, três chegaram à indústria com alto grau de contaminação, valores acima de M. Entretanto, somente um dos lotes permaneceu com valores inaceitáveis após o produto acabado, demonstrando que o processamento foi capaz de eliminar o agente contaminante do pescado em 75 % dos lotes. Esse resultado reforça ainda mais a ne-

cessidade da adoção das boas práticas de manipulação para melhorar a qualidade do produto acabado.

As etapas de diagnóstico e de intervenção para avaliar uma possível minimização do uso de água valida a premissa de que a qualidade do produto final está diretamente ligada à qualidade da matéria-prima. Reforça-se que as medidas de boas práticas de manejo *ante mortem* e *post mortem* são fundamentais para dirimir riscos de contaminação sanitária em etapas como despesca, transporte, recepção, conservação, manipulação, embalagem, armazenagem e expedição do produto final.

Análise econômica

Nesta etapa, através da gestão dos recursos hídricos aplicados ao processamento dos peixes, com a aquisição de equipamentos adequados e implementação da metodologia de conservação e reutilização da água, foi possível quantificar volumes e valores de uso de água economizados pela empresa, mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Quantificação dos volumes e valores de uso de água economizados pela indústria piloto.

Condições	Vazão (m³/dia)	Custo diário (R\$)	Custo mensal (20 dias úteis) (R\$)	Custo anual (R\$)	Economia financeira (%)
Uso inicial	90	1.095,48	21.909,68	262.916,16	-
Uso após IF+MM	62	749,36	14.987,10	179.845,20	-
Economia com IF+MM	28	346,1	6.922,58	83.070,96	31,6 %
Payback em meses para retorno do investimento	14,8	-	-	-	-

IF = Intervenções Físicas (IF); MM = Possibilidades de Minimização. Nota: Os cálculos consideram: a tarifa da companhia de saneamento local (Odebrecht Ambiental/Saneatins – TO) para fornecimento industrial de volume de água superior a 15 m³ por dia.

A indústria usava, inicialmente, 90 m³ diários de água. Após as intervenções físicas e a aplicação das possibilidades de minimização de uso, este volume foi reduzido a 62 m³ diários. Assim, caso a empresa utilizasse o fornecimento de água da companhia de saneamento local, o volume não gasto resultaria em uma economia mensal de R\$ 6.922,58 e de R\$ 83.070,96 ao ano, equivalente a uma redução financeira de 31,6 %.

O investimento em novos equipamentos totalizou R\$ 102.600,00: mesa de evisceração, estrutura de captação de água e tratamento de efluentes (Tabela 5). Este investimento retornou à empresa em 14,8 meses de economia no uso da água (*payback*).

Tabela 5. Investimento em novos equipamentos na indústria piloto.

Item	Descrição	Valor
Captação de água	Investimento em construção e captação de água	R\$ 41.100,00
Estrutura de tratamento de efluentes	Instalação de estrutura de tratamento de efluentes	R\$ 46.500,00
Mesa de evisceração	-	R\$ 15.000,00
Investimento Total	-	R\$ 102.600,00

A Tabela 6 apresenta a estimativa do custo operacional efetivo e a Tabela 7 os indicadores do custo de operação anual para construção de fluxo de caixa.

Tabela 6. Itens para estimativa do Custo Operacional Efetivo anual para construção de fluxo de caixa da indústria piloto.

Item de dispêndio	Descrição	Valor
Tratamento de água	Custo anual de tratamento de água	R\$ 6.000,00
Tratamento de efluentes	Custo anual de tratamento de efluentes	R\$ 24.000,00
Consumo de energia elétrica	Custo anual de energia elétrica	R\$ 18.432,00
Abastecimento de água	Custo anual estimado de uso de água	R\$ 179.845,20
Mão de obra	Custo anual estimado com folha de pagamento	R\$ 374.400,00
Matéria-prima	Custo anual de aquisição de matéria-prima tambaqui e pintado	R\$ 3.645.000,00
Outros	-	R\$ 674.244,00
Custo Operacional Efetivo	-	R\$ 4.915.921,20

Tabela 7. Estimação do Custo Operacional Efetivo.

Descrição	Valor
RB - Receita Bruta	R\$ 6.742.440,00
COE - Custo Operacional Efetivo	R\$ 4.915.921,20
Depreciação (20 % a.a)	R\$ 10.260,00
Investimento	R\$ 102.600,00
Prazo	10 anos
Juros	8,00 %

Fonte: Adaptado de Matsunaga (1976).

Tabela 7. Estimação do Custo Operacional Efetivo.

O faturamento bruto da indústria foi calculado considerando o volume de tambaqui (principal espécie de peixe processada na indústria piloto) processado por semana, 8.100 kg, totalizando 126.000 kg por mês e 1.134.000 kg por ano, ao preço de venda de R\$ 9,00/kg.

A estimativa do fluxo de caixa da empresa após os investimentos em minimização do uso de água foi equivalente a R\$ 5.028.781,20 no “ano 0” e R\$ 1.816.258,80 nos demais anos (Tabela 8).

Tabela 8. Estimativa do fluxo de caixa da empresa após os investimentos em minimização do uso de água.

Ano	Custo	Receita	Fluxo de Caixa
0	R\$ 5.028.781,20 ⁽¹⁾	-	R\$ 5.028.781,20
1	R\$ 4.926.181,20 ⁽²⁾	R\$ 6.742.440,00	R\$ 1.816.258,80
2	R\$ 4.926.181,20	R\$ 6.742.440,00	R\$ 1.816.258,80
3	R\$ 4.926.181,20	R\$ 6.742.440,00	R\$ 1.816.258,80
4	R\$ 4.926.181,20	R\$ 6.742.440,00	R\$ 1.816.258,80
5	R\$ 4.926.181,20	R\$ 6.742.440,00	R\$ 1.816.258,80
6	R\$ 4.926.181,20	R\$ 6.742.440,00	R\$ 1.816.258,80
7	R\$ 4.926.181,20	R\$ 6.742.440,00	R\$ 1.816.258,80
8	R\$ 4.926.181,20	R\$ 6.742.440,00	R\$ 1.816.258,80
9	R\$ 4.926.181,20	R\$ 6.742.440,00	R\$ 1.816.258,80
10	R\$ 4.926.181,20	R\$ 6.742.440,00	R\$ 1.816.258,80

⁽¹⁾ R\$5.028.781,20 = (custo de implantação das intervenções + custo operacional efetivo) + custo da depreciação dos equipamentos³. ⁽²⁾ R\$ 4.926.181,20 = custo operacional efetivo – custo da depreciação dos equipamentos³. ³Custo anual da depreciação dos equipamentos = R\$ 10.260,20.

Os indicadores da viabilidade econômica, de acordo com Furlaneto e Sperancini (2009), com adaptações, apontaram que a atividade é viável ao longo dos anos a uma taxa de desconto de 8,00 % a.a. (taxa de juros observada na aplicação financeira mais popular, a caderneta de poupança, ao longo do ano 2016) e taxa média de mercado que corresponde a 10 % a.a.

O valor presente líquido (VPL) obtido foi equivalente a R\$ 7.158.463,19 (taxa de desconto de 8,00 % a.a.) e R\$ 6.131.342,88 (taxa de desconto de 10 % a.a.). Outro indicador utilizado para análise da viabilidade de um projeto no decorrer do tempo é a taxa interna de retorno (TIR), que registrou 34,21 %, indicando que o retorno ou o benefício esperado do projeto atende às necessidades do empreendedor.

O tempo necessário para que a soma das receitas nominais líquidas se equiparasse ao valor do investimento inicial, ou seja, o número de anos em que a soma do fluxo de caixa a partir do investimento se torna nulo (*payback* simples), foi de 2,27 anos. O *payback* descontado, que determina o tempo de recuperação do capital no tempo, correspondeu a 3,2 anos (taxa de desconto de 8,00 % a.a.) e 3,4 anos (taxa de desconto de 10 % a.a.). Esses valores, ainda que relativamente superiores aos valores observados no *payback* simples, indicam que as melhorias indicadas pelo projeto proveem retorno do capital em curto período e são viáveis a longo prazo.

Conclusão

Os dados deste estudo contribuem para o mapeamento do uso de água pela indústria de processamento de importantes espécies nativas de peixes (surubins e tambaqui). As ações propostas de alteração de processamento reduziram entre 16 % a 28 % o uso de água fresca no processamento de peixes. Assim, tais ações apresentaram viabilidade econômica, técnica e de segurança, ou seja, proporcionaram um processo modificado com redução do uso de recurso hídrico e com produção de produtos dentro do padrão microbiológico exigido pela legislação nacional.

É de grande importância que os gerentes técnicos e as diretorias considerem a sustentabilidade ambiental e econômica da indústria em suas decisões, incluindo a capacitação das equipes em Boas Práticas de Fabricação (BPFs) e aplicação de técnicas de sistemas de Produção Mais Limpa (P+L) para promover o uso controlado da água. Trabalhos como este são necessários para incentivar a implementação de alternativas de produção mais limpa para as indústrias de processamento de pescado visando otimizar o uso de um insumo finito, a água.

Os benefícios em minimizar o uso de água fresca e potável proporciona vantagens ambientais e econômicas, como a redução de custos de tratamento e insumos (água, reagentes de tratamento de água e efluentes, energia para bombeamento), redução da geração de efluentes, aumento da competitividade da empresa (pois poderá produzir mais com os mesmos custos) e o comprome-

timento da empresa com ações socioambientais para minimizar os riscos de estresse hídrico na região onde está situada.

Referências

AMORIM, A. K. B.; NARDY, I. R.; DEL NERY, V. Water conservation and effluent minimization: case study of a poultry slaughterhouse. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 51, p. 93-100, 2007.

BARANA, A. C.; BOTELHO, V. M. B.; WIECHETECK, G. K.; DOLL, M. M. R.; SIMÕES, D. R. S. Rational use of water in a poultry slaughterhouse in the state of Paraná, Brazil: a case study. *Engenharia Agrícola*, v. 34, n. 1, p.171-178, 2014.

BERGDOLL, M. S.; SURGALLA, M. J.; DACK, G. M. Staphylococcal enterotoxin. Identification of a specific precipitating antibody with enterotoxin-neutralizing property. *Journal of Immunology*, v. 83, p. 334-338, 1959.

BEZAMA, A. VALERIA, H.; CORREA, M.; SZARKA, N. Evaluation of the environmental impacts of a cleaner production agreement by frozen fish facilities in the Biobío region, Chile. *Journal of Cleaner Production*, v. 26, p. 95-100, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de procedimentos para estabelecimento industrial de pescado: produtos frescos e congelados**. Brasília, DF: Mapa: SEAP/PR, 2007. 116 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 331, de 23 de dezembro de 2019. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, n. 249, p. 96, 23 dez. 2019a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece listas de padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, n. 249, p. 133-148, 23 dez. 2019b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 10.468, de 18 de agosto de 2020. Altera o Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, que regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre o regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial da União**, 2020.

BUTT, A. A.; ALDRIDGE, K. E.; SANDERS, C. V. Infections related to the ingestion of seafood. Part II: parasitic infections and food safety. *Infectious Diseases*, v. 4, 2004.

COMPANHIA DE ENTREPÓSITOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO – CEAGESP. **Consulta cotações – preços no atacado**. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/entrepotos/servicos/cotacoes/>. Acesso em: 10 abr. 2016.

CREPALDI, D. V. FARIA, P. M. C.; TEIXEIRA, E. de A.; RIBEIRO, L. P.; COSTA, A. A. P.; MELO, D. C. de; CINTRA, A. P. R.; PRA-DO, S. de A.; COSTA, F. A. A.; DRUMOND, M. L.; LOPES, V. E.; MORAES, V. E. de. O surubim na aquacultura do Brasil. **Revista Brasileira Reprodução Animal**, v. 30, n. 3-4, p. 150-158, 2006.

CUNHA-NETO, A.; SILVA, C. G. M.; STAMFORD, T. L. M. Staphylococcus enterotoxigênicos em alimentos in natura e processados no estado de Pernambuco, Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 3, p. 263-71, 2002.

DINGES, M. M.; ORWIN, P. M.; SCHLIEVERT, P. M. Exotoxins of Staphylococcus aureus. *Clinical microbiology reviews*, v. 13, n. 1, p. 16-34, 2000.

FAO. **Farming the waters for people and food.Proceedings of the Global Conference on Aquaculture**. Rome, 2010.

FERRACIOLLI, L. M. D. V. ; LUIZ, D. de B.; SANTOS, V. R. V. dos; NAVAL, L. P. Reduction in water consumption and liquid effluent generation at a fish processing plant. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, pt. 1, p. 948-956, 2018.

FURLANETO, F.; ESPERANCINI, M. Estudo da viabilidade econômica de projetos de implantação de piscicultura em viveiros escavados. **Informações Econômicas**, SP, v. 39, n. 2, fev. 2009.

IBGE. Coordenação de Agropecuária. **Produção Pecuária Municipal**. Brasília, DF, 2015.

KIST, L. T.; EL MOUTAQI, S.; MACHADO, E. L. Cleaner production in the management of water use at a poultry slaughterhouse of Vale do Taquari, Brazil: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 1200-1205, 2009.

KUPUSOVIC, T.; MIDZIC, S.; SILAJDZIC, I.; BJELAVAC, J. Cleaner production measures in small-scale slaughterhouse industry e case study in Bosnia and Herzegovina. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 378-383, 2007.

LIMA, C. P. S.; SERRANO, N. F. G.; LIMA, A. W. O.; SOUSA, C. P. de. Presença de Microrganismos Indicadores de Qualidade em Farinha e Goma de Mandioca (Manihot esculenta, Crantz). **Revista de Atenção Primária à Saúde**, v. 10, n. 1, p. 14-19, jan./jun. 2007.

MATSUNAGA, M. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-39, 1976.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MUNOZ, A. E. P.; FLORES, R. M. V.; PEDROZA FILHO, M. X.; BARROSO, R. M.; RODRIGUES, A. P. O.; MATAVELI, M. **Piscicultores discutem os custos de produção de pintado em Sorriso-MT**. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014. 5 p. (Informativo Campo Futuro, 4).

PEDROZA FILHO, M. X.; RODRIGUES, A. P. O.; REZENDE, F. P. **Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil**. Brasília, DF: CNA, 2015. 5 p. (CNA. Boletim ativos da aquicultura, 7).

PROENÇA, A. C.; NUNES, M. L.; BARATA, F. Clean technologies in sardine canning industry. In: ASMUNDUR, G.; DLUVA, N. (ed.). **Proceedings of 30 th WEFTA plenary meeting on the Faroe Islands**. [S.l.: s.n.], p. 145-149, 2000.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

SANTANA, E. H. W. BELOTI, V.; ARAGON-ALEGRO, L. C.; MENDONÇA, M. B. O. C. de Estafilococos em alimentos. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, n. 3, p. 545-554, 2010.

SANTIAGO, J. A. S. ARAÚJO, P. F. R.; SANTIAGO, A. P.; CARVALHO, F. C. T. de; VIEIRA, R. H. S. dos F. Bactérias patogênicas relacionadas à ingestão de pescados: revisão. **Arquivos de Ciências do Mar.**, v. 46, n. 2, p. 92-103, 2013.

SIMON, S. S.; SANJEEV, S. Prevalence of enterotoxigenic Staphylococcus aureus in 66 fishery products and fish processing factory workers. **Food control**, v. 18, n. 12, p. 1565-1568, 2007.

SOUZA, M. A.; VIDOTTI, R. M.; OLIVEIRA NETO, A. L. Redução no consumo de efluente gerado em abatedouro de tilápia do nilo através da implantação de conceitos de produção mais limpa (P+L). **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 2, p. 289-296, 2008.

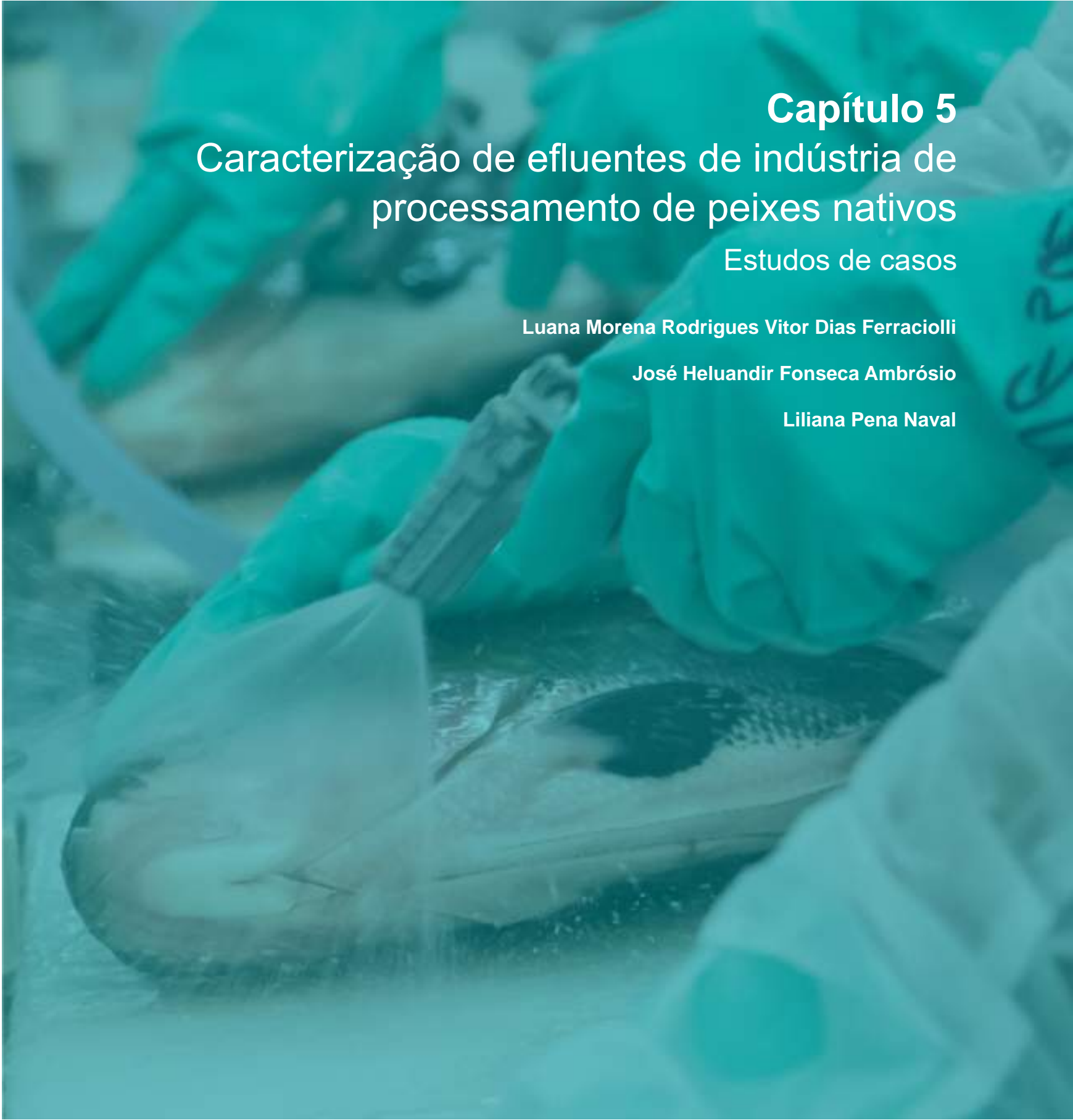
SOUZA, A. L. M.; GUIMARÃES, J. T.; BRIGIDA, A. I. S.; LUIZ, D. de B.; FRANCO, R. M.; MESQUITA, E. F. M. Water management applied to the processing of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) and Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in a fish cold storage warehouse in Rio de Janeiro, Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 4, p. 1240-1248, 2018.

TORRICO, J. P.; HUBERT, N.; DESMARAIS, E.; DUPONCHELLE, F.; NUÑEZ RODRIGUEZ, J.; MONTOYA-CURGOS, J.; GACIA DAVILA, C.; CARVAJAL-VALLEJOS, F. M. M.; GRAJALES, A. A.; BONHOMME, F.; RENNO, J.-F. Molecular phylogeny of the genus *Pseudoplatystoma* (Bleeker, 1862): biogeographic and evolutionary implications. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 51, n. 3, p. 588-594, 2009.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Cleaner production assessment in fish processing**. Paris, 2000.

UTTAMANGKABOVORN, M.; PRASERTSAN, P.; KITTIKUN, H. A. Water conservation in canned tuna (pet food) plant in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, p. 547-555, 2005.





Capítulo 5

Caracterização de efluentes de indústria de processamento de peixes nativos

Estudos de casos

Luana Morena Rodrigues Vitor Dias Ferracioli

José Heluandir Fonseca Ambrósio

Liliana Pena Naval

Introdução

A produção de pescado tem aumentado em todo o mundo. No Brasil, as condições para acompanhar o crescimento mundial são favoráveis devido aos recursos disponíveis, principalmente àqueles relacionados à disponibilidade de recursos hídricos e condições climáticas. Destaca-se, ainda, o implemento de políticas que favoreceram a inovação tecnológica (Vieira filho; Fishlow 2017).

A meta do governo brasileiro, através do Plano de Desenvolvimento da Aquicultura Brasileira 2015-2020, era que o país alcançasse, em 2020, a 5ª colocação na produção mundial de pescado, com a produção de 2 milhões de t por ano. Logo, é estimado que o Brasil obtenha um aumento de 104 % na produção da pesca e aquicultura em 2025 (FAO, 2016), que será a maior registrada na região seguido do México, com 54,2 %, e da Argentina, com 53,9 %, durante a próxima década (FAO, 2016).

Para a produção primária de alimentos, é necessária uma grande quantidade de água nas fases de pré-processamento, processamento e pós-processamento, no transporte e na conservação (Barceló et al., 2011; Simate et al., 2011; Alcaldesanz; Gawlik 2014). Devido aos requisitos de segurança à saúde pública, o consumo de água na indústria de pescado é alto, o que impacta diretamente na geração de efluentes. Entretanto, existem alternativas e possibilidades de redução do consumo hídrico por meio da aplicação de práticas sustentáveis e de estratégias de uso eficiente (Chouwdhury et al., 2010), como as que foram mencionadas nos capítulos anteriores. Estudos mostram que práticas sustentáveis alternativas podem diminuir o consumo de água nos entrepostos de pescado entre 15 % e 97 %, dependendo do tipo de pescado e do processo analisado (Uttamangkabovorn et al., 2005; Souza et al., 2008).

Em vista disso, é preciso considerar o tratamento de efluentes, bem como verificar a possibilidade de tratá-los separadamente. O tratamento de efluentes distribuídos no processo, *in-plant-treatment*, gera mais economia quando comparado ao centralizado no final, *end-of-pipe* (Wang; Smith, 1994). Caso seja realizada a segregação das correntes de efluente, os tratamentos adequados à qualidade do efluente podem ser mais simples do que quando estão misturados.

O tratamento dos efluentes gerados nas diferentes etapas do processamento de pescados pode facilitar não apenas a remoção dos compostos, cujas concentrações devem ser minimizadas para evitar a poluição dos corpos receptores, mas também para que alcancem um padrão de qualidade que permita que o reúso desses efluentes possa ser possível. Para determinar o grau de tratamento a ser atribuído a cada tipo de efluente gerado, a caracterização física, química e microbiológica permite determinar a qualidade, bem como o destino, admitindo uma resposta ao potencial de reúso ou descarte do efluente.

Material e métodos

Quantificação e caracterização dos efluentes

O estudo realizado em um frigorífico situado na região norte do país apresentou uma capacidade de produção de 12 t/dia, com a área industrial subdividida em área suja, destinado ao abate e à primeira lavagem das carcaças; área limpa, destinado à evisceração, limpeza, embalagem; e área administrativa.

O efluente gerado no frigorífico é encaminhado para um sistema de tratamento de águas residuais, constituído de lagoas de estabilização e sumidouro. As espécies processadas, frescas e evisceradas são o tambaqui *Colossoma macropomum*, o matrinxã *Brycon* sp e o pintado *Pseudoplatystoma corruscans*. As diferentes etapas do processamento da indústria são a recepção do pescado, o cilindro de lavagem, a incisão abdominal, evisceração, disposição dos peixes em monoblocos, pesagem, adição de gelo em escama, estabilização da temperatura e expedição do pescado (Figura 1).

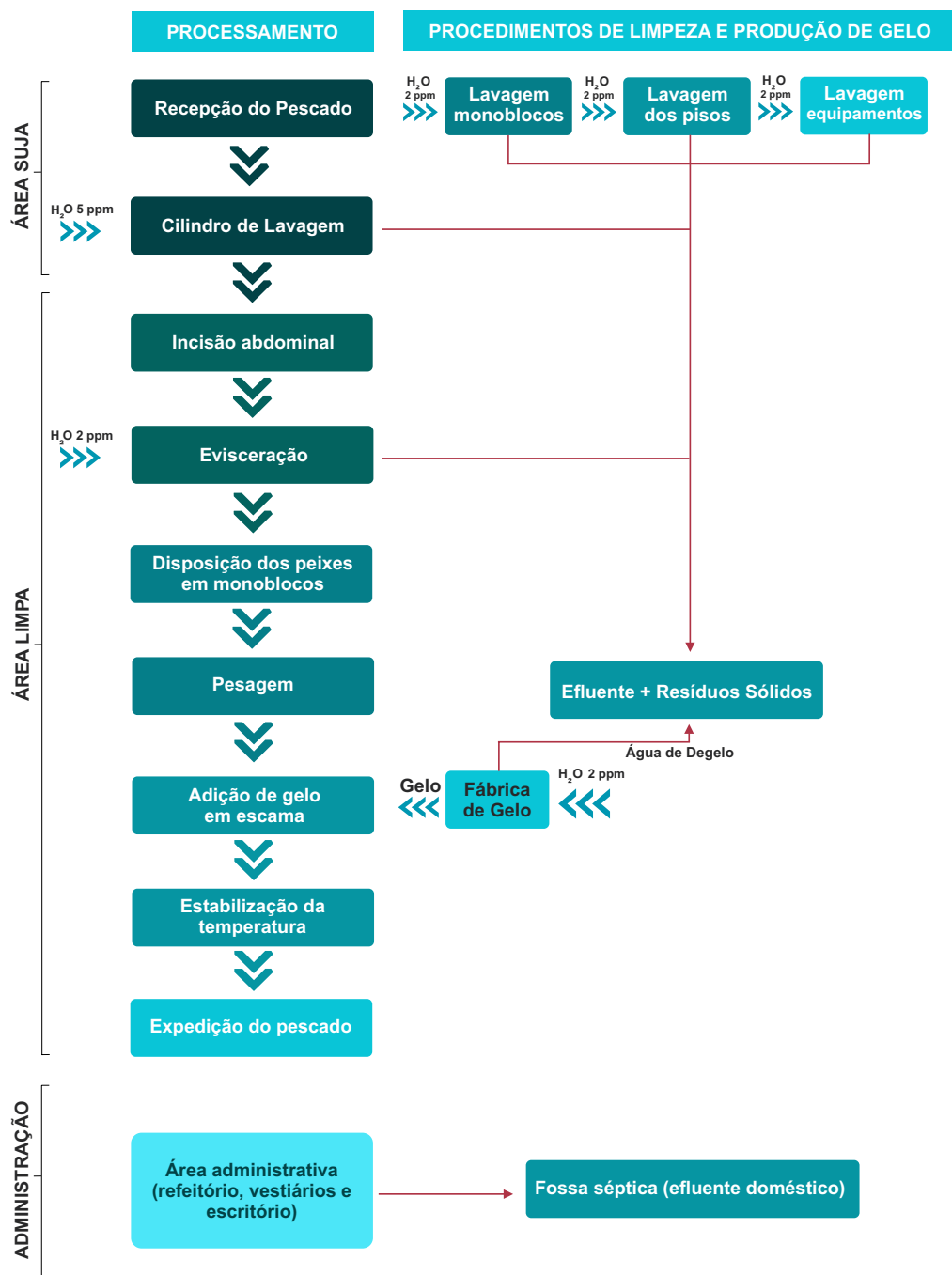


Figura 1. Etapas que compreendem o processamento do pescado, o procedimento de limpeza e a produção do gelo da indústria em estudo. Quantificação do efluente.

Fonte: Ferracioli et al. (2018).

A empresa estudada não incorporou água ao produto durante o processamento do pescado, de modo que o volume de efluente gerado foi igual à quantidade de água utilizada. A determinação do consumo real de água (pontual e global) foi realizada a partir da instalação de hidrômetros ultrassônicos da marca Hidrometer, com diâmetro $\frac{3}{4}$, conexões de rosca, leitura local por meio de display, com vazão máxima de 3,125 m³/h. As medições adotadas foram conforme a norma ABNT MN 212 e 246 INMETRO, com registro do consumo de água e indicação de vazão direto no mostrador do medidor, medidas em um período de 14 dias, com o objetivo de reduzir as variações dos dados.

No entreposto, a água destinada à área de processamento é utilizada na limpeza do pescado antes, durante e depois da evisceração, além da higienização dos funcionários, equipamentos e das instalações. O volume de água usada para limpeza das instalações industriais soma 0,54 m³t⁻¹; para higienização dos funcionários, incluindo o uso na barreira sanitária (pedilúvio) e lavagem das botas, soma 0,056 m³ t⁻¹. A soma do volume de água utilizada na fábrica de gelo, cilindro de lavagem e na evisceração para o processamento do pescado foi de 7,73 m³t⁻¹. Outros volumes, destinados a processos não contabilizados e desperdício, soma 2,156 m³t⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição do consumo de água na planta de processamento de pescado.

Uso	Uso de água (m ³ /t de MP) ⁽¹⁾	%
Administrativo		
Alojamento e lavagem de caminhão	2,245	15,43
Administração e vestiário	1,798	12,36
Lavagem do chão externo	0,027	0,18
Total 1	4,070	27,98
Processamento do pescado		
Lavagem dos monoblocos	0,258	1,77
Gelo	1,032	7,09
Barreira sanitária	0,038	0,26
Lavagem de botas	0,018	0,12
Lavagem interna (chão)	0,280	1,93
Cilindro de lavagem	1,074	7,38
Evisceração	5,621	38,64
Outros processos	2,156	14,82
Total 2	10,476	72,02
Total geral	14,546	100

Legenda: MP = Matéria-prima; ⁽¹⁾ = cálculo do uso de água por tonelada de matéria-prima independente da espécie processada.
 Fonte: Ferracioli et al. (2018).

O consumo médio global de água durante o período de monitoramento foi de 14,55 m³t⁻¹ de matéria-prima. Ao avaliar o consumo global, notou-se que 27,98 % da água utilizada na indústria se refere à área de trabalho e 72 % do consumo de água vai para o processamento do pescado. Neste estudo, o volume de água utilizado no processamento do pescado foi de 10,47 m³t⁻¹, semelhante aos das outras indústrias do mesmo seguimento (Carawan, 1991; Uttamangkabovorn et al., 2005). Para o frigorífico em estudo, adotou-se que o volume de água gasto produziu o mesmo volume de efluente, considerando-se que as diferentes fases envolvidas no processamento do pescado estão conectadas e geram uma corrente única de efluente.

Caracterização do efluente

Para caracterização físico-química e microbiológica dos efluentes foram coletadas amostras dos seguintes pontos: (I) efluente da saída do cilindro de lavagem; (II) efluente da saída da mesa de evisceração; (III) efluente da mesa de evisceração + da lavagem do piso interno e dos equipamentos; (IV) efluente da barreira sanitária; (V) efluente da lavagem dos monoblocos; e (VI) efluente final do processamento (Figura 2).

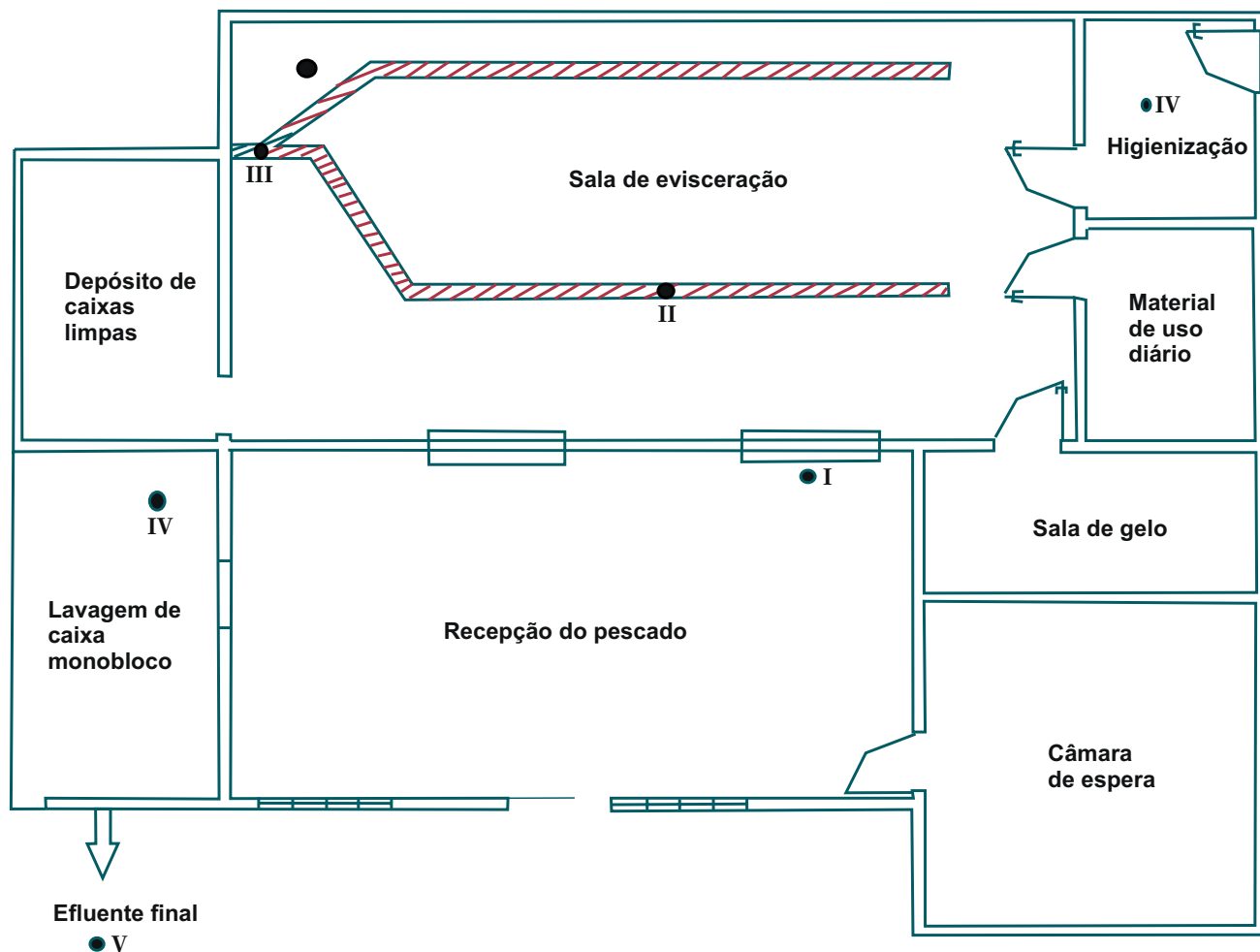


Figura 2. Representação dos pontos de coleta dos efluentes: (I) efluente da saída do cilindro de lavagem; (II) efluente da saída da mesa de evisceração; (III) efluente da mesa de evisceração + da lavagem do piso interno e dos equipamentos; (IV) efluente da barreira sanitária; (V) efluente final do processamento e (VI) efluente da lavagem dos monoblocos.

Os parâmetros avaliados estão apresentados na Tabela 1, assim como a unidade de medida e os procedimentos de ensaios, descritos pelo *Standard methods for the examination of water and wastewater* (American Public Health Association, 2005).

Tabela 1. Parâmetros analisados e respectivas metodologias de análise.

Parâmetros	Técnica	Metodologia
pH	Ref.n.4500-H Electrometric Method	APHA (2005)
Temperatura (°C)	2550 B. Laboratory and Field Methods	APHA (2005)
Turbidez (NTU)	Ref. 2130 b. nephelometric method	APHA (2005)
Condutividade (µS/L)	2510 B. Laboratory Method	APHA (2005)
OD (mg/L)	Ref. n. 5210 B. 5-Day BOD Test	APHA (2005)
ST (mg/L)	Ref. n. 2540-G Total, fixed, and volatile solids in solid and semisolid samples	APHA (2005)
STF (mg/L)	Ref. n. 2540-G Total, fixed, and volatile solids in solid and semisolid samples	APHA (2005)
STV (mg/L)	Ref. n. 2540-G Total, fixed, and volatile solids in solid and semisolid samples	APHA (2005)
SDT (mg/L)	Ref. n. 2540 Total Solids Dried at 103-105 °C	APHA (2005)
SST (mg/L)	Ref. n. 2540-D Total suspended solids dried at 103-105 °C	APHA (2005)
SS (ml/L)	Ref. n. 2540-F Settleable solids	APHA (2005)
Dureza (mg/L)	Ref. n. 2340 EDTA Titrimetric Method	APHA (2005)
Alcalinidade (mg/L)	2320 B. Titration Method	APHA (2005)
Cor aparente	Ref. n. 2120-B Visual Comparison Method	APHA (2005)
Cor verdadeira	Ref. n. 2120-B Visual Comparison Method	APHA (2005)
Nitrato	Ref. n. 4500-NO ₃ Cadmium Reduction Method	APHA (2005)
Nitrito (mg/L)	Ref. n. 4500-NO ₂ Colorimetric Method	APHA (2005)
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Ref. n. 4500-NH ₃ Phenate Method	APHA (2005)
Nitrogênio total (mg/L)	Ref. n. 4500 D. Block Digestion and Flow Injection Analysis	APHA (2005)
Sulfato (mg/L)	Ref. n. 4500-SO ₄ Turbidimetric Method	APHA (2005)

Continua...

Tabela 1. "Continuação".

Parâmetros	Técnica	Metodologia
Cloreto (mg/L)	Ref. n. 4500-G Potentiometric Method	APHA (2005)
Fluoreto (mg/L)	Ref. n. 4500-F Ion Selective Elettrode Method	APHA (2005)
Fosfato (mg/L)	Ref. n. 4500-G Flow injection Analysis for Orthophosphate	APHA (2005)
Ferro (mg/L)	3500 B. Phenanthroline Method	APHA (2005)
Alumínio (mg/L)	Ref. n.3500 B. Eriochrome Cyanine R Method	APHA (2005)
Zinco (mg/L)	Ref. n. 3111 Metals By Flame Atomic Absorption Spectrometry Met.	APHA (2005)
Cromo (mg/L)	Ref. n. 3500 B. colorimetric Method	APHA (2005)
DQO (mg/L)	Ref. n. 5220 Closed reflux titrimetic method	APHA (2005)
DBO ₅ (mg/L)	Ref. n. 5210 B. 5-Day BOD Test	APHA (2005)
Óleos e graxas (mg/L)	Ref. n. 5520-B Partition gravimetric method	APHA (2005)
Coliformes totais (NPM/100 mL)	Ref. n. 9221-A Multiple-tube fermentation	APHA (2005)
Coliformes termotolerantes (NPM/100 mL)	Ref. n. 9221-A Multiple-tube fermentation	APHA (2005)

Para avaliar as diferenças entre os pontos de coleta foi utilizado o teste estatístico de Kruskal-Wallis com o nível de 95 % de confiança no programa R (R core team, 2019). Nos tratamentos foram utilizados os doze parâmetros com repetição de dez amostras para cada um dos pontos analisados. Para esta apreciação foram considerados apenas os parâmetros com maior influência sobre a carga orgânica dos efluentes, que frequentemente são considerados pelo setor de processamento cárnico, como pH, turbidez, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sólidos totais suspensos, sólidos totais dissolvidos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total, coliformes totais e *Escherichia Coli*.

Resultados e discussão

Quantificação do Efluente

A indústria de alimentos é um setor que utiliza grande quantidade de água potável e, por ser um importante consumidor, conseqüentemente é um grande gerador de efluentes. Assim, tendo o consumo real em cada ponto, há também a quantificação do efluente gerado em cada etapa. Já para cada tonelada de pescado higienizado no cilindro de lavagem, o consumo de água foi, em média, 1,07 m³ (1.074 L) e a mesma quantidade se transforma em efluente no P (I), efluente da

saída do cilindro de lavagem. Após o processo de incisão abdominal, não há consumo de água nem geração de efluente, porém, posteriormente, no processo de evisceração, se utiliza em média de 5,621 m³ (5.621 L), que se converte em efluente. Atualmente, o efluente gerado na indústria é encaminhado às lagoas de estabilização, ao final da terceira lagoa, e se infiltra no solo.

Caracterização do Efluente

A qualidade do efluente de indústrias de processamento de pescado varia segundo a espécie a ser processada, pois há espécies mais oleosas que outras (Carawan 1991). Além disso, pode modificar de acordo com os aditivos utilizados, a salmoura, os molhos, os óleos comestíveis em enlatados, entre outros; os métodos de produção; a vazão e a carga de poluentes do efluente; o produto a ser desenvolvido; o grau de aplicação das práticas de *cleaner production*, incluindo de minimização de consumo de água (Murphy, 2006; Choudhury et al., 2010).

O efluente de uma indústria processadora de pescados possui alta concentração de lipídios e proteínas provenientes do processo de abate, resultando em alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), óleos e graxas, compostos nitrogenados e fósforo (Carawan, 1991; Murphy, 2006; Choudhury et al., 2010). Os resultados obtidos nas análises de caracterização físico-química e microbiológica dos efluentes são apresentados na Tabela 2.

Os principais parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente os efluentes são a cor, a turbidez, os níveis de sólidos nas frações e a temperatura. A cor real dos efluentes é constituída pelos sólidos dissolvidos ali presentes que podem ser derivados da matéria orgânica, do ferro e de outras substâncias. Na análise, a concentração da cor verdadeira variou de 78 UC a 500 UC no efluente; e a cor aparente de 31 UC a 300 UC. A importância desse parâmetro tem relação com a intenção de reúso do efluente, pois a presença de cor provoca repulsa psicológica por parte do consumidor, uma vez que é associada à descarga de esgotos e possível presença de patógenos.

Nos Pontos I (cilindro de lavagem) e III (lavagem interna adicionado ao efluente da evisceração), a concentração da fração de sólidos dissolvidos encontrados correspondem a mais de 80 % dos sólidos totais, variando entre 312 mg/L a 1606 mg/L. Este resultado corrobora com as altas concentrações encontradas no parâmetro cor. Se a fração dissolvida dos sólidos está diretamente ligada à tonalidade, a fração suspensa influencia na turbidez do efluente, porque quanto maior a concentração de sólidos suspensos, maior o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a coluna do efluente. Em vista disso, a variação da turbidez foi de 9,8 UNT a 87,4 UNT.

Tabela 2. Características dos efluentes do processamento de pescado eviscerado fresco, produzidos a partir da análise de 11 amostragens para pontos (valores médios).

Parâmetros	Pontos					
	PI	PII	PIII	PIV	PV	PVI
pH	7,2-8,7	5,59-8,9	6,1-8,8	6,87-9,2	5,5-8,5	7-9,2
Temperatura (°C)	21	20,6	20	20,7	20,2	20,4
Turbidez (NTU)	34,2	87,4	40,6	17,1	64,9	9,8
Condutividade (µS/L)	57	32,5	31,5	34,7	64,5	29,2
OD (mg/L)	5,5	5	5,1	4,8	4,9	4,93
ST (mg/L)	1366	2986	1290	346	1778	413
STF (mg/L)	450	300	240	164	317	226
STV (mg/L)	916	2361	1020	210	799	166
SDT (mg/L)	1136	1606	1090	312	990	344
SST (mg/L)	230	940	170	60	210	76
SS (ml/L)	2,5	3,2	2,5	0,5	3	0,5
Dureza (mg/L)	3,6	1,3	3	4,22	3,1	4,68
Alcalinidade (mg/L)	15,3	13,1	10,1	15,3	14,1	14,1
Cor aparente (UC)	194	300	280	23	276	31
Cor verdadeira (UC)	374	500	487	78	500	95
Nitrato (mg/L)	25	53	62,5	2	55	2
Nitrito (mg/L)	0,23	0,42	0,17	0,06	0,32	0,01
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	1,56	4,56	1,45	0,124	3,8	0,218
Nitrogênio total (mg/L)	102	58,3	71,5	10,8	67,5	15,2
Sulfato (mg/L)	1,3	2,6	2,6	1,83	2,3	3
Cloreto (mg/L)	74,5	46,8	22,7	13,9	40,2	27,6
Fluoreto (mg/L)	0,1	0,17	0,34	0,5	0,75	0,9
Fosfato (mg/L)	1,398	0,354	16,4	0,23	4,6	0,058
Ferro (mg/L)	0,251	0,369	0,117	0,038	0,393	0,038

Continua...

Tabela 2. "Continuação".

Parâmetros	Pontos					
	PI	PII	PIII	PIV	PV	PVI
Alumínio (mg/L)	0,038	0,048	0,01	0,015	0,0351	0,005
Zinco (mg/L)	0,066	0,24	0,138	0,133	0,03	0,138
Cromo (mg/L)	0,12	0,251	0,196	0,055	0,15	0,0069
DQO (mg/L)	1347,3	1679,1	890	110	1722,6	138,3
DBO ₅ (mg/L)	700	890	370	43,8	856,7	63
Óleos e graxas (mg/L)	0,17	1,1	0,58	0,135	0,69	0,02
Coliformes totais (NPM/100 mL)	123	680	245	90	1000	49,2
Coliformes termotolerantes (NPM/100 mL)	60	640	177	5	900,7	42,8

PI: cilindro de lavagem; PII: evisceração; PIII: lavagem interna (chão) + efluente da evisceração; PIV: barreira sanitária; PV: efluente industrial final; e PVI: lavagem dos monoblocos.

A precaução quanto aos sólidos em suspensão é devida à superfície de contato dos sólidos, pois servem de abrigo aos organismos patogênicos, além de possíveis incrustações em tubulações em caso de reúso. Entretanto, os sólidos são passíveis de aproveitamento, pois, em geral, são constituídos por proteínas e lipídios, o que reduziria sua concentração no efluente (Souza et al., 2008).

Os sólidos em suspensão em indústrias de processamento de pescado apresentaram concentrações que variaram de 60 mg/L e 940 mg/L. Os pontos VI (barreira sanitária) e IV (lavagem dos monoblocos) apresentam as menores concentrações, uma vez que estes efluentes se iniciam com a higienização na entrada de funcionários e equipamentos. Enquanto a evisceração, por ser uma etapa onde ocorre a transformação da matéria-prima havendo perda de massa e formação de resíduo sólido, apresenta a maior concentração de sólidos em suspensão.

Os parâmetros químicos também são importantes para a caracterização de efluentes. Essa caracterização permite: i) determinar a concentração dos diferentes compostos presentes no efluente, para que se possa conhecer o grau de remoção necessária; ii) conhecer como esses parâmetros podem se correlacionar entre si e com os demais parâmetros (físicos e biológicos), para avaliar o efeito sinérgico; e iii) definir a tecnologia mais adequada ao tratamento.

Dentre os parâmetros químicos analisados, o pH ficou entre 5,5 e 9,2. Estes valores, de acordo com as normas de reúso industrial, estão adequados, visto que o valor de referência indica que o pH deve estar entre 5 e 9 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997; España, 2007; Greece, 2011; Environmental Protection Agency, 2012).

Outro parâmetro que merece atenção é o de óleos e graxas. A presença desse composto diminui a solubilidade dos efluentes, fazendo com que a degradação por processos biológicos seja mais difícil (Chowdhury et al., 2010). A concentração encontrada variou entre 0,02 e 0,69 mg/L, que atende àqueles preconizados pela legislação da Conama, Resolução 357/2005 e complementar 430/2011 (Conama, 2006; 2011), em caso de lançamento dos efluentes em corpos hídricos. Destaca-se que a concentração de óleos e graxas varia de indústria para indústria, em função das etapas de processamento do pescado envolvidas (Silva; Naval, 2018).

A carga orgânica dos efluentes do processamento de pescado foi considerada alta, porém é característica para efluentes provenientes dessa indústria Carawan et al., 1979; Prasertan et al., 1994, porque os resíduos provenientes da evisceração (ponto II) possuem elevada concentração de matéria orgânica, com adição do entreposto, produtos do cilindro de lavagem (Ponto I) e produtos da lavagem interna da indústria (Ponto III). Isso resulta em uma DBO entre 43,8 mg/L e 890 mg/L e a DQO entre 110 mg/L e 1.722,6 mg/L.

A biodegradabilidade de um efluente pode ser observada pela razão entre DBO e DQO (Badawy; Ali, 2006) e quando esta razão é maior que 0,3, pode ocorrer alta biodegradabilidade. Os Pontos I (cilindro de lavagem), II (evisceração) e V (efluente industrial final) apresentaram as maiores relações, 0,51, 0,53 e 0,49. Observar esta característica é importante para a escolha do tratamento adequado.

Dos nutrientes avaliados, o fósforo e o nitrogênio apresentaram concentrações elevadas, especialmente para o nitrogênio. O resultado é atribuído ao alto teor de proteínas do pescado (Skorski, 1990). Considerando as frações do nitrogênio, a concentração de nitrato variou entre 2 mg/L e 62,5 mg/L; de nitrito entre 0,1 mg/L e 0,42 mg/L; de amônia de 0,21 mg/L a 4,56 mg/L, enquanto as de ortofosfato de 0,058 mg/L a 4,6 mg/L.

A dureza, atribuída à presença de cátions Ca^{2+} Mg^{2+} foi medida e teve concentrações entre 1,3 e 4,68 mg/L. Este parâmetro é importante para a implantação da prática de reúso, uma vez que as incrustações nas tubulações podem obstruir o fluxo do efluente. Outros íons foram analisados, como o de ferro, zinco, cromo, alumínio, cloretos, fluoretos e sulfatos. As máximas concentrações obtidas para estes parâmetros foram 0,393 mg/L de ferro; 0,138 mg/L de zinco; 0,251 mg/L de cromo; 0,048 mg/L de alumínio; 74,5 mg/L de cloreto; 0,9 mg/L de fluoreto; 2,6 mg/L de sulfato.

A análise da concentração de coliformes é necessária por ser um indicador de microrganismos patogênicos. A concentração máxima encontrada para os coliformes totais e termotolerantes foi de 1.000 e 990,6 NMP/100/mL, respectivamente. Para o reúso de efluente após o tratamento, a concentração deste parâmetro deve ser reduzida a fim de diminuir os riscos de contaminação, garantindo a segurança dos consumidores e trabalhadores. Os efluentes gerados em uma indústria de pescado são característicos por conterem contaminantes orgânicos dissolvidos, coloides e partículas. Em específico, escamas, proteínas, gorduras, sangue, cartilagem, fluido visceral e descartes de peixe (Chowdhury et al., 2010; Muthukumaran; Baskaran, 2013).

Normalmente, os efluentes de frigoríficos e matadouros têm grande quantidade de material orgânico e poucos resíduos perigosos. (Arias-Lizarraga, 2014). Por essa razão, os parâmetros de maior expressão vinculados à matéria orgânica e aos outros analisados em efluentes de indústrias processadoras de carne foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis para a conferência de suas diferenças. Por meio do teste da diferença mínima significativa (LSD), foi possível identificar quais os pontos divergiram (Tabela 3) com o objetivo de segregação dos efluentes gerados na indústria processadora de pescado em estudo.

Tabela 3. Resultado obtido pelo teste da diferença mínima significativa (LSD)⁽¹⁾.

Ponto	Média	Mínimo	Máximo	LSD
I	699.13	120.0	1257.5	b
II	908.05	122.7	1500.0	a
III	402.14	4.6	854.0	c
IV	49.97	4.8	128.5	d
V	742.47	119.4	987.3	ab
VI	80.32	3.3	235.8	d

⁽¹⁾As medias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste LSD a 5 % de probabilidade.

Foi possível observar o comportamento dos parâmetros em cada ponto analisado, bem como estimar a influência deles em uma diferença significativa entre os pontos. Para o parâmetro DBO, a variação encontrada (Figura 3A) demonstra que há diferenças entre os pontos em relação à concentração de matéria orgânica, com o PII apresentando a maior concentração, seguido do ponto PV. Os valores encontrados são resultados das etapas do processo de geração de efluentes. O PII é referente à etapa de descarte de vísceras e demais resíduos do processamento. Para a DQO (Figura 3B), obteve-se, à exceção dos pontos PIV e PVI, os quais não estão relacionadas às etapas de produção, concentrações reduzidas dos contaminantes.

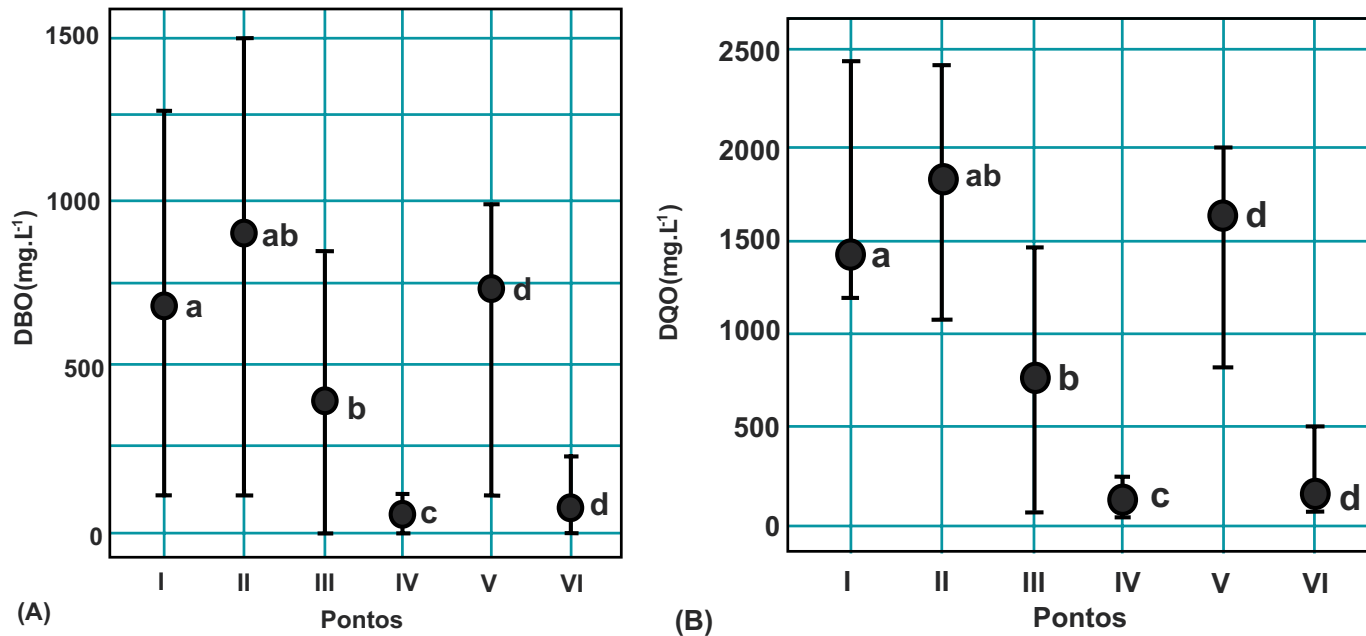


Figura 3. Comportamento da DBO entre os pontos analisados (A) e diferenças nas concentrações de DQO (B).

Os sólidos totais (Figura 4A) apresentaram alta concentração, incluindo frações orgânicas e inorgânicas em PI, PII, PIII e PV, visto que esses pontos recebem os efluentes do processamento do pescado. A análise indica diferenças entre os valores dos próprios pontos analisados, demonstrando que, dentre eles, ocorreu uma variação nos valores máximos e mínimos.

Em relação aos sólidos totais voláteis (Figura 4B), a variação demonstra que os pontos PI, PII, PIII e PV apresentaram as maiores concentrações de material com constituição orgânica. Já em relação aos sólidos totais fixos (Figura 4C), observou-se que os pontos apresentaram menores variações e concentrações de material inorgânico. Com relação às partículas dissolvidas (Figura 4D) no efluente, dois pontos apresentaram maiores variações em relação aos demais, que são os pontos PIV e PVI, com menores concentrações. As partículas em suspensão apresentaram uma variação entre os pontos (Figura 4E), destacando os efluentes PII e PV, que recebem partículas da etapa de evisceração. Notou-se, também, variações da turbidez entre os pontos PII e PV (Figura 4F).

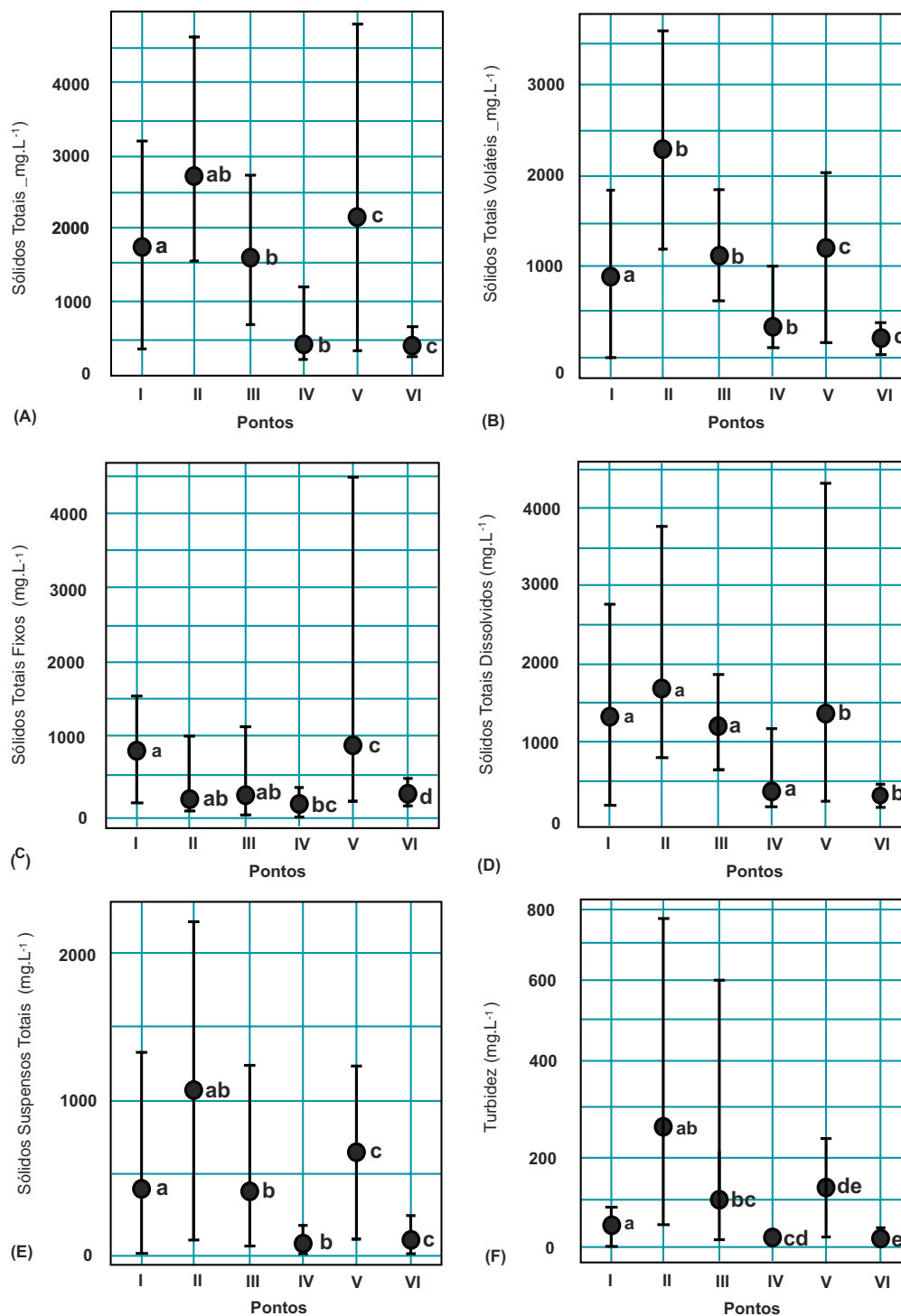


Figura 4. Variação dos valores obtidos para os parâmetro sólidos totais (A), sólidos totais voláteis (B), sólidos totais fixos (C), sólidos totais dissolvidos (D), sólidos suspensos totais (E) e turbidez (F) em cada ponto analisado.

Para as concentrações de nitrogênio total (Figura 5) não foram encontradas grandes diferenças entre os pontos, exceto pelos PIV e PVI. Esses dois pontos, se diferenciam dos outros por apresentarem as menores concentrações de nutrientes, pois não estão em contato direto com o pescado nem com seus fluidos viscerais.

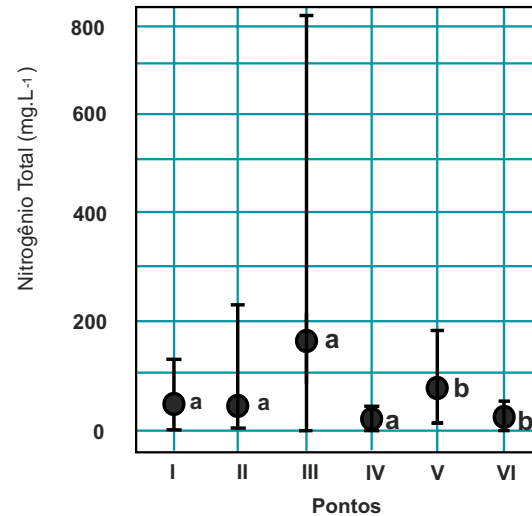


Figura 5. Concentrações de nitrogênio total variando em cada ponto analisado.

A representação dos microrganismos (Figura 6) nos pontos são semelhantes, exceto pelo ponto PII, em que o efluente concentrado é proveniente do processo de evisceração.

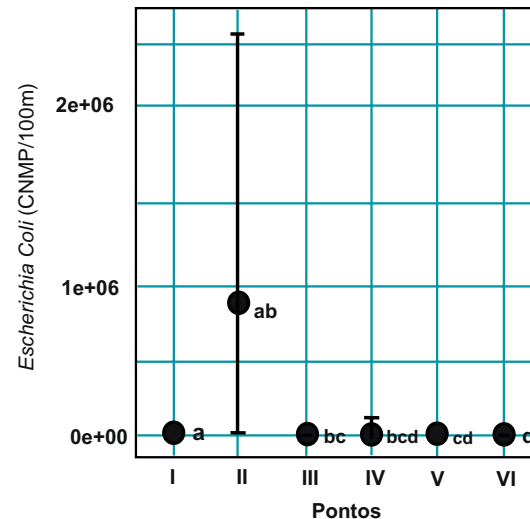


Figura 6. Variação de micro-organismos representados pela *Escherichia coli*.

Depois de constatada a diferença entre os pontos, foi utilizado o método de Clusters, calculando-se a distância entre as variáveis, empregando-se o método euclidiano, e agrupadas as de menores distâncias, possibilitando a formação de dois grupos (G1 e G2), apresentados em um dendograma (Figura 7).

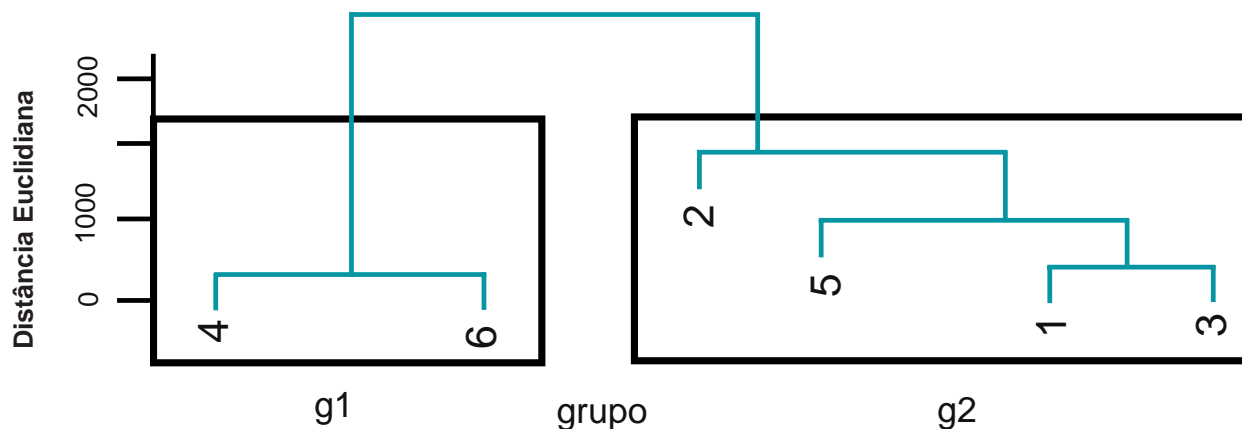


Figura 7. Pontos agrupados pelo método de Cluster, representando a maior semelhança estatística.

O grupo G1 é composto pelos pontos PIV e PVI, que apresentaram menores concentrações de contaminantes por serem pontos que não estão associados ao processamento do pescado. Os pontos PIV e PVI apresentaram variação de DBO de $49,97 \text{ mgL}^{-1}$ (PIV) a $80,32 \text{ mgL}^{-1}$ (PVI) e de sólidos totais de $446,50 \text{ mgL}^{-1}$ (PIV) e $453,10 \text{ mgL}^{-1}$ (PVI). Os valores obtidos das análises estatísticas demonstraram diferenças significativas dos pontos PIV e PVI em relação aos demais, indicando a recomendação de não misturar estes componentes com os demais efluentes para que não adicione matéria orgânica aos efluentes com baixa carga desse parâmetro.

Com relação ao grupo G2, constituído pelos pontos PI, PII, PIII e PV, foi observado que há discrepâncias, pois PI e PIII estão mais semelhantes entre si, bem como os pontos PII e PV. O grupo G2 teve variação de sólidos totais de $1.542,10 \text{ mgL}^{-1}$ (PIII) a $2713,6 \text{ mgL}^{-1}$ (PII) e a DBO ficou entre $402,14 \text{ mgL}^{-1}$ (PIII) e $908,05 \text{ mgL}^{-1}$ (PII). Para os efluentes do grupo G2, é possível reduzir a concentração de resíduos sólidos, estabelecendo a segregação manual pelos manipuladores que os destinará às cestas coletoras (Watson, 2003).

A segregação é recomendada a partir da mesa de evisceração, onde as vísceras são retiradas, antes da limpeza úmida do produto, e colocadas em um recipiente destinado apenas para resíduos sólidos. Esta prática reduz 30 % da carga orgânica no efluente, que trará pontos positivos dos pontos PIII e PV, que recebem a descarga direta do detrito gerado no ponto PII, melhorando a qualidade do efluente final (Amorim et al., 2007).

O tratamento dos efluentes gerados em frigoríficos, que apresentam elevada carga orgânica, quando submetidos à segregação, é facilitado desde que inserido na linha de produção (Arvanitoyannis; Kassaveti, 2008). Ao introduzir a prática da segregação dos efluentes, contribuiu-se para o reaproveitamento de resíduos, gerando coprodutos e elevando o grau de sustentabilidade da indústria (Silva; Naval, 2018).

Conclusão

Os efluentes caracterizados no estudo, em sua maioria, são constituídos de material orgânico, a depender da etapa onde são gerados. À vista disso, os efluentes apresentaram concentrações distintas e aqueles pontos que estão diretamente ligados ao processo de beneficiamento do pescado apresentaram maiores concentrações de matéria orgânica. Para os efluentes de maiores concentrações de contaminantes, principalmente a matéria orgânica, é recomendado a segregação dos resíduos sólidos gerados no processo de evisceração, antes da limpeza úmida, diminuindo a concentração de poluentes no efluente da indústria, favorecendo o tratamento do efluente gerado.

Os efeitos negativos da falta de gerenciamento no tratamento em frigoríficos de pescados ocasionam efluentes com concentrações elevadas de nutrientes, pH desregulado, altos teores de matéria orgânica e óleos e graxas. Esse efluente exigirá técnicas de tratamento complexas e de elevado custo, caso a segregação das correntes não seja adotada. Para que a indústria processadora alcance a característica de uma empresa econômica e sustentável, é imprescindível que os efluentes gerados recebam atenção, bem como priorizar o reaproveitamento de efluentes gerados.

Referências

- ALCALDE-SANZ, L.; GAWLIK, B. M. Water reuse in Europe relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. **Publications Office of the European Union**, p. 48, 2014.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington D.C.: American Public Health Association, 2005.
- ARIAS-LIZARRAGA, D. M.; MENDEZ-GOMEZ, E. Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros. **Tecnología y ciencias del agua**, v. 5, n. 3, p. 115–123, jun. 2014.
- ARVANIToyANNIS, I. S.; KASSAVETI, A. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 43, p. 726–745, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969**: Tanque sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: [s.n.], 1997.

BADAWY, M. I.; ALI, M. E. M. Fenton's peroxidation and coagulation processes for the treatment of combined industrial and domestic wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. B136, p. 961–966, 2006.

BARCELÓ, D.; PETROVIC, M.; ALEMANY, J. Problems and needs of sustainable water management in the Mediterranean area: conclusions and recommendations. In: BARCELÓ, D.; PETROVIC, M. (ed.). **The Handbook of Environmental Chemistry**. [S.l.]: Springer, 2011. p. 295-306. (HEC, v. 14).

CARAWAN, R. E. **Processing plant waste management guidelines**: aquatic fishery products. Raleigh, NC: Department of Food Science North Carolina State University, Seafood e the Environmental, 1991.

CARAWAN, R. E.; CHAMBERS, J. V.; ZALL, J. V. **Seafood water and wastewater management**. Raleigh, NC: North Carolina Agricultural Extension Services, 1979.

CHOWDHURY, P.; VIRARAGHAVAN, T.; SRINIVASAN, A. Biological treatment processes for fish processing wastewater: a review. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 439–449, 2010.

EPA. **Guidelines for water reuse**. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency, 2012.

ESPAÑA. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 1620, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. **Boletín Oficial del Estado**, 2007.

FAO. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura**. Rome, 2016.

FERRACIOLLI, L. M. D. V. ; LUIZ, D. de B.; SANTOS, V. R. V. dos; NAVAL, L. P. Reduction in water consumption and liquid effluent generation at a fish processing plant. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, pt. 1, p. 948-956, 2018.

GREECE. Common Ministerial Decision. **Measures, limits and procedures for reuse of treated wastewater**. Athens, Greece: Ministry of Environment, Energy and Climate Change, 2011.

MURPHY, N. **Meat processing environmental impacts**: environmental impacts from meat and fish processing. [S.l.]: Waste Reduction Resource Center, 2006.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility: a case study. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 563–570, 2013.

PRASERTSAN, P.; JUNG, S.; BUCKLE, K. A. Anaerobic filter treatment of fishery wastewater. **World Journal of Microbiology**, v. 10, p. 11-13, 1994.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 jul. 2019.

SIKORSKI, R. S. BOGUSKI, M. S.; GOEBL, M.; HIETER, P. A repeating amino acid motif in CDC23 defines a family of proteins and a new relationship among genes required for mitosis and RNA synthesis. **Cell**, v. 60, n. 2, p. 307–317, 1990.

SILVA, Y. S.; NAVAL, L. P. Segregation of solid waste from a fishprocessing industry: a sustainable action. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 2, 2018.

SIMATE, G. S.; CLUETT, J.; IYUKE, S. E.; MUSAPATIKA, E. T.; NDLOVU, S.; WALUBITA, L. F.; ALVAREZ, A. E. The treatment of brewery wastewater for reuse: state of the art. **Desalination**, n. 273, p. 235–247, 2011.

SOUZA, M. A.; VIDOTTI, R. M.; OLIVEIRA NETO, A. L. Redução no consumo de efluente gerado em abatedouro e tilápia do Nilo através da implantação de conceitos de produção mais limpa (P+L). **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, p. 289–296, 2008.

THI ANH, P. Towardseco-agro industrial clusters in aquatic production: the case of shrimp processing industry in Vietnam. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 2107 - 2118, 2011.


UTTAMANGKABOVORN, M.; POONSUK, P.; ARAN H. K. Water conservation in canned tuna (pet food) plant in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, p. 547-555, 2005.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade**. Brasília, DF: Ipea, 2017.

WANG, Y. P.; SMITH, R. Desing of distributed effluent treatment systems. **Chemical Engineering Science**, v. 49, n. 18, 3127–3145, 1994.

WATSON, R. Trials to reduce water and effluent charges in fish processing. The Sea Fish Industry Authority. **Seafish Report N.SR541**, abr. 2003.





Capítulo 6

Gerenciamento hídrico e de resíduos em indústria de processamento de peixes

Estudo de caso (atum e sardinha)

Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues

Mirian Graciela Dalla Porta

Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz

Regina de Fátima Peralta Muniz Moreira

Ricardo Borghesi

Leandro Kanamaru Franco de Lima

Danielle de Bem Luiz

Introdução

A escassez de água e as mudanças climáticas são uma realidade. Por isso, desenvolver ações para proteger os recursos hídricos e aumentar o uso de energias renováveis são obrigatórias para qualquer tipo ou tamanho de indústria (José et al., 2013). Nos últimos anos, notou-se uma ampliação no setor da aquicultura e de processamento de pescado, o que contribuiu para um consumo elevado de água e de geração de efluentes (Alkaya; Demirer, 2016). Dessa forma, são necessários esforços para desenvolver processos mais limpos, que mantenham os níveis de produção, melhorem a gestão das fontes naturais e minimizem as emissões de poluentes (Uttamangkabovorn et al., 2005).

A indústria de alimentos é conhecida por seu alto uso de recursos hídricos e pela significativa geração de matéria orgânica em águas residuais. As indústrias processadoras de pescado apresentam alto consumo de água, o que está diretamente relacionado aos requisitos de segurança e saúde pública, ao tipo de produto processado, à escala de operação, à forma de processamento e ao grau de envolvimento da indústria com os conceitos de produção mais limpa e minimização do uso de água (Luiz et al., 2009). Em vista disso, as estratégias para reduzir o uso hídrico industrial estão ligadas ao desenvolvimento de operações que utilizam pequenos volumes de água durante o processamento e a limpeza, à aplicação do reúso e à reciclagem direta ou após o acondicionamento (Luiz et al., 2011).

Durante o processamento do pescado, grandes quantidades de efluente são gerados e estes são caracterizados, principalmente, por sua alta salinidade e seu alto teor de matéria orgânica e de nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P). Além disso, estes efluentes apresentam uma grande variabilidade de composição, que dependem do período de produção, do tipo de produto e de processo utilizado (Cristovão et al., 2015; Campo et al., 2017). Em vista disso, há muita preocupação quanto aos potenciais impactos ambientais negativos decorrentes da disposição dos efluentes diretamente no meio ambiente (Feldes et al., 2010).

Assim, a remoção desses resíduos é de vital importância para minimizar o impacto ambiental desses efluentes nos ecossistemas. Entretanto, devido aos altos custos associados ao tratamento de efluentes, os setores industriais têm sido incentivados a realizarem projetos que incluam técnicas de minimização, reciclagem e reutilização da água (Marin-Morales, 2016). Essas ações fazem parte dos princípios das Tecnologias Limpas, que incluem tecnologias de eficiência energética, que não se limitam à reciclagem, bem como energias renováveis, como a eólica, solar, biomassa, hidrelétrica, biocombustíveis, tecnologia da informação, transporte verde, motores elétricos e química verde (Cumming et al., 2016).

Os resíduos sólidos gerados no beneficiamento de pescado (cabeça, cauda, vísceras, nadadeiras, coluna vertebral, escamas e restos de carne) podem representar 50 % ou mais da matéria-prima utilizada, variando conforme a espécie e o processamento (Feltes et al., 2010). Esses resíduos podem participar da elaboração de coprodutos para uso humano ou para uso de animais domésticos ou de criação. A geração de coprodutos evita que resíduos sejam lançados diretamente no ambiente, evitando impactos ambientais negativos decorrentes do descarte indevido (Afonso; Bórquez, 2002).

Entretanto, os coprodutos com composição rica em compostos orgânicos e inorgânicos, potencialmente nocivos ao meio ambiente, elevam o custo de tratamento de efluentes da indústria. Assim, a implementação de práticas que possibilitem a geração e o uso de coprodutos, além da recuperação de óleos e proteínas, contribuirão para que menos matéria orgânica esteja presente no efluente, reduzindo custos e insumos como energia, produtos químicos e entre outros custos envolvidos no tratamento para eliminação destes compostos.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi realizar um balanço hídrico em uma unidade de beneficiamento de pescado, bem como avaliar a viabilidade de ações para reduzir o consumo de água, promover a reciclagem, o reúso do recurso hídrico e o melhor aproveitamento dos resíduos sólidos gerados nessa indústria pesqueira.

Metodologia

O estudo foi conduzido no ano de 2014, em uma unidade industrial tida como modelo, localizada em um estado da região Sul do Brasil. A unidade industrial trabalhava 5 dias por semana, em dois turnos de trabalho de oito horas, com período de higienização da área de produção ao final de cada dia de trabalho. A indústria apresentava um quadro de aproximadamente 1.200 funcionários e beneficiava sardinha, atum, cavalinha, arenque e salmão. Eram processadas diariamente aproximadamente 300 t de pescado fresco ou congelado e gerados mais de 1.000 m³ de efluente por dia, oriundo das etapas do processamento.

As fases do processo envolviam: recebimento do pescado; estocagem em câmaras frias; descongelamento; evisceração; toailete, remoção de partes escuras, peles, ossos, cabeças, caudas e barbatanas; enchimento das latas, adição de salmoura como óleos e molhos; autoclavagem e estocagem.

Balanco hídrico

As determinações do uso real de água, pontual e global, no processamento de sardinhas e atuns, foram realizadas utilizando hidrômetros ultrassônicos (*Hydrus, Diehl Metering, Alemanha*), analógicos (*Genebre, Brasil*) e dados do consumo médio de água de alguns equipamentos e processos fornecidos pela empresa. As medições foram realizadas baseadas nos macro e microfluxos de água industrial, considerando turnos e setores do processamento do pescado durante um período de 33 dias. Foram identificados e analisados sete macrofluxos e oito microfluxos, as etapas de processamento, higienização de equipamentos e pisos, água para produção de gelo e vapor, torre de resfriamento e outros. As leituras dos hidrômetros instalados nos pontos selecionados foram feitas imediatamente antes e ao final de cada turno de processamento da indústria. O resultado do uso hídrico nesses pontos foi obtido por diferença entre os valores aferidos entre uma leitura e a subsequente.

O cálculo do balanço hídrico foi feito considerando o consumo de água por unidade de massa de matéria-prima (sardinha e atum). Neste cálculo foram obtidos valores relacionados aos macro e microfluxos da empresa e os resultados foram expressos em m³/t de matéria-prima, conforme a Equação 1:

[Equação 1]

$$V = \frac{H_f - H_i}{mp}$$

em que:

V = uso de água por unidade de massa de produto processado (volume/massa: m³/t).

H_i = leitura do hidrômetro no início do processamento (m³).

H_f = leitura do hidrômetro no final do processamento (m³).

mp = quantidade de produto processado (t).

Efluente sólido

Os resíduos sólidos gerados no sistema de tratamento de efluentes da indústria foram avaliados na expectativa de uma possível produção de coprodutos. A empresa tem uma produção diária média de 270 t de produtos processados, sendo gerados, em média, 100 t/dia de resíduos sólidos, provenientes dos processamentos de sardinha e atum. Essa etapa do estudo foi realizada em duas partes.

- Na primeira, os resíduos sólidos gerados foram identificados e classificados.
- Na segunda, foi realizada a quantificação dos resíduos gerados durante todo o processamento industrial, subdivididos por setores e quantificados por métodos volumétricos, por inventários e por contagens realizadas de, no mínimo, três lotes diferentes de matéria-prima.

Para a identificação, quantificação e qualificação dos resíduos foram realizadas visitas bimestrais na empresa no período de um ano, a fim de realizar o acompanhamento da rotina de atividades. Posteriormente, as informações da produção diária eram colhidas pela equipe do controle de qualidade da empresa.

Para a estimativa da geração do material residual, foi determinado, por balanço de massa, o rendimento desses resíduos na linha de processamento. Para isso, a cada bimestre um lote composto por 10 monoblocos plásticos foi utilizado para pesagem de, aproximadamente, 10 kg de pescado em cada monobloco. Na sequência, os peixes foram submetidos ao beneficiamento de rotina da indústria para conhecimento dos pesos dos resíduos. Com os dados do rendimento foi calculada a estimativa da geração total de resíduos no período de estudo, utilizando os valores da matéria-prima para o processamento, fornecidos pela indústria.

Na linha de processamento foram colhidas amostras do resíduo gerado durante a produção industrial. Essas amostras foram trituradas em moedores de carne (CAF 98 Inox) e armazenadas em recipientes isotérmicos para posterior envio ao laboratório de análises químicas. A umidade foi definida por método gravimétrico, em estufa a 105 °C, até peso constante. O teor de matéria mineral foi definido pelo método gravimétrico, após incineração em forno mufla a 550 °C. O teor de proteína bruta foi definido pelo método Dumas e o extrato etéreo foi definido após extração com éter de petróleo pelo método de Soxhlet. As análises de umidade, proteína bruta, matéria mineral e extrato etéreo foram realizadas sob a padronização do Compêndio Brasileiro de Nutrição Animal (Association of Official Analytical Chemists, 1995, 2000, 2007). O perfil de aminoácidos foi determinado por cromatografia líquida de alta performance (HPLC), com base no método proposto por White et al. (1986).

A composição em ácidos graxos foi obtida com base na metodologia da Association of Official Analytical Chemists (2005). Durante a análise, foi adicionado ácido pirogálico com o intuito de minimizar a degradação oxidativa dos ácidos graxos. O triglicéride undecanóico (C11:0) foi adicionado como padrão interno. A gordura foi extraída com a utilização de éter e metilada em ésteres metílicos de ácidos graxos (*fatty acid methyl esters* – FAME), através da reação com trifluoreto de boro (BF₃) em metanol. Os FAME foram medidos quantitativamente por cromatografia gasosa capilar (Coluna capilar SP2560 100 m x 0,25 mm), mediante a utilização de padrão interno C11:0. A gordura total foi calculada como a soma de todos os ácidos graxos e expressa como triglicéride

equivalente. As gorduras saturadas e monoinsaturadas foram calculadas com a soma de seus respectivos ácidos graxos; as gorduras monoinsaturadas incluem somente a forma cis. A energia bruta foi determinada por meio de bomba calorimétrica (IKA modelo 5000, Staufen, Alemanha).

Resultados e discussão

Balanços hídricos

Uma média de aproximadamente 2.500 m³/dia de água potável foi consumida pela empresa. No período de medições, a quantidade média diária de pescado processado pela empresa foi de aproximadamente 243 t de sardinha fresca ou congelada e 72 t de atum fresco ou congelado. Ademais, houve dias de maior processamento de pescado fresco do que congelado. Na Tabela 1 estão apresentados os resultados médios do consumo de água diário e pela massa total de matéria-prima, nos macro e microfluxos do processamento de sardinhas e atuns enlatados.

De maneira geral, o maior consumo médio de água foi identificado na etapa de higienização de toda a linha de beneficiamento (sardinha + atum) ao final de cada dia de trabalho (aproximadamente 562 m³). Essa etapa, somada ao consumo utilizado na lavagem de carrinhos e recipientes, representou quase um terço do consumo total de água aferido na empresa do período (Tabela 1), o que mostra a grande quantidade de água destinada para limpeza e higienização de forma geral na indústria. Diversos autores também relataram que a etapa de higienização está relacionada ao alto consumo de água potável nas indústrias processadoras de pescado (Uttamangkabovorn et al., 2005; Thrane; Nielsen; Christensen, 2009; Ölmez, 2014).

Em relação ao macrofluxo de processamento de pescado, a soma dos volumes médios de água/dia (m³/dia) utilizado nas etapas de recepção dos pescados (no cais da empresa) e de descongelamento das matérias-primas representou cerca de 11 % do uso médio do total da indústria (Tabela 1). Ainda nesse macrofluxo, as etapas de salmoura/remoção de resíduos, limpeza das matérias-primas (antes do enchimento das latas) e enxague final das latas de sardinha significaram 7 %, 14 % e 13 %, respectivamente, do consumo médio geral avaliado na indústria. No processamento de atuns não ocorrem as etapas de salmoura/remoção de resíduos e limpeza da matéria-prima antes do enchimento das latas, isso justifica os maiores consumos médios de água (m³/dia) do processamento de sardinhas (carro-chefe da indústria).

Tabela 1. Resultados médios do consumo de água e do volume total consumido de água pela massa total de matéria-prima nos macro e microfluxos no processamento de sardinhas e atuns enlatados.

Macrofluxo	Microfluxo	Consumo médio de água/ dia (m ³ /dia)		Consumo água/dia/MP (m ³ /dia.t ⁻¹)	
		Sardinha	Atum	Sardinha	Atum
Refeitório/Vestiários femininos		113,24		0,49	2,96
Processamento de pescado	Recepção/descongelamento	151,59	66,65	0,68	0,79
	Evisceração	56,58	30,43	0,24	0,41
	Pré-cozimento	-	2,93	-	0,04
	Resfriamento por aspersão	-	25,21	-	0,34
	Salmoura/remoção de resíduos	139,45	-	0,59	-
	Limpeza da MP antes enchimento	273,99	-	1,17	-
	Enchimento das latas ⁽¹⁾	0,29	1,05	1,21x10 ⁻³	0,01
	Limpeza das latas lacradas	248,31	14,83	1,06	0,20
Limpeza de carrinhos e recipientes		10,72	2,68	0,05	1,47
Água para caldeiras ⁽¹⁾		216		0,70	0,70
Fábrica de gelo		34,12		0,15	-
Higienização da linha ⁽²⁾		385,35	176,17	1,81	5,48
Torre de resfriamento ⁽²⁾		47,18		0,22	1,47
Total		1.949,59		7,16	13,87

MP: Matéria-prima.

⁽¹⁾ Valor obtido por cálculo.⁽²⁾ Medição do consumo em 24 dias.

Conforme supracitado, o consumo médio de água potável captado por toda a empresa, durante o período de medições, foi de aproximadamente 2.500 m³/dia. Esse valor difere do consumo médio total observado na Tabela 1 (1.949,59 m³/dia), devido ao uso de água em pontos não identificados e não computados nos macro e microfluxos da empresa, como, por exemplo, nos usos do setor administrativo, vestiário masculino, barreiras sanitárias e outros pontos sem equipamentos de medição (desperdícios). Essa diferença é responsável por aproximadamente 22 % de todo o uso de água na indústria, apontando a necessidade de treinamento dos funcionários e adoção de medidas de redução de uso de água.

A Tabela 1 apresenta o consumo relativo de água, ou seja, de alguns setores pela quantidade de matéria-prima processada (m^3t^{-1} de matéria-prima). Como na indústria existem pontos comuns ao processamento de sardinha ou de atum, o consumo de água nessas etapas foi obtido pela razão do volume de água em cada setor, pela soma da quantidade de matéria-prima de atum e sardinha processados.

Nota-se que os maiores consumos de água por massa de matéria-prima foram verificados para o beneficiamento de atuns em lata, o que está relacionado à maior quantidade de sardinhas que de atuns enviados para beneficiamento: 243 t de sardinha fresca ou congelada e 72 t de atum fresco ou congelado. O estudo de Murphy (2006) descreve que a razão de água consumida por unidade de massa de produto processado decresce rapidamente com o aumento do volume de produção, isto é, uma pequena indústria processadora de pescado irá gastar mais água por kg de matéria-prima do que uma indústria com maior produção. Isso pode ser atribuído ao fato de que a maior quantidade de água consumida em um entreposto é destinada à limpeza e higienização da indústria e dos equipamentos.

A implementação de práticas de *cleaner production*, aliada às práticas de manipulação e fabricação adequadas pela mão de obra empregada na indústria, reduzirá o uso de água sem que haja perda da qualidade do produto final. Em vista disso, são recomendáveis os projetos de modificações nos equipamentos e nas tecnologias. Como exemplo, pode-se citar modificações no procedimento de remoção de resíduos sólidos no beneficiamento de sardinhas que utiliza água junto com sistema pneumático por novos processos de remoção utilizando vácuo, limpeza a alta pressão em todos os locais da empresa e higienização a seco de pisos e superfícies.

Ademais, capacitação e treinamento dos funcionários contribuem para a redução do uso de água em etapas de limpeza e reúso de recurso hídrico não potável em etapas e processos sem contato com o processamento dos alimentos (José et al., 2013; Olmez, 2014). Segundo o estudo de Uttamangkabovorn et al. (2005) feito em uma planta beneficiadora de atuns enlatados na Tailândia, após um treinamento de funcionários da linha de produção o consumo de água apresentou uma redução de 14 % na etapa de higienização de pisos e equipamentos.

Efluentes sólidos

A Tabela 2 mostra os tipos e a descrição dos resíduos oriundos da planta processadora, além da estimativa da quantidade mensal e o destino dado ao resíduo pela empresa. Pelos resultados foi possível observar que as vísceras corresponderam ao maior percentual tanto para a sardinha quanto para o atum.

Tabela 2. Identificação dos resíduos sólidos oriundos do processamento de sardinha e atum.

Tipo de Resíduo	Descrição	Estimativa. t mês ⁻¹	Destino
Resíduo de peixe inteiro, cabeça e cauda de sardinha	Material descartado por equipamentos de descabeçamento e remoção da cauda de sardinhas	1.143,00	Farinha e óleo de pescado
Vísceras de sardinha	Material removido por sucção nas evisceradoras da linha de produção de sardinhas	348.040,00	Farinha e óleo de peixe
Escamas de sardinha	Material residual removido no setor de descamação (sardinhas e cavalinhas)	0,634	Não há
Vísceras e pele do filé sardinha	Resíduo removido na lavagem da sardinha pós-depilação	27.170,00	Farinha e óleo de pescado
Carcaça de sardinha	Cabeça, cauda e espinhaço de sardinhas pré-cozidas no enlatamento do filé	14.060,00	Farinha e óleo de pescado
Cabeça, cauda e espinhaço de atum	Material residual gerado no toailete do atum	142.2102,00	Farinha e óleo de peixe
Esquírolas ósseas de atum	Material residual gerado da moagem e separação do atum ralado em equipamento de desossa	2.497,00	Não há
Vísceras de atum	Material residual retirado manualmente antes do cozimento e processamento	32.889,84	Farinha e óleo de peixe
Lodo de centrífugas	Lodo originário do flotador juntamente com o sangue coagulado e a cal calcítica	19,80	Farinha de peixe

O destino de quase todo o resíduo sólido da indústria vai para a fabricação de farinhas, geralmente empregadas em rações animais. Essa transformação de resíduos orgânicos em farinhas de peixes representa uma excelente opção de renda para aumentar a lucratividade de algumas indústrias de processamento (Boscolo; Feiden, 2007; Bastos et al., 2014).

É válido agregar alternativas tecnológicas ao tratamento de resíduos com possíveis usos em fármacos, produção de biocombustível, fertilizantes, produtos químicos, iscas e artesanatos. Assim, uma indústria processadora de pescado obtém ganhos na implantação de gerenciamento ambiental por causa da sinergia entre três principais ações: uso consciente da água, melhor utilização do pescado e aproveitamento dos efluentes e resíduos sólidos. Dentre os ganhos destaca-se: a redução do consumo de água e de energia, redução da emissão de poluentes e resíduos sólidos orgânicos (quantificados pela DQO) nos efluentes, redução do consumo de energia, produção de coprodutos comestíveis ou não de resíduos.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os dados de caracterização físico-química dos resíduos do processamento da sardinha e atum. Os resíduos provenientes do processamento de atuns apresenta-

ram maior percentual de proteína. Por outro lado, os resíduos de sardinha apresentaram médias maiores do teor de lipídios, principalmente para cabeça e cauda. Notou-se grande quantidade de cálcio e fósforo em ambos os materiais. Consequentemente, é possível estabelecer uma relação positiva para o aproveitamento desse material, direcionando-o para a nutrição animal.

Tabela 3. Caracterização físico-química de resíduos da indústria de processamento de sardinha.

Parâmetros ⁽¹⁾	Cabeça e cauda	Vísceras	Escamas
Umidade (%)	75,67±0,93	75,78±6,38	3,68±3,15
Proteína bruta (%)	13,63±2,66	9,89±4,33	25,88±11,28
Extrato etéreo (%)	4,21±0,31	13,23±2,23	4,21±3,32
Energia bruta (cal/g)	4.636±96,17	8.249±2.282,54	Nr
Matéria mineral (%)	5,64±2,07	2,02±0,92	12,61±5,56
Cálcio (%)	1,57±0,62	Nr	4,61±1,98
Fósforo (%)	0,84±,037	Nr	1,92±0,85

⁽¹⁾ Resultados obtidos de análises realizadas em três amostras colhidas em diferentes épocas do ano e em triplicata.
Nr – não realizado.

Tabela 4. Caracterização físico-química de resíduos da indústria de processamento de atum.

Parâmetros ⁽¹⁾	Cabeça e cauda	Vísceras	Esquírolas ósseas
Umidade (%)	35,41±26,97	76,57±2,91	4,71±0,69
Proteína bruta (%)	19,99±2,43	16,97±1,14	30,37±7,95
Extrato etéreo (%)	8,66±7,86	3,52±1,22	3,68±1,59
Energia bruta (cal/g)	1631,43±160,90	3270±1653,28	Nr
Matéria mineral (%)	16,55±3,83	3,16±2,07	34,22±10,79
Cálcio (%)	5,51±1,66	Nr	11,56±3,07
Fósforo (%)	2,71±,0,94	Nr	5,93±1,66

⁽¹⁾ Resultados obtidos de análises realizadas em três amostras colhidas em diferentes épocas do ano e em triplicata.
Nr – não realizado.

A Tabela 5 apresenta o perfil de ácidos graxos para os resíduos de cabeça, cauda e vísceras de sardinhas e atum. A quantidade de poli-insaturados presentes nas vísceras de sardinhas foi maior que aquelas presentes no atum. O ácido graxo palmítico (C16:0) foi predominante no material colhido do entreposto, independentemente do tipo de resíduo, corroborando com os tipos de ácidos graxos mais encontrados em pescado. Além disso, a respeito dos ácidos graxos Ômega 3, os valores encontrados para o ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6n-3), foram maiores que os do ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5n-3), o que confirma os achados apresentados por outros autores para outras espécies de peixes (Andrade, 1995; Ramos Filho et al., 2008, 2010).

Tabela 5. Composição de ácidos graxos em amostras de resíduos da indústria de processamento de sardinha e atum.

Ácidos graxos (%)	Sardinha		Atum	
	Cabeça e cauda	Vísceras	Cabeça e Cauda	Vísceras
(C6:0)	Ne	Ne	0,01±0,00	Ne
(C8)	Ne	0,01±0,00	Ne	Ne
(C12)	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,01	Ne
(C14:0)	0,38±0,16	1,24±0,20	0,65±0,42	0,12±0,06
(C15:0)	0,07±0,03	0,18±0,02	0,15±0,09	0,04±0,01
(C16:0)	1,28±0,33	3,31±0,74	2,62±1,56	0,94±0,08
(C17:0)	0,06±0,02	0,15±0,03	0,13±0,7	0,05±0,01
(C18:0)	0,30±0,09	0,71±0,22	0,55±0,23	0,55±0,22
(C20:0)	0,02±0,01	0,06±0,02	0,04±0,02	0,01±0,00
(C21:0)	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	Ne
(C22:0)	0,01±0,00	0,02±0,01	0,02±0,01	0,01±0,00
(C23:0)	Ne	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00
(C24:0)	0,02±0,01	0,02±0,01	0,04±0,01	0,02±0,01
(C14:1)	0,01±0,00	0,03±0,01	0,03±0,01	Ne
(C16:1)	0,24±0,20	0,98±0,26	0,43±0,30	0,12±0,05
(C18:1n9c)	0,33±0,07	1,15±0,77	1,40±0,93	0,33±0,06

Continua...

Tabela 5. "Continuação".

Ácidos graxos (%)	Sardinha		Atum	
	Cabeça e cauda	Vísceras	Cabeça e Cauda	Vísceras
(C20:1)	0,04±0,02	0,13±0,04	0,16±0,12	0,03±0,01
(C22:1n9)	0,01±0,00	0,02±0,01	0,02±0,02	Ne
(C24:1)	0,03±0,00	0,06±0,02	0,06±0,05	0,05±0,02
(C18:2n6c)	0,08±0,01	0,73±0,97	0,15±0,13	0,07±0,04
(C18:3n6)	0,01±0,00	0,02±0,02	0,01±0,00	Ne
(C18:3n3)	0,06±0,03	0,17±0,12	0,07±0,07	0,03±0,03
(C20:2)	0,02±0,01	0,03±0,00	0,02±0,02	0,01±0,00
(C20:3n3)	0,01±0,00	0,01±0,01	0,01±0,02	Ne
(C20:3n6)	0,00±0,00	0,03±0,02	0,01±0,00	Ne
(C20:4n6)	0,10±0,04	0,19±0,15	0,13±0,14	0,16±0,09
(C22:6n3)	0,85±0,36	1,69±0,69	1,16±1,54	1,05±0,68
(C20:5n3)	0,51±0,22	1,50±0,59	0,46±0,60	0,41±0,29
Total poli-insaturadas	1,63±0,64	4,44±0,96	2,03±2,53	1,74±1,09
Total monoinsaturadas	0,69±0,19	2,36±0,94	1,95±1,01	0,51±0,06
Total saturadas	2,17±0,61	5,72±1,12	4,23±2,42	1,54±0,18
Total insaturadas	2,33±0,49	6,80±1,23	3,97±3,36	2,25±1,14

Ne – não encontrado.

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados da composição em aminoácidos dos resíduos analisados. Entre os aminoácidos não essenciais, o ácido glutâmico e a glicina foram os encontrados em maiores concentrações. A lisina, leucina e arginina foram os aminoácidos essenciais encontrados também em maiores concentrações. No geral, os resíduos de atum apresentaram maiores concentrações de aminoácidos.

Tabela 6. Composição de aminoácidos em amostras de resíduos da indústria de processamento de sardinha e atum

Aminoácidos (%)	Sardinha		Atum	
	Cabeça e cauda	Vísceras	Cabeça e Cauda	Vísceras
Alanina	0,86±0,26	0,61±0,29	1,40±0,17	1,04±0,13
Arginina	0,61±0,23	0,17±0,08	1,27±0,14	0,54±0,45
Ácido aspártico	0,99±0,49	0,81±0,34	1,38±0,43	1,37±0,07
Glicina	1,10±0,50	0,63±0,26	1,97±0,66	1,15±0,16
Isoleucina	0,50±0,09	0,43±0,20	0,65±0,18	0,72±0,09
Leucina	0,97±0,26	0,70±0,31	0,99±0,84	1,29±0,08
Ácido glutâmico	1,59±0,66	1,24±0,55	2,02±0,35	2,22±0,23
Lisina	0,78±0,45	0,45±0,18	1,35±0,33	0,80±0,47
Cistina	0,21±0,10	0,15±0,04	0,22±0,05	0,32±0,13
Metionina	0,39±0,14	0,19±0,11	0,47±0,06	0,48±0,05
Fenilalanina	0,50±0,16	0,38±0,15	0,72±0,12	0,58±0,09
Tirosina	0,33±0,17	0,14±0,13	0,58±0,16	0,34±0,30
Treonina	0,45±0,20	0,41±0,17	0,78±0,09	0,80±0,08
Prolina	0,63±0,30	0,48±0,12	1,20±0,25	0,86±0,13
Valina	0,64±0,11	0,56±0,22	0,94±0,19	0,91±0,15
Histidina	0,46±0,27	0,32±0,17	0,82±0,20	0,59±0,06
Serina	0,44±0,24	0,35±0,16	0,82±0,04	0,82±0,08
Taurina	0,18±0,04	0,20±0,10	0,27±0,05	0,70±0,11
Soma dos aminoácidos (%)	11,62±4,25	8,21±3,36	18,21±1,64	15,54±0,29

As Tabelas 7 e 8 apresentam as análises do lodo da centrífuga *dewatering*, utilizado como alternativa para a elaboração de coprodutos. Foi encontrado alto percentual de lipídios e proteínas, com presença de aminoácidos essenciais e alta concentração de gorduras saturadas e insaturadas.

Tabela 7. Análise físico-química do lodo da centrífuga *dewatering* colhido de uma indústria de processamento de sardinha e atum.

Análise físico-química	Atum
Cabeça e cauda (Composição centesimal)	
Umidade (%)	67,93±1,59
Proteína bruta (%)	10,46±1,65
Extrato etéreo (%)	13,96±7,93
Matéria mineral (%)	3,08±0,47
Energia bruta (cal/g)	1.280,50±1.136,32
Aminoácidos (%)	
Alanina	0,58±0,11
Arginina	0,36±0,16
Ácido Aspártico	0,67±0,37
Glicina	0,50±0,19
Isoleucina	0,36±0,04
Leucina	0,70±0,22
Ácido Glutâmico	0,47±0,45
Lisina	0,47±0,21
Cistina	0,11±0,01
Metionina	0,23±0,08
Fenilalanina	0,39±0,12
Tirosina	0,28±0,08
Treonina	0,37±0,15
Prolina	0,36±0,16
Valina	0,46±0,04
Histidina	0,35±0,08
Serina	0,33±0,18
Taurina	0,04±0,02
Soma dos aminoácidos (%)	7,35±2,50

Tabela 8. Composição de ácidos graxos do lodo da centrífuga *dewatering* colhido de uma indústria de processamento de sardinha e atum.

Ácidos graxos	Valor (%)
(C12)	0,03±0,02
(C14:0)	0,96±0,72
(C15:0)	0,15±0,11
(C16:0)	3,36±1,68
(C17:0)	0,11±0,05
(C18:0)	0,70±0,22
(C20:0)	0,04±0,01
(C22:0)	0,03±0,01
(C23:0)	0,01±0,00
(C24:0)	0,01±0,00
(C16:1)	0,74±0,45
(C18:1n9c)	2,15±0,00
(C20:1)	0,12±0,08
(C22:1n9)	0,01±0,00
(C24:1)	0,05±0,02
(C18:2n6c)	2,66±0,86
(C18:3n3)	0,02±0,01
(C20:2)	0,02±0,01
((C20:4n6)	0,19±0,21
(C22:6n3)	1,33±1,49
(C20:5n3)	1,19±1,41
Total poli-insaturadas	2,74±0,00
Total monoinsaturadas	2,84±0,87
Total saturadas	5,37±2,79
Total insaturadas	8,60±5,15

As Figuras 1 a 9 ilustram os resíduos do processamento de atuns e sardinhas.



Foto: Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues.

Figura 1. Resíduo de peixe inteiro, cabeça e cauda de sardinha durante processamento industrial. Material descartado da máquina de descabeçamento e remoção da cauda de sardinhas.

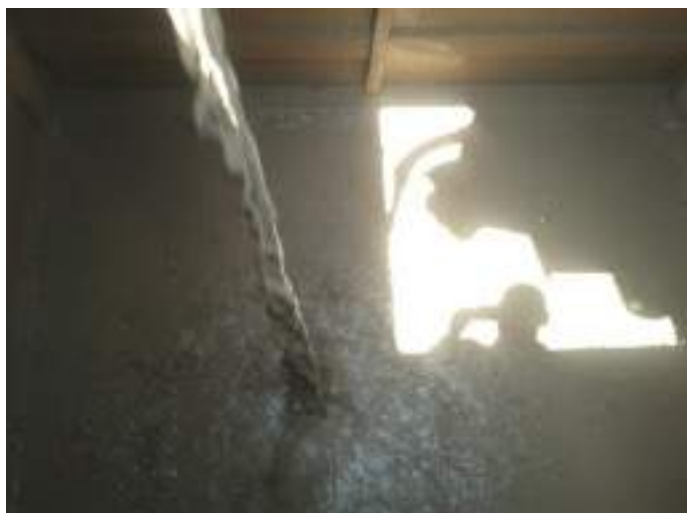


Foto: Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues.

Figura 2. Resíduo de vísceras de sardinha durante processamento industrial. Material removido por sucção nas evisceradoras da linha de produção de sardinhas.



Foto: Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues.

Figura 3. Material residual removido da descamação (sardinhas e cavalinhas).



Foto: Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues.

Figura 4. Visceras e pele do filé de sardinha. Resíduo removido na lavagem da sardinha pós-depilação.



Foto: Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues.

Figura 5. Carcaça, cabeça, cauda e espinhaço de sardinhas pré-cozidas para o processo de enlatamento do filé.



Foto: Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues.

Figura 6. Cabeça, cauda e espinhaço de atum. Material residual gerado no toailete do produto.



Foto: Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues.

Figura 7. Esquírolas ósseas de atum. Material residual gerado da moagem e separação do atum ralado em máquina desossadeira no processamento do produto.



Foto: Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues.

Figura 8. Vísceras de atum. Material residual retirado manualmente antes do cozimento e processamento do produto.



Foto: Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues.

Figura 9. Lodo da centrífuga *dewatering*, originário do flotor, juntamente com o sangue coagulado e a calcítica.

Conclusão

Com a análise do balanço hídrico realizado durante um mês na unidade industrial piloto, verificou-se uma diferença de 22 entre o volume real captado e o consumido em cada etapa do beneficiamento. A aplicação da metodologia de gerenciamento hídrico pode reduzir o consumo de água por meio da implementação de medidas de redução do consumo.

Nesse balanço hídrico, verificou-se que o maior consumo de água referente ao processamento de pescado na indústria na etapa de higienização ao final do dia trabalhado. Observou-se também que os maiores consumos de água por massa de matéria-prima processada foram destinados ao beneficiamento de atuns em lata. Dessa forma, a implementação de práticas de *cleaner production*, aliada às práticas adequadas de manipulação e fabricação pela mão de obra da indústria, reduzirá o uso de água sem que haja perda na qualidade do produto final.

Os resíduos sólidos produzidos pela unidade industrial apresentaram alto valor nutricional, apontando a relevância do desenvolvimento de tecnologias que garantam produtos de alta qualidade e com maior valor agregado. Assim, para que a sustentabilidade do setor seja consolidada, é necessário gerir os resíduos do beneficiamento para garantir seu melhor reaproveitamento. O conhecimento da composição química de cada resíduo demonstrou algumas diferenças nutricionais importantes, permitindo explorar várias alternativas que visem agregar valor, gerar coprodutos e reduzir os resíduos gerados no beneficiamento e industrialização desta matéria-prima.

Referências

- AFONSO, M. D.; BÓRQUEZ, R. Review of the treatment of seafood processing wastewaters and recovery of proteins therein by membrane separation processes: prospects of the ultrafiltration of wastewaters from the fish meal industry. **Desalination**, v. 142, p. 29-45, jan. 2002.
- ALKAYA, E.; DEMIRER, G. N. Minimizing and adding value to seafood processing wastes. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 195-202, out. 2016.
- ANDRADE, A. D.; RUBIRA, A.; MATSUSHITA, M.; SOUZA, N. E. Omega 3 fatty acids in freshwater fish from South Brazil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 72, p. 1207-1210, out. 1995.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 16. ed. [S.l.: s.n.], 1995.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Methods of analysis of association of official analytical chemists**. [S.l.: s.n.], 2000.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18. ed. Gaithersburg, MA: AOAC International, 2005.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. [S.l.: s.n.], 2007.
- BASTOS, S. C. TAVARES, T.; PIMENTA, M. E. de S. G.; LEAL, R.; FABRÍCIO, L. F.; PIMENTA, C. J.; NUNES, C. A.; PINHEIRO, A. C. M. Fish filleting residues for enrichment of wheat bread: chemical and sensory characteristics. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 2240-2245, 2014.
- BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. **Industrialização de tilápias**. Toledo: GFM Gráfica & Editora, 2007.
- CAMPO, R.; CARRERA-FERN, P.; BELLA, G. **Frontiers in wastewater treatment and modelling**. [S.l.: s.n.], 2017.
- CRISTOVÃO, R. O.; BOTELHO, C. M.; MARTINS, R. J. E.; LOUREIRO, J. M.; BOAVENTURA, R. A. R. Fish canning industry wastewater treatment for water reuse: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, n. 6, p. 669-677, 2015.
- CUMMING, D.; HENRIQUES, I.; SADORSKY, P. "Cleantech" venture capital around the world. **International Review of Financial Analysis**, v. 44, p. 86-97, mar. 2016.
- FELTES, M. M. C.; CORREIA, J. F. G.; BEIRÃO, L. H.; BLOCK, J. M.; NINOW, J. L.; SPILLER, V. R. Alternativas para a agregação de valor aos resíduos da industrialização de peixe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p. 669-677, 2010.
- JOSÉ, H. J.; MOREIRA, R. F. P. M.; LUIZ, D. B.; VIRMOND, E.; GENENA, A. K.; ANDERSEN, S. L. F.; SENA, R. F. de; SCHORÖDER, H. F. Water and wastewater management and biomass to energy conversion in a meat processing plant in Brazil: a case study. In: MUZZALUPO, I. (ed.). **Food Industry**. Manhattan: InTech, 2013.
- LUIZ, D. B.; GENERA, A. K.; JOSÉ, H. J.; MOREIRA, R. F. P. M.; SCHRÖDER, H. F. Tertiary treatment of slaughterhouse effluent: degradation kinetics applying UV radiation or H₂O₂/UV. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 7, p. 1869-1874, 2009.
- LUIZ, D. B.; SILVA, G. S.; VAZ, E. A. C.; JOSÉ, H. J.; MOREIRA, R. F. P. M. Evaluation of hybrid treatments to produce high quality reuse water. **Water Science and Technology**, v. 63, n. 9, p. 2046-2051, 2011.
- MARIN-MORALES, M. A. **Water reuse: safety and applications**. [S.l.: s.n.], 2016.

MURPHY, N. **Meat processing environmental impacts**: environmental impacts from meat and fish processing. [S.l.: s.n.]: Waste Reduction Resource Center, 2006.

OLMEZ, H. Water consumption, reuse and reduction strategies in food processing. **Sustainable Food Processing**, p. 1-15, 2014.

RAMOS FILHO, M. M.; RAMOS, M. I. L.; HIANE, P. A.; SOUSA, E. M. T. de. Nutritional value of seven freshwater fish species from the Brazilian pantanal. **Journal of the American oil Chemists' Society**, v. 87, p. 1461-1467, 2010.

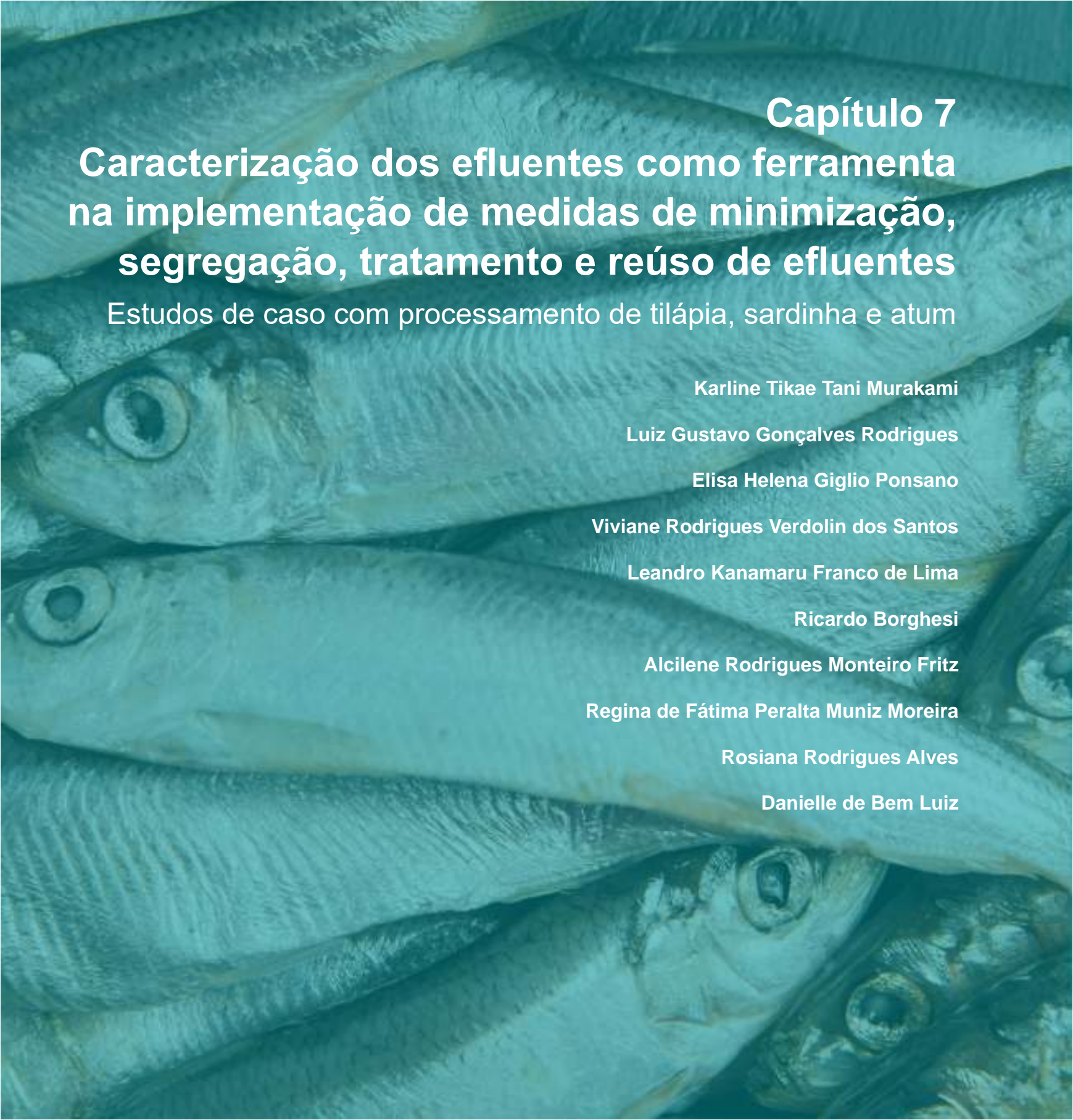
RAMOS FILHO, M. M.; RAMOS, M. I. L.; HIANE, P. A.; SOUZA, E. M. T. de. Perfil lipídico de quatro espécies de peixes da região pantaneira de Mato Grosso do Sul. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 361-365, 2008.

THRANE, M.; NIELSEN, E. H.; CHRISTENSEN, P. Cleaner production in Danish fish processing: experiences, status and possible future strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 380-390, 2009.

UTTAMANGKABOVORN, M.; PRASERTSAN, P.; KITTIKUN, A. H. Water conservation in canned tuna (pet food) plant in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, p. 547-555, 2005.

WHITE, J.; HART, R.; FRY, J. An evaluation of the Waters Pico-tag system for the amino-acid-analysis of food materials. **Journal of Automatic Chemistry**, v. 8, p. 170-177, 1986.





Capítulo 7

Caracterização dos efluentes como ferramenta na implementação de medidas de minimização, segregação, tratamento e reúso de efluentes

Estudos de caso com processamento de tilápia, sardinha e atum

Karline Tikae Tani Murakami

Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues

Elisa Helena Giglio Ponsano

Viviane Rodrigues Verdolin dos Santos

Leandro Kanamaru Franco de Lima

Ricardo Borghesi

Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz

Regina de Fátima Peralta Muniz Moreira

Rosiana Rodrigues Alves

Danielle de Bem Luiz

Introdução

Há uma grande diversidade de espécies de peixes que se diferenciam em tamanho, revestimento (pele, couro, escamas), presença de espinhas etc. Essa diversidade influencia a escolha pelos diferentes tipos e graus de beneficiamento e industrialização, gerando vários tipos de resíduos e quantidades de efluentes. Cada planta de beneficiamento de pescado é única devido às particularidades de cada espécie e produto final. Assim, Carawan (1991) afirma que não é adequado generalizar o uso da água e a geração de efluentes no processamento do pescado.

O efluente de uma indústria processadora de pescado, gerado principalmente das operações de abate, processamento e higiene da planta, possui altas concentrações de lipídios e proteínas que aumentam os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), óleos e graxas, compostos nitrogenados e fósforo. Logo, a remoção efetiva desses constituintes é importante para o controle da poluição dos corpos receptores, tendo em vista a minimização dos impactos ao meio ambiente (Carawan 1991; Murphy, 2006; Chouwdhury et al., 2010).

No estado de Santa Catarina, a Lei nº14.675/2009 estabelece padrões para o controle e a fiscalização das atividades geradoras de efluentes líquidos em corpos de água interiores, lagunas, estuários e beira-mar (Santa Catarina, 2009).

Já a Legislação Estadual de São Paulo, no Decreto nº 8.468/76, estabelece que as indústrias devem direcionar o efluente para o sistema de esgoto sanitário do município, obedecendo às condições de lançamento e aos parâmetros presentes no Artigo 19 A do referido decreto (São Paulo, 1976).

Caso ocorra impossibilidade técnica do sistema, o órgão ambiental fiscalizador poderá autorizar alternativas de destino final dos efluentes, como o lançamento direto ou indireto em um corpo hídrico receptor, desde que obedeçam às condições e aos parâmetros do Artigo 18, ou outra forma de coleta para o destino final no sistema municipal. No mais, para lançamento direto do efluente no corpo receptor após o tratamento, podem ser adotados os parâmetros regulamentados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), constantes na Resolução nº 430/2011 (Brasil, 2011b) e na Resolução nº 357/2005 (Brasil, 2005), que estabelece a classificação dos corpos de água receptores.

Devido aos altos custos dos processos de tratamento de efluentes e de disposição dos resíduos industriais, as indústrias têm se esforçado para aderir soluções que tornem o gerenciamento de resíduos mais efetivo, incluindo técnicas de minimização, reciclagem e reúso (Juskaitenorbuetienè et al., 2007). Tais atos são parte dos princípios da produção mais limpa (*cleaner production*), que tem como objetivo diminuir a poluição ambiental a partir da reorientação de processos e

produtos. A empresa, ao aderir ao processo de produção mais limpa, torna-se ambientalmente responsável e atinge o marketing ideal, com vantagens competitivas no mundo contemporâneo (Visvanathan; Asano, 2009). Para as indústrias, dentre os benefícios advindos da adoção de estratégias de produção mais limpa, podem-se citar (Ene et al., 2013):

- Redução do consumo de água e de energia.
- Redução da emissão de poluentes nos efluentes.
- Redução dos custos de tratamento de efluentes.
- Aumento da competitividade, advindo de ações ecologicamente conscientes que favorecem o *marketing* ambiental, conferindo uma imagem positiva perante a comunidade e os consumidores.

As águas de reúso de efluentes, que possuem qualidade inferior, podem servir às operações industriais como aquecimento e resfriamento; descargas sanitárias; uso na lavagem geral e em irrigação; e na proteção contra incêndio (Grobicki, 2008; Pain; Spuhler, 2016). A caracterização da composição físico-química e microbiológica do efluente possibilita conhecer as concentrações dos poluentes e contaminantes, aspecto fundamental para definir o tipo de tratamento a ser aplicado, monitorar o processamento, avaliar o enquadramento na legislação ambiental e avaliar a viabilidade de implantação de ações de produção mais limpa que incluam a racionalização e o uso sustentável da água fresca, diretamente captada de rios ou de estação de tratamento de água.

Adicionalmente, o conhecimento da contribuição unitária de cada parâmetro poluente (em função de unidades de massa ou volume de produto acabado) na carga de poluentes permite estimar o quanto do parâmetro será gerado em decorrência do processamento de uma quantidade específica de determinada espécie (Von Sperling, 2005), como, por exemplo o valor de DBO_5 gerado por tonelada de filé de tilápia processada. Inteirar-se desses dados facilita a projeção do tratamento de efluentes para uma instalação ou ampliação de uma indústria de processamento de pescado, possibilitando a decisão quanto ao tipo de tratamento, áreas e volumes de tanques, potência de aeradores, entre outros. Em resumo, a carga de poluentes permite definir a eficiência mínima que a estação de tratamento de efluente (ETE) deverá apresentar para que atinja os parâmetros legais de descarga do efluente, seja no sistema de tratamento de esgoto do município ou diretamente no corpo hídrico.

Dentre as espécies de pescado mais processadas no Brasil, destacam-se a sardinha, o atum e a tilápia. A sardinha é um peixe da família *Clupeidae* com ampla participação na produção pesqueira marinha do Brasil, com alto valor proteico e energético, de baixo preço, sendo aces-

sível à classe de menor renda (Martins; Oetterer, 2018). Diante disso, o mercado nacional de conservas de pescado possui a sardinha como a principal matéria-prima. As principais espécies são sardinha-cascuda, sardinha-laje e sardinha-verdadeira. De acordo com o Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura (Brasil, 2012), a sardinha-verdadeira tem sido a espécie de peixe mais capturada no Brasil.

Além da sardinha, o atum e afins também representam uma importante parcela do pescado capturado na costa brasileira (Brasil, 2012). É um pescado com alto índice proteico e energético, com atributos sensoriais atrativos (Martins; Oetterer, 2018), assim, apresenta ampla aceitação e demanda na culinária mundial.

Em relação à tilápia, em 2017 sua produção no Brasil foi superior a 357 mil/t, representando mais de 51 % da produção total da piscicultura nacional, números que colocam o país entre os quatro maiores produtores de tilápia do mundo (Medeiros, 2018). Com base nos dados da pesquisa de produção pecuária municipal do IBGE (2015), esse mercado tem perspectiva de crescimento.

A indústria de processamento de pescado utiliza um volume alto de água potável, empregada em quase todas as etapas do processamento e para o processo de higienização da indústria. O volume hídrico utilizado é proporcional ao volume de efluente gerado e estão relacionados com a espécie de pescado, o tipo de produto final obtido, o grau de processamento, a tecnologia adotada e, principalmente, com o grau de comprometimento da indústria com os conceitos de produção mais limpa, principalmente referente às práticas de minimização do consumo de água (Murphy, 2006).

No processamento de pescado estão incluídas diversas operações em comum, como sangria, descamação, descabeçamento, evisceração, filetagem, entre outros, que geram efluentes com alta concentração de lipídios e proteínas, resultando em alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), assim como compostos nitrogenados e fósforo (Carawan, 1991; Murphy, 2006; Cosmann et al., 2009; Choudhury et al., 2010; Krummer et al., 2011; Krummer et al., 2011).

O uso global de água na indústria de processamento de tilápia é elevado porque esse recurso é utilizado em todas as etapas do processamento (Choudhury et al., 2010). Além disso, o efluente gerado contém alta carga de matéria orgânica, sendo as etapas do processamento em que há maior contato da água com o pescado e seus resíduos (cabeça, carcaça, carne, pele, sangue e vísceras), as maiores fontes de matéria orgânica. Porém, outros processos podem gerar efluentes específicos, como na produção de pescado enlatado, em que o cozimento da carne antes do enlatamento pode ser feito com vapor ou contato direto com água quente. Nesse último caso, é gerado um efluente contendo altas concentrações de gordura e proteína. Ainda, há operações

de limpeza e sanitização que adicionam substâncias derivadas dos detergentes e sanitizantes aos efluentes.

O aumento na produção de pescado influencia no aumento da industrialização e amplia o volume de efluente gerado pelas indústrias de processamento. Este trabalho teve o objetivo de caracterizar, sob os aspectos físicoquímicos e microbiológicos, os efluentes gerados em cada etapa do processamento de atum, sardinha e tilápia, visando auxiliar a indústria a definir estratégias viáveis e efetivas de minimização, segregação, tratamento e reúso de efluentes.

Material e métodos

Descrição da unidade

O trabalho foi conduzido nos anos de 2014 e 2015 em duas unidades de beneficiamento de pescado e produtos de pescado. Os efluentes originados da produção de conserva de atum e de sardinha foram obtidos de indústria localizada em Santa Catarina. A empresa processa, diariamente, 300 t de pescado marinho capturado, gerando 250 t de produto. O volume de efluente diário produzido na indústria é de cerca de 2.200 m³.

O processamento de tilápia foi conduzido em uma unidade de beneficiamento de pescado e produtos de pescado localizada no estado de São Paulo. A indústria processa, aproximadamente, 26 t de pescado por dia, com rendimento médio de 35 %, isto é, produz, em média, 8 t/dia de filé congelado de tilápia. Os peixes são provenientes de pisciculturas da região, produzidos em tanques-rede. Os animais foram transportados vivos até a plataforma de recebimento, descarregados na área externa e distribuídos entre oito tanques de depuração onde permaneceram por até doze horas com renovação constante de água antes do início do processamento. A indústria gera uma média de 432 m³/dia de efluente.

Caracterização do efluente

Uma vez por mês, durante doze meses, foram coletadas amostras de efluentes de nove pontos na indústria de processamento de tilápias (Tabela 1) e de vinte e um pontos na indústria de processamento de sardinha e atum (Tabela 2), totalizando doze amostras de cada ponto.

As amostras foram coletadas em frascos de polietileno enxaguados com água destilada, solução (1:1) de ácido hidrocloreídrico ou de ácido nítrico e água desmineralizada (Hach Company, 1994). Antes da coleta da amostra foi feito o enxágue dos frascos três vezes com a própria amostra. Os frascos foram completamente preenchidos e fechados para diminuir a possibilidade de oxidação de substâncias posteriormente analisadas.

Tabela 1. Pontos de coleta das amostras para caracterização de efluentes do processamento de tilápia.

Pontos	Área – Tipo de efluente
PT1	Área externa – depuração
PT2	Área Suja – sangria
PT3	Área Suja – lavagem superficial
PT4	Área Limpa – descamação
PT5	Área Limpa – descabeçamento e evisceração
PT6	Área Limpa – filetagem
PT7	Área Limpa – toailete
PT8	Área Limpa – tanque de resfriamento
PT9	Área de apoio – lavagem de monoblocos
PT10	Área Externa – efluente total bruto

Tabela 2. Pontos de coleta das amostras para qualificação de efluentes do processamento de atum e sardinha.

Pontos	Área – Tipo de efluente
PT1	Sardinha: lavagem I área externa – 5 ppm de Cl – Cais
PT2	Sardinha: lavagem II – B área interna (área suja) – 5 ppm de Cl – Cais
PT3	Sardinha: lavagem III área externa – 5 ppm de Cl – Cais
PT4	Atum + Sardinha: tanques grandes de descongelamento + classificador (apenas sardinha)
PT5	Atum + sardinha: evisceração
PT6	Atum: cozimento
PT7	Atum: lavagem dos monoblocos
PT8	Atum: lavagem dos carrinhos
PT9	Atum: umidificador
PT10	Atum: lavagem das latas
PT11	Sardinha: tanques pequenos de descongelamento
PT12	Sardinha: salmoura
PT13	Sardinha: enlatamento 125 g

Continua...

Tabela 2. "Continuação".

Pontos	Área – Tipo de efluente
PT14	Sardinha: lavagem das latas 125g
PT15	Sardinha: descamação (depelagem)
Pt16	Sardinha: filetagem
PT17	Sardinha: enlatamento 250g
PT18	Sardinha: lavagem 250g
PT19	Sardinha: lavagem das latas do filé de sardinha
PT20	efluente bruto
PT21	Água de recirculação de resfriamento, torre de resfriamento

As amostras foram coletadas próximas ao centro dos recipientes, abaixo da superfície dos tanques ou na entrada de alimentação dos dutos, de forma a minimizar os efeitos de distribuição no sistema. Os frascos com as amostras foram armazenados em isopor com gelo até o início das análises de caracterização, que ocorreram dentro de um tempo máximo de 24h, com exceção das análises que não avaliavam metais, que foram realizadas dentro de até 48h, período no qual as amostras se mantiveram sob refrigeração. As análises bacteriológicas e físico-químicas (Tabela 3) foram realizadas de acordo com as metodologias descritas em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association, 2012) (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros analisados e métodos utilizados para caracterização físico-química e microbiológica dos efluentes.

Parâmetros	Métodos
Alcalinidade total (mg/L)	Titulometria
Alumínio total (mg/L)	Espectrofotometria
Cloreto (mg/L)	Espectrofotometria
Coliformes totais (NMP/100mL)	Método dos tubos múltiplos
Cor verdadeira e aparente (mg Pt/L)	Espectrofotometria
Demanda biológica de oxigênio (DBO) – 5 dias (mg de O ₂ /L)	Método de DBO – 5 dias

Continua...

Tabela 3. "Continuação".

Parâmetros	Métodos
Demanda química de oxigênio (DQO) (mg/L)	Método colorimétrico
Dureza total (mg/L)	Espectrofotometria
Ferro total (mg/L)	Espectrofotometria
Nitrato (mg N/L)	Espectrofotometria
Nitrito (mg N/L)	Espectrofotometria
Nitrogênio amoniacal (mg N/L)	Espectrofotometria
Óleos e graxas totais (mg/L)	Método da extração de Soxhlet
pH	Leitura direta
Sílica (mg/L)	Espectrofotometria
Sólidos totais (mg/L)	Gravimetria
Sólidos totais fixos (mg/L)	Gravimetria
Sólidos totais voláteis (mg/L)	Gravimetria
Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno (mg/L)	Espectrofotometria
Turbidez (NTU)	Leitura direta

Metodologias descritas em *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association, 2012).

Os resultados das análises do efluente geral bruto foram comparados com os limites estabelecidos pelas legislações estaduais – Decreto nº 8.648/76 (São Paulo, 1976) e Lei nº14.675/2009 (Santa Catarina, 2009), que estabelecem padrões para o controle e a fiscalização das atividades geradoras de efluentes líquidos em corpos de água interiores, lagoas, estuários e beira-mar. Além disso, os resultados foram comparados às legislações federais do Conama – Resolução nº 430/2011 (Brasil, 2011b) e Resolução nº 357/2005 (Brasil, 2005), que estabelecem condições e padrões de lançamento de efluente em sistemas de esgoto e em corpos hídricos receptores. Os padrões constantes nestas regulamentações, bem como valores citados por outros autores, estão compilados no Apêndice C (Tabela 16).

Cargas de poluentes geradas na indústria

Para quantificar o potencial poluidor das indústrias em estudo, foram calculadas as cargas de poluentes dos parâmetros sólidos totais, sólidos totais fixos e voláteis, DBO₅, DQO, óleos e graxas, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. Os resultados foram expressos por tonelada de produto acabado (PA). A Equação 1 foi utilizada para o cálculo das cargas de poluentes de cada parâmetro (Von Sperling, 2005).

[Equação 1]

$$C_x = \frac{[x] \cdot V_{ef, dia}}{PA_{dia}}$$

em que:

C_x = carga do poluente X (kg/t).

$V_{ef, dia}$ = volume médio de efluente gerado por dia (432.000 L para tilápia e 2.200.000 L para atum e sardinha).

PA_{dia} = produção média de produto acabado por dia (8,0 t para tilápia e 250 t para atum e sardinha).

[X] = concentração do poluente X em quilograma por litro (kg X/L).

Análise estatística

Após a comprovação da normalidade pelo teste das variáveis de Shapiro-Wilk e da homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett, os dados foram submetidos à análise de variância, com aplicação do teste F para detecção de significância em nível de $p < 0,05$, seguido do teste de Scott-Knott para comparação das médias dos tratamentos. Os dados que não tiveram distribuição normal foram transformados ou a partir deles foram retirados pontos com o objetivo de ajustá-los. O Programa R foi utilizado para as análises estatísticas (R Core Team, 2016).

Resultados e Discussão

Caracterização do efluente

As Tabelas 10 a 12 (Apêndice A) e 13 a 15 (Apêndice B) apresentam os resultados médios das análises obtidas para as amostras coletadas nos pontos de efluentes gerados no processamento de tilápia, atum e sardinha nas indústrias em estudo.

Cor aparente

A coloração de um meio líquido é consequência da dissolução de compostos, principalmente do material em estado coloidal orgânico (ácidos húmicos e fúlvicos, substâncias naturais resultantes da decomposição de substratos, como folhas) e do material inorgânico (como ferro e manganês), e sua medida é indiretamente proporcional ao grau de intensidade que a luz sofre ao atravessar a amostra (Cetesb, 2014).

As substâncias em suspensão também impedem a passagem de luz em amostras líquidas, atribuindo cor devido à turbidez que provocam. Assim, há duas medidas para a cor: a cor aparente, que é a medida da cor sem a remoção de turbidez; e a cor real, que é a medida da cor após a remoção de turbidez por meio de centrifugação, sedimentação e filtração (Von Sperling, 2005). O índice de cor não representa risco direto à saúde, mas é um indicativo da qualidade geral do efluente (Pereira, 2004; Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2009).

Os valores da cor aparente apresentaram elevados nas etapas de sangria, descamação, descabeçamento e evisceração, filetagem, toaleta, resfriamento e lavagem de monoblocos do processamento de tilápia; nas etapas de cozimento, lavagem dos carrinhos, lavagem das latas, salmoura e descamação do processamento de atum e sardinha devido à presença de sólidos em suspensão que interferem na passagem de luz, provavelmente decorrentes das perdas de gordura e proteínas que ocorrem nessas etapas.

Em todos os pontos analisados, as amostras dos efluentes apresentaram índices de cor aparente acima dos limites de 15 mg Pt/L para reúso da água em sistemas com fins urbanos (Apêndice C, Tabela 16). Cabe frisar que a cor não é parâmetro considerado quando se visa o reúso em sistemas de resfriamento.

Nas águas naturais, a cor dificulta a passagem da luz, que pode estar associada à presença de compostos recalcitrantes não biodegradáveis, isto é, de taxas de decomposição muito baixas que, em geral, são tóxicos aos organismos aquáticos e conferem problemas de estética (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2014). Apesar de a cor não ser um parâmetro para lançamento de efluentes em corpos hídricos e em sistemas de tratamento de esgoto, há que se levar em conta a necessidade de respeitar os padrões de cor do corpo receptor, ou seja, o efluente descartado não poderá ter características desarmonizadas com o enquadramento (São Paulo, 1976; Brasil, 2005, 2011b).

Turbidez

A turbidez é uma medida do grau de dificuldade da passagem da luz através do líquido por causa da absorção e do espalhamento da luz pelos materiais insolúveis em suspensão, como materiais coloidais, partículas inorgânicas muito finas (areia, argila), algas, bactérias e detritos orgânicos. Altos valores de turbidez reduzem a intensidade dos raios solares que penetram no corpo de água, prejudicando o equilíbrio das comunidades aquáticas (Brasil, 2006).

Nas estações de tratamento de água, a turbidez é um parâmetro de controle dos processos de coagulação-floculação, sedimentação e filtração. Além disso, a turbidez em águas submetidas à desinfecção pelo cloro é importante, pois as partículas grandes, presentes nesse tipo de efluente, protegem os microrganismos da ação desinfetante. A turbidez também é um fator de qualidade estética das águas, pois pode estar associada à contaminação (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2014).

Os efluentes das etapas de depuração e lavagem superficial do peixe no processamento de tilápia apresentaram valores abaixo do limite de 5 NTU para o reúso de água em fins urbanos (Apêndice C, Tabela 16). Dois pontos (sangria e tanque de resfriamento) ficaram abaixo do limite de 50 NTU estabelecido para reúso de água em sistemas de resfriamento. Os efluentes dos pontos onde há contato da água com cabeça e carcaça apresentaram os maiores valores de turbidez (61,7 NTU a 653,1 NTU), o que está relacionado à gordura presente nesses resíduos. Todos os efluentes do processamento de atum e sardinha apresentaram valores de turbidez acima do limite de 50 NTU estabelecido para reúso de água em sistemas de resfriamento, e de 5 NTU para o reúso de água em fins urbanos (Apêndice C, Tabela 16).

Os efluentes totais brutos dos processamentos de tilápia e de atum e sardinha apresentaram valores de turbidez elevados, de 683,8 NTU e 1166,0 NTU, respectivamente. Apesar de a turbidez não ser um parâmetro para lançamento de efluentes em sistema público de esgoto e em corpo receptor (São Paulo, 1976; Santa Catarina, 2009; Brasil, 2011b), é condição de qualidade para as diferentes classes de água, segundo a Resolução nº 357/2015 do Conama (Brasil, 2005). Por isso, deve-se levar em consideração a necessidade de atendimento ao padrão de turbidez de acordo com a classificação e classe do corpo receptor, ou seja, o descarte do efluente não poderá conferir ao corpo receptor características em desacordo com o enquadramento do mesmo.

Sólidos totais, fixos totais e voláteis totais

Os sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura preestabelecida, durante um tempo fixo (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2009). Qualificar a série de sólidos

quanto à distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos) é importante para o tratamento de efluentes.

A presença de qualquer sólido no efluente provoca alteração na cor, aumento da turbidez e diminuição da transparência, com a redução da quantidade de luz que entra na água, afetando o ecossistema aquático, a produção fotossintética e o oxigênio dissolvido no corpo hídrico (Chowdhury et al., 2010). A Resolução Conama nº 357/2005 tem o objetivo de preservar a qualidade no corpo d'água, estabelecendo padrões de qualidade dos corpos receptores, dentre eles a concentração limite de sólidos dissolvidos que deve ser de 500 mg/L para as classes 1, 2 e 3.

Pelos resultados encontrados para a concentração de sólidos totais nos pontos pesquisados do processamento de tilápia, atum e sardinha, verificou-se que quanto maior o contato da matéria orgânica com a água, maior é a carga de poluente no efluente gerado. O efluente líquido do processamento de pescado contém altos níveis de sólidos suspensos, constituídos de proteínas e lipídios (Palenzuela-Rollon et al., 2002) devido ao contato direto de cabeça, carcaça, pele e vísceras com a água.

O efluente do tanque de resfriamento apresentou alto valor de sólidos totais (13.223 mg/L) devido à permanência da água em contato com o filé de tilápia. Em vista disso, nessa etapa orienta-se a troca constante da água durante o processamento. As etapas de descabeçamento, evisceração, filetagem e toalete, em que os próprios resíduos geram quantidade significativa de partículas, também apresentaram alta concentração de sólidos totais.

Os dois pontos com maior concentração de sólidos no processamento de atum são o cozimento e a lavagem das latas, com 22.888,73 mg/L e 69.384,67 mg/L. As etapas de lavagem das latas das sardinhas também apresentaram altos valores de sólidos totais, 6.037,28 mg/L e 7.226,41 mg/L. Cabe ressaltar que, nessas etapas, há grande perda de matéria orgânica do produto.

Além do exposto, as turbulências, os bombeamentos, as fricções e os impactos mecânicos provocam a fragmentação da matéria-prima e geram substâncias em suspensão e em solução com alta carga orgânica, que não são retidas por gradeamentos e peneiramentos. Tal situação foi detectada na etapa de descamação de tilápia, na qual o contato e a pressão da água sobre o pescado e as escamas refletiram na alta concentração de sólidos totais no efluente (3.451 mg/L).

A capacidade de mineralização ou a condição de biodegradabilidade do efluente pode ser analisada pela razão entre sólidos voláteis e totais (SV/ST). Uma relação menor do que 0,5 indica que o efluente tem baixa capacidade de mineralização. Da mesma forma, quanto maior a razão, maior é a quantidade de fração orgânica que pode ser oxidada. Esse parâmetro é mais utilizado

para caracterizar resíduos sólidos (Costa, 2014). Contudo, para os objetivos deste trabalho, também serve como parâmetro indicador da fração de sólidos que deverá sofrer degradação (tratamento biológico) ou remoção (tratamento físico e/ou químico) durante o processo de tratamento.

Nos efluentes estudados (Tabela 4), a razão SV/ST variou entre 0,2 e 0,8. No processamento de tilápia, as amostras das etapas de descamação, descabeçamento e evisceração, filetagem, toalete, tanque de resfriamento e efluente total bruto apresentaram altos valores de sólidos voláteis em relação aos sólidos fixos, indicando maior concentração de matéria orgânica nesses efluentes. No processamento de atum e sardinha, as etapas de lavagem das latas e filetagem foram as que apresentam maior razão SV/ST. Nessas etapas há grande emissão de matéria orgânica, seja proveniente do produto (filetagem, resíduos nas latas etc.), seja de outras matérias-primas (óleos comestíveis, molhos etc.) utilizadas nas conservas.

Tabela 4. Capacidade de mineralização dos efluentes das etapas de processamento de tilápia, atum e sardinha.

Origem do efluente (processamento de tilápia)	SV/ST	Origem do efluente (processamento de atum e sardinha)	SV/ST
Depuração	0,2	Sardinha: lavagem I área externa – 5 ppm de Cl – Cais	0,3
Sangria	0,5	Sardinha: lavagem II – B área interna (área suja) – 5 ppm de Cl – Cais	0,2
Lavagem	0,4	Sardinha: lavagem III área externa – 5 ppm de Cl – Cais	0,3
Descamação	0,8	Atum + sardinha: tanques grandes de descongelamento + classificador (apenas sardinha)	0,4
Descabeçamento/evisceração	0,8	Atum + sardinha: evisceração	0,5
		Atum: cozimento	0,6
Filetagem	0,8	Atum: lavagem dos monoblocos	0,4
Toalete	0,8	Atum: lavagem dos carrinhos	0,5
Tanque de resfriamento	0,6	Atum: umidificador	0,6
Lavagem de monoblocos	0,4	Atum: lavagem das latas	0,7
Efluente bruto	0,8	Sardinha: tanques pequenos de descongelamento	0,6
-	-	Sardinha: salmoura	0,4

Continua...

Tabela 4. "Continuação".

Origem do efluente (processamento de tilápia)	SV/ST	Origem do efluente (processamento de atum e sardinha)	SV/ST
-	-	Sardinha: enlatamento 125 g	0,6
-	-	Sardinha: lavagem das latas 125g	0,7
-	-	Sardinha: descamação (depelagem)	0,7
-	-	Sardinha: filetagem	0,8
-	-	Sardinha: enlatamento 250g	0,6
-	-	Sardinha: lavagem 250g	0,4
-	-	Sardinha: lavagem das latas do filé de sardinha	0,7
-	-	Efluente bruto	0,6
		Água de recirculação de resfriamento, torre de resfriamento	0,4

Os efluentes de todas as etapas do processamento de atum, sardinha e tilápia nas quais ocorre perda de partes do produto (escamas, tecido muscular) e uso de líquidos de cobertura (como óleos comestíveis), bem como os efluentes brutos, apresentaram valores da razão SV/ST maiores do que 0,5, indicando boa capacidade de oxidação da matéria orgânica.

pH

Para a distribuição da água de abastecimento e para o reúso hídrico, o pH pode ser fator de risco, uma vez que as águas ácidas são corrosivas e as alcalinas são incrustantes. O efluente do tanque de resfriamento do processamento de tilápia apresentou pH $9,90 \pm 1,0$ e o da lavagem de monoblocos apresentou pH $9,25 \pm 0,4$, valores acima dos limites para o reúso da água para fins urbanos e para resfriamento. Já o efluente da esteira de lavagem apresentou pH $9,15 \pm 0,2$, acima dos limites de reúso para fins urbanos (Apêndice C). A alcalinidade verificada na lavagem de monoblocos provavelmente é devida ao uso de detergente alcalino na operação de higienização. Para o efluente do tanque de resfriamento, recomenda-se o aumento da frequência de troca da água utilizada nessa etapa.

Apenas em duas fases do processamento de atum e sardinha foram encontrados valores de pH acima dos limites permitidos para lançamento em corpos hídricos receptores (pH = 9,0), para o reúso de água nos sistemas de resfriamento (pH = 9,5) e para fins urbanos. Estes resultados

estão relacionados ao uso de soda no tanque de lavagem dos monoblocos e dos carrinhos no processamento do atum, deixando a água alcalina (Apêndice C).

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos ocorre direta e indiretamente. Diretamente, está relacionada aos efeitos fisiológicos das espécies aquáticas e microrganismos decompositores. Indiretamente, influencia no equilíbrio químico, como a solubilidade de metais, compostos tóxicos e nutrientes (Esteves, 2011). As restrições das faixas de pH são estabelecidas para as várias classes de águas naturais, conforme a legislação federal, Resolução nº 357 do Conama (Brasil, 2005) e a legislação do estado de São Paulo, Decreto n 8.468/76 (São Paulo, 1976), que permitem moderados afastamentos do valor de pH 7,0 como referência.

Além desses, há que se respeitar os padrões de lançamento direto de efluentes no corpo hídrico receptor preconizados pelo Decreto nº 8.468/76 e pela Resolução nº 430/2011 do Conama, que estabelecem que o pH deva estar na faixa entre 5 e 9 (São Paulo, 1976; Brasil, 2011b). A Lei nº 14.675/2009 estabelece a faixa de pH entre 6 e 10 (Santa Catarina, 2009). O Decreto nº 8.468/76 (São Paulo, 1976), no Artigo 19-A, estabelece o pH entre 6 e 10 para lançamento em rede pública junto a tratamento de esgotos.

O pH do efluente de plantas processadoras de pescado, normalmente, é de neutro a alcalino devido à decomposição da proteína com emissão de compostos de amônia. Portanto, os valores de pH dos efluentes brutos, gerados nos processamentos de atum, sardinha (pH = 6,03) e tilápia (pH = 7,82) encontram-se dentro dos limites estabelecidos para o lançamento em corpos hídricos receptores ou em estação de tratamento de esgotos (São Paulo, 1976; Santa Catarina, 2009; Brasil, 2011b).

O pH é um parâmetro importante no controle dos processos físico-químicos e biológicos do tratamento de efluentes. Nos processos de tratamento biológico, aeróbio ou anaeróbio, o pH próximo ao neutro proporciona tratamento mais estável e contribui com a formação de um ecossistema mais diversificado (Pereira, 2004; Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2009). Nas estações de tratamento de água, o processo de coagulação e floculação é dependente de um pH ótimo. Também a desinfecção pelo cloro é mais eficiente em meio ácido, porque a dissociação do ácido hipocloroso formando íon hipoclorito é menor (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2014).

Alcalinidade total

Por definição, a alcalinidade da água corresponde a sua capacidade quantitativa de neutralizar um ácido forte até um determinado pH (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2014). A alcalinidade é um parâmetro importante no controle de processos unitários (reações químicas) utilizados nas estações de tratamento de águas para abastecimento e residuárias e também para outros usos industriais, pois valores muito elevados podem ser indesejáveis, uma vez que podem ocasionar formação de depósitos e corrosão em tubulações (Kurita, 2014).

A alcalinidade esteve dentro do limite para reúso da água em sistemas de resfriamento em todos os pontos de geração de efluentes estudados no processamento de tilápias, enquanto em onze pontos do processamento de atum e sardinha o parâmetro esteve fora do limite de 450 mg/L, aceitável para esse fim (Apêndice C): sardinha: lavagem II – B área interna (área suja) – 5 ppm de Cl – Cais; atum + sardinha: evisceração; atum: cozimento; atum: lavagem dos monoblocos; atum: lavagem dos carrinhos; atum: umidificador; sardinha: tanques pequenos de descongelamento; sardinha: salmoura; sardinha: lavagem das latas 125 g; sardinha: descamação (depelagem); sardinha: filetagem.

A alcalinidade não representa risco à saúde pública e, portanto, não é utilizada na definição do padrão de potabilidade da água. Também não é usada como padrão para a classificação de águas naturais ou para a emissão de esgotos e não consta entre os parâmetros utilizados para avaliar possível reúso de efluente para fins urbanos.

Dureza total

A dureza da água é a soma dos cátions bivalentes presentes na sua constituição e é expressa em termos da quantidade equivalente de CaCO_3 que, em elevada quantidade, pode promover incrustações em tubulações de água quente e caldeiras, pois com o aumento da temperatura, ocorre a formação de carbonatos que precipitam e incrustam (Parrow et al., 2011). Por isso, a dureza é um dos parâmetros utilizados na definição do padrão para reúso em sistemas de resfriamento. Em todos os pontos analisados, as amostras dos efluentes apresentaram concentrações abaixo do limite de 700 mg/L permitido para reúso da água em sistemas de resfriamento (Apêndice C).

Cloreto

Os cloretos de sódio, cálcio e magnésio presentes em águas subterrâneas são provenientes de solos e rochas, enquanto nas águas superficiais, as principais fontes são as descargas de esgotos sanitários e industriais. As altas concentrações de cloreto conferem sabor salino à água

e podem provocar efeito laxativo (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2014). Por isso, a concentração de cloretos é utilizada como padrão de potabilidade segundo a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011a) e como padrão de classificação das águas doces, de acordo com a Resolução nº 357/2005 do Conama (Brasil, 2005), que estabelece o valor máximo de 250 mg/L para águas doces das classes 1, 2 e 3. O Decreto nº 8.468/76 (São Paulo, 1976), a Resolução do Conama 430/2011 (Brasil 2011b) e a Lei do Consema/SC 14.675/2009 (Santa Catarina, 2009) não indicam a concentração limite de cloreto para o lançamento de efluentes.

As altas concentrações de cloretos não são nocivas ao homem, mas impedem o uso da água para a agricultura e atividades industriais, pois aceleram os processos de corrosão em materiais metálicos (tubos, equipamentos) (Pereira, 2004). Todos os pontos do processamento de tilápia apresentaram concentrações inferiores ao limite para reúso de água em sistemas de resfriamento e para fins urbanos. Por outro lado, vários pontos do processamento de atum e sardinha apresentaram efluentes com concentração de cloretos acima dos limites para reúso em sistemas de resfriamento e fins urbanos, contribuindo para o elevado valor no efluente total bruto (Apêndice C). Estes resultados podem estar ligados à grande quantidade de salmoura utilizada nos barcos de pesca de atum e de sardinha e no tanque de salmoura utilizado antes do enlatamento de sardinhas.

O alumínio ingerido por via oral, por meio de alimentos e água, não apresenta toxicidade aguda. Contudo, sua dissolução no solo neutraliza os ácidos provenientes de chuvas ácidas, formando compostos tóxicos à vegetação que podem ser escoados a corpos d'água (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2009). O alumínio é utilizado no tratamento da água e como insumo em indústrias de alimentos (aditivo alimentar), farmacêutica e de produtos metálicos. Por isso, sua quantificação tem como objetivos avaliar a eficiência do tratamento da água e monitorar os resíduos industriais (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2014).

A presença de alumínio nos efluentes da indústria de tilápia é característica da própria fonte de água subterrânea utilizada, uma vez que o processamento dos filés não requer aditivo alimentar e o único tratamento aplicado na água antes do seu uso é a cloração. A concentração de alumínio nas amostras variou de 0,11 mg/L a 0,26 mg/L, portanto, todos os efluentes apresentaram concentrações acima do padrão de 0,1 mg/L, aceitável para reúso da água em sistemas de resfriamento. Com relação ao processamento de atum, apenas os efluentes da lavagem de latas e do umidificador apresentaram concentração de alumínio acima do padrão para reúso de água em sistemas de resfriamento (Apêndice C). Não foram encontrados valores de alumínio total compatíveis com o reúso do efluente para fins urbanos, assim como para lançamento de efluente em corpos hídricos e sistema de esgoto.

Ferro dissolvido

O ferro não é uma substância tóxica, mas sua presença na água pode alterar sua cor e sabor (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2009). Por isso, seu limite máximo deve ser de 0,3 mg/L em águas potáveis, de acordo com a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011a). Além disso, concentrações de ferro acima de 0,06 mg/L promovem a formação de biofilmes e de substâncias extracelulares poliméricas que aceleram o processo de corrosão de encanamentos em sistemas de distribuição (Jin; Guan, 2014).

Em águas superficiais, as concentrações elevadas de ferro indicam contaminação por efluentes industriais. A legislação estadual, no Decreto nº 8.468/76 (São Paulo, 1976) e a federal, na Resolução nº 430/2011 do Conama (Brasil, 2011b), determinam uma concentração máxima de ferro de 15 mg/L para o lançamento de efluentes em corpos hídricos e em sistemas de tratamento de esgotos sanitários. Ambos os efluentes brutos estudados apresentaram valores dentro desse limite e, para esse parâmetro, encontrariam possibilidade de descarte em água doce classe 3, em que o limite permitido é de 5,0 mg/L.

Em sistemas que utilizam encanamentos de ferro, uma alta concentração desse elemento pode ser encontrada. Dessa forma, era de se esperar um aumento da concentração de ferro em efluentes que entram em contato com as latas, como na etapa “atum: lavagem das latas”, após a recravação das tampas. Esse efluente (18,13 mg/L) foi o único que apresentou concentração acima do limite máximo de 5 mg FeO₂/L para o reúso de água em sistemas de resfriamento (Apêndice C).

Sílica

As altas concentrações de sílica impedem o reúso de água devido à formação de incrustações que, em altas temperaturas, podem vitrificar e fragilizar equipamentos, como caldeiras e sistemas de refrigeração (Nóbrega, 2016). Nos efluentes de seis pontos analisados do processamento de tilápia (sangria, descamação, descabeçamento, filetagem, toaleta e tanque de resfriamento), a concentração de sílica ultrapassou o limite do padrão aceitável (150 mg/L) para reúso da água em sistema de resfriamento. No processamento de atum e sardinha, os efluentes de apenas três pontos não excederam esse limite (sardinha: lavagem I externa – Cais, sardinha: lavagem III área externa – 5ppm de Cl – Cais, água de recirculação de resfriamento, torre de resfriamento) (Apêndice C).

DBO e DQO

Os parâmetros DQO e DBO_5 indicam a presença de matéria orgânica na água. DQO indica a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação química de matéria orgânica e inorgânica presente em meio aquoso, enquanto a DBO_5 indica a demanda de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica degradável por microrganismos aeróbios em um determinado período. Por isso, são parâmetros determinantes nos projetos de estações de tratamento biológico de efluentes (Pereira, 2004; Cetesb, 2009). A descarga de compostos orgânicos biodegradáveis causa redução na concentração de oxigênio dissolvida nos corpos d'água, impactando nos níveis de atividade ou, até mesmo, a morte da vida aquática (Verheijem et al., 1996). Por essa razão a importância da DBO_5 ser um parâmetro de classificação das águas naturais, segundo a legislação federal Conama nº357/2005 (Brasil, 2005) e o Decreto estadual nº 8.468/76 (São Paulo, 1976).

A literatura mostra que o efluente da indústria processadora de pescado apresenta altos valores de DBO_5 e DQO, sendo que o primeiro é proveniente, principalmente, dos compostos carbonados e nitrogenados (Carawan, 1991; Murphy, 2006; Choudhury et al., 2010). Essa informação foi confirmada em todas as amostras de efluentes originadas do processamento de atum, sardinha e tilápia. Apenas o efluente originado na etapa de depuração de tilápia apresentou valores de DBO_5 e DQO que permitem o reúso em sistemas de resfriamento e para fins urbanos. Os demais pontos estudados foram responsáveis pela geração de DBO_5 e DQO muito superiores aos limites permitidos para reaproveitamento, indicando a necessidade da aplicação de tratamentos despoluentes prévios ao lançamento (Apêndice C).

A razão entre a DBO_5 e a DQO indica a biodegradabilidade da matéria presente no efluente, parâmetro útil para a definição do tratamento de esgotos a ser adotado na indústria. Quando essa razão é inferior a 0,3 significa que o efluente terá baixa biodegradabilidade (Badawi; Ali 2006). Os valores de biodegradabilidade dos efluentes estudados estão apresentados na Tabela 5. O efluente bruto do processamento de tilápia apresentou biodegradabilidade 0,3, o que indica a adequação para um tratamento biológico. Nesse caso, a menor biodegradabilidade encontrada foi do efluente da etapa de lavagem de monoblocos, que pode estar associada à presença de agentes químicos de limpeza. O efluente bruto do processamento de atum e sardinha apresentou DBO_5/DQO de 0,6, sendo indicado para tratamento biológico. Apesar da alta carga orgânica, as etapas com biodegradabilidade menor que 0,3 (umidificação do atum e lavagem das latas) podem apresentar concentração de outros produtos (como sal – cloreto de sódio) e agentes químicos.

Tabela 5. Biodegradabilidade de efluentes gerados nas etapas do processamento de tilápia, atum e sardinha.

Origem do efluente (processamento de tilápia)	DBO ₅ /DQO	Origem do efluente (processamento de atum e sardinha)	DBO ₅ /DQO
Depuração	0,3	Sardinha: lavagem I área externa – 5 ppm de Cl – Cais	0,5
Sangria	0,4	Sardinha: lavagem II – B área interna (área suja) – 5 ppm de Cl – Cais	0,5
Lavagem superficial	0,3	Sardinha: lavagem III área externa – 5 ppm de Cl – Cais	0,6
Descamação	0,3	Atum + sardinha: tanques grandes de descongelamento + classificador (apenas sardinha)	0,5
Descabeçamento/evisceração	0,3	Atum + sardinha: evisceração	0,4
		Atum: cozimento	0,3
		Atum: lavagem dos monoblocos	0,4
Filetagem	0,3	Atum: lavagem dos carrinhos	0,4
Toalete	0,3	Atum: umidificador	0,1
Tanque de resfriamento	0,3	Atum: lavagem das lata	0,3
Lavagem de monoblocos	0,1	Sardinha: tanques pequenos de descongelamento	0,6
Efluente bruto	0,3	Sardinha: salmoura	0,4
-	-	Sardinha: enlatamento 125g	0,5
-	-	Sardinha: lavagem das latas 125g	0,3
-	-	Sardinha: descamação (depelagem)	0,5
-	-	Sardinha: filetagem	0,5
-	-	Sardinha: enlatamento 250g	0,5
-	-	Sardinha: lavagem 250g	0,3
-	-	Sardinha: lavagem das latas do filé de sardinha	0,1
-	-	Efluente bruto	0,4
-	-	Água de recirculação de resfriamento, torre de resfriamento	0,4

De acordo com o Artigo 19-A do Decreto Estadual nº 8.648/76 (Brasil, 1976), não há limite de DBO_5 estabelecido para lançamento de efluente no sistema de tratamento de esgoto. No entanto, segundo a mesma legislação (Artigo 18), na impossibilidade de descarte em sistema de esgoto, o efluente industrial pode ser descartado diretamente no corpo hídrico, desde que respeite o limite máximo de 60 mg/L de DBO_5 ou uma remoção de DBO_5 mínima de 80 % no processo de tratamento. Além disso, deve-se respeitar a classificação dos corpos receptores, pois não poderão ser lançados efluentes, mesmo tratados, que prejudiquem sua qualidade pela alteração de parâmetros. Por exemplo, em corpos receptores caracterizados como águas de classe 2, deve-se respeitar o parâmetro de classificação de DBO_5 até 5,0 mg/L (Apêndice C).

Nesse sentido, o efluente bruto do processamento de tilápia não poderia ser descartado diretamente em um corpo hídrico, pois apresenta DBO_5 bem acima do limite máximo permitido, mas poderia ser descartado no corpo receptor, caso atingisse, após seu tratamento, uma DBO_5 de 327,5 mg/L. Ainda assim, com esse valor alto, seria necessária uma avaliação do impacto desse efluente no corpo receptor para que não fosse alterado o padrão de classificação do corpo d'água.

A Resolução do Conama nº 430, de 13 de maio de 2011 (Brasil, 2011b), é menos rígida que a legislação paulista quanto ao padrão de lançamento de efluentes para DBO_5 . De acordo com a resolução, para o lançamento do efluente é necessária a remoção mínima de 60 % da DBO_5 , juntamente com a avaliação da capacidade de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

O efluente bruto do processamento de atum e sardinha apresentou um valor de DBO_5 de 2.068,73 mg/L. A lei estadual nº 14.675/2009 (Santa Catarina, 2009) também estabelece limite máximo de 60 mg/L de DBO_5 ou uma remoção mínima no processo de tratamento de 80 % da DBO_5 para o lançamento de efluente em corpos receptores.

Óleos e graxas

Óleos e graxas são um importante parâmetro de qualidade do efluente do processamento de pescado (Muthukumar; Baskaran, 2013) e constituem um conjunto de substâncias orgânicas (solúveis em n-hexano) de origem mineral, vegetal ou animal e que compreendem hidrocarbonetos, gorduras ésteres, ácidos graxos, óleos vegetais, ceras, óleos minerais, corantes orgânicos, entre outros (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2009). Essas substâncias são oxidadas durante o processo de decomposição, consumindo o oxigênio dissolvido e, portanto, sua quantidade é diretamente proporcional aos valores de DBO_5 e a DQO (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2014).

As altas concentrações dessas substâncias podem prejudicar o tratamento biológico do efluente, pois afetam os processos biológicos aeróbicos e anaeróbicos e também podem obstruir encanamentos (Pereira, 2004; Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2009). De acordo com o Artigo 19-A do Decreto Estadual nº 8.468/76 (São Paulo, 1976), o limite de óleos e graxas estabelecido para lançamento de efluente no sistema de tratamento de esgoto é de 150 mg/L.

Os altos valores de óleos e graxas em corpos hídricos provocam repulsa sob o ponto de vista estético, pois indicam contaminação por despejo inadequado de efluentes e resíduos. Além disso, prejudicam o ecossistema aquático, pois dificultam as trocas gasosas entre a água e a atmosfera (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2014). Por esses motivos, o Decreto nº 8.468/76 (Artigo 18) (São Paulo, 1976) determina o limite de 100 mg/L para os níveis de óleos e graxas nos efluentes lançados diretamente em corpos hídricos receptores.

Para a mesma finalidade, a Resolução nº 430 do Conama (Brasil, 2011b) determina os limites máximos de 50 mg/L para os óleos de origem vegetal e gorduras animais e de 20 mg/L para óleos minerais, devendo-se, também, observar a classificação dos corpos receptores para que sua qualidade não seja alterada. Para corpos receptores caracterizados como águas de classe 2 e 3, por exemplo, óleos e graxas devem estar virtualmente ausentes. Já a lei estadual nº 14.675/2009 (Santa Catarina, 2009) estabelece o limite máximo de 30 mg/L de óleos vegetais e gorduras animais em efluentes líquidos lançados em corpos de água interiores.

Chowdhury et al. (2010) relatam que aproximadamente 60 % do conteúdo de óleos e graxas do efluente industrial são originários do processo de abate e evisceração e o conteúdo restante de óleos e graxas é gerado durante as demais operações de processamento (descamação, retirada da pele/couro, filetagem) e enlatamento de pescado. Os efluentes brutos dos processamentos de tilápia e atum e sardinha apresentaram alta concentração de óleos e graxas (516,0 mg/L e 1.082,66 mg/L, respectivamente), portanto é fundamental que seja realizado o pré-tratamento físico-químico (separadores gravitacionais, coagulação, floculação e flotação) antes do descarte no sistema de tratamento de esgoto ou diretamente no corpo hídrico receptor.

Segundo Mancuso e Santos (2003), o padrão para o reúso de água para fins urbanos é de ausência de qualquer concentração de óleos e graxas, portanto, para os efluentes estudados, esse destino não seria possível já que em todos os pontos analisados detectou-se óleos e graxas. Na etapa de toailete das tilápias, manipuladores retiram pequenas imperfeições dos filés e, por isso, grandes quantidades de proteínas, óleos e graxas são dispensadas nos efluentes.

As etapas do processamento de atum e sardinha sem contato direto com a matéria-prima (lavagem de área externa – cais e de monoblocos, recirculação da torre de resfriamento) geraram efluentes com baixas concentrações de óleos e graxas. O baixo teor de óleos e graxas encontra-

dos no efluente oriundo dos tanques de descongelamento e do classificador no processamento de atum e sardinha pode ser explicado pela grande diluição da matéria-orgânica na água de descongelamento. Ainda nesse processamento, como as latas seladas passam por equipamento contendo água e detergente para a remoção de resíduos e líquidos de cobertura aderidos a elas, o efluente dessa etapa apresentou grande quantidade de óleo comestível.

Nitrato, Nitrito e Nitrogênio amoniacal

O nitrogênio amoniacal se apresenta em duas formas dissolvidas no meio aquoso (o amoníaco ou amônia não-ionizada – NH_3 – e o íon amônio, forma ionizada NH_4^+), cujas proporções relativas dependem do pH, da temperatura e da salinidade do ambiente (Teixeira, 2006). É formado por processo de decomposição de matéria orgânica e é o principal produto de excreção dos organismos aquáticos. É uma substância não cumulativa e não provoca danos fisiológicos aos humanos ou animais (Dal Pian; Alves, 2013), porém, a amônia não ionizada é tóxica aos peixes, causando asfixia (Pereira; Mercante, 2005). Além disso, a amônia consome oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente, por isso a concentração de nitrogênio amoniacal é um importante parâmetro de classificação das águas naturais (Brasil, 2005).

A oxidação biológica de amônia nas águas leva à formação de nitrato como produto final: primeiro, o nitrogênio amoniacal é oxidado a nitrito (NO_2^-) pelas bactérias do gênero *Nitrossomonas* e, posteriormente, a nitrato (NO_3^-) pelas bactérias do gênero *Nitrobacter*, em um processo conhecido por nitrificação (Nunes-Alves, 2016). Essa ação implica no consumo de oxigênio dissolvido no meio pelas bactérias, o que pode afetar a vida aquática.

Outro processo que também diminui a quantidade de oxigênio na água é a eutrofização, causada pelo excesso de nutrientes dissolvidos (principalmente, nitrogênio e fósforo) que favorecem o crescimento exacerbado de algas na superfície. Como consequência, a passagem de luz, fundamental para o processo de fotossíntese de plantas nas profundezas da água, fica prejudicada e torna o meio deficiente em oxigênio, afetando a sobrevivência de seres heterótrofos aquáticos (Luiz et al., 2015).

O excesso de nitrato em águas superficiais e subterrâneas também afeta a vida humana, pois, quando ingerido, é reduzido a nitrito, que se combina com a hemoglobina formando a metahemoglobina, causadora da “síndrome do bebê azul”, que pode ser fatal em recém-nascidos (Mori et al., 1999). A ingestão de excesso de nitrato também pode causar câncer, principalmente de estômago (Rengaraj; Luiz, 2007; Sá et al., 2009).

A alta carga de nitrogênio (em forma de amônia, nitrito e nitrato) em seu efluente representa um grande problema para muitas indústrias, como aquelas de revestimento metálico (Gabaldon et

al., 2007), de fertilizantes (Karabelas et al., 2001), de carbonato de sódio (Jadeja; Tewari, 2007), de papel e celulose (Mântări et al., 2006) e várias indústrias de alimentos (Vandekerckhove et al., 2008), como laticínios e frigoríficos (Lanyon, 1994; Luiz et al., 2009). Na indústria de pescado, os altos níveis de nitrogênio nos efluentes estão relacionados ao grande conteúdo de resíduos de carne e de sangue.

A lei estadual nº 14.675/2009 (Santa Catarina, 2009) não estabelece padrões de nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal para lançamento de efluente nos corpos hídricos receptores. O Decreto nº 8.468/76 também não estabelece padrões para esses parâmetros para o lançamento direto de efluente nos corpos receptores (Artigo 18) e na rede pública (Artigo 19-A), seguida de estação de tratamento de esgotos. No entanto, estabelece que o lançamento do efluente não prejudique a qualidade do corpo receptor pela alteração dos padrões dos parâmetros em que o corpo receptor estiver enquadrado (São Paulo, 1976).

A Resolução nº 430/2011 do Conama (Brasil, 2011b) estabelece somente o nitrogênio amoniacal total como padrão de lançamento direto no corpo receptor, no valor máximo de 20,0 mg N/L. Porém, a resolução também estabelece que para os parâmetros não incluídos nas metas obrigatórias, os padrões de qualidade a serem obedecidos correspondem à classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado. Neste estudo, os efluentes brutos oriundos dos processamentos de atum, sardinha e tilápia apresentaram concentrações abaixo desse padrão.

No processamento de tilápia, os efluentes procedentes das etapas de sangria, descamação, descabeçamento/evisceração e resfriamento, assim como o efluente bruto, apresentaram valores médios de nitrato acima do limite máximo de 10 mg/L permitido para fins de reúso urbano. Para nitrito, apenas o efluente do ponto de descabeçamento e evisceração ultrapassou o limite máximo de 1,0 mg/L, permitido para essa finalidade. No processamento de atum e sardinha todos os efluentes ficaram abaixo dos padrões limite de nitrato e nitrito para fins de reúso urbano (Apêndice C).

Os efluentes de todos os processamentos apresentaram valores de nitrogênio amoniacal total acima do limite de 1 mg/L permitido para o reúso da água em sistemas de resfriamento. Para a reutilização com fins urbanos, apenas o efluente do tanque de resfriamento do processamento de tilápia ficou acima do limite devido à presença de compostos nitrogenados na água de imersão dos filés. Já no processamento de atum e sardinha, os efluentes provenientes de pontos onde o contato da água com o pescado era intenso (sardinha: lavagem II – B área interna, atum: cozimento, atum: umidificador, sardinha: salmoura e sardinha: enlatamento) ultrapassaram o padrão de reúso para fins urbanos (Apêndice C).

Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno (surfactantes)

Os surfactantes são agentes tensoativos que apresentam estruturas moleculares com uma porção hidrofóbica e outra hidrofílica. Essa característica anfipática permite que eles sejam utilizados como conciliadores de fases imiscíveis e, por isso, são utilizados nas operações de limpeza realizadas industrialmente, o que provoca acúmulo de altas concentrações de substâncias derivadas dos detergentes nos efluentes. O descarte dessas substâncias em corpos hídricos receptores pode ocasionar formação de espuma no leito de rios e acelerar a eutrofização devido à presença de fósforo na formulação, além de representar toxicidade, tal como acontece com os sulfonatos de alquilbenzeno de cadeia linear (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2009).

Nos processos físico-químicos de tratamento de efluentes, a presença dessas substâncias reduz a habilidade de floculação das partículas, dificultando a separação dos sólidos nos sedimentadores (Colpani, 2012). Portanto, é fundamental considerar a principal finalidade da higienização e os possíveis efeitos na estação de tratamento e no meio ambiente, quando há escolha do detergente. Assim sendo, deve-se otimizar os procedimentos de limpeza sem prejudicar a segurança dos produtos processados, diminuindo o consumo de água e detergentes e, conseqüentemente, da carga poluente dos efluentes (Pacheco, 2006).

A legislação estadual paulista (São Paulo, 1976) e a legislação federal (Brasil, 2011b) determinam a ausência de materiais flutuantes como condição de lançamento de efluentes, mas não estabelecem padrão de lançamento para surfactantes, tanto diretamente em corpos hídricos receptores quanto em sistemas de tratamento de esgoto. A lei estadual catarinense (Santa Catarina, 2009), além de determinar a ausência de materiais flutuantes, também estabelece padrão de até 2 mg/L para substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno para o lançamento de efluente, respeitando a classificação dos corpos receptores de acordo com a Resolução nº 357/2005 do Conama (Brasil, 2005).

Os efluentes de 14 pontos analisados do processamento de atum e sardinha apresentaram concentrações de substâncias tensoativas acima do limite de 1 mg/L previsto para um possível reúso da água em sistema de resfriamento e todos apresentaram valores acima da concentração de reúso para fins urbanos (0,2 mg/L). O efluente bruto não ultrapassou o limite de 2 mg/L estabelecido pela Lei estadual nº 14675/2009 (Santa Catarina, 2009) para lançamento em corpos hídricos receptores. Todos os efluentes do processamento de tilápia apresentaram valores dentro do estabelecido para um possível reúso da água em sistemas de resfriamento e fins urbanos (Apêndice C).

Coliformes totais

Os resultados de coliformes totais elevados demonstraram que os efluentes gerados nas indústrias de processamento de atum, sardinha e tilápia apresentam risco microbiológico. Com relação aos padrões para reúso, todos os pontos apresentaram concentrações médias acima do padrão de 2,2 NMP/100 ml, visando aproveitamento para fins urbanos (Mancuso; Santos, 2003).

Cargas de poluentes geradas na indústria

As cargas de poluentes por tonelada de produto acabado geradas na indústria de processamento de tilápia (filé de tilápia congelado), atum e sardinha (conservas) estão descritas na Tabela 6.

Tabela 6. Cargas de poluentes por tonelada de produto acabado (PA) geradas na indústria de processamento de tilápia.

Parâmetro	Carga de poluente do efluente bruto do processamento de tilápia (kg/t)	Carga de poluente do efluente bruto do processamento de atum e sardinha (kg/t)
Sólidos totais	147,6	19,7
Sólidos totais fixos	32,9	7,0
Sólidos totais voláteis	114,7	12,7
DBO ₅	88,4	18,2
DQO	282,2	46,1
Óleos e graxas	2,78	9,5
Nitrato	1,0	1,8x10 ⁻²
Nitrito	2x10 ⁻²	3,8x10 ⁻⁴
Nitrogênio amoniacal total	1,17x10 ⁻²	1,6x10 ⁻¹

O conhecimento desses dados facilita a projeção do tratamento de efluentes de uma indústria de processamento de pescado, pois permite estimar o quanto de determinado parâmetro será gerado, considerando uma quantidade conhecida de matéria-prima. Com base nesses dados, é possível adequar o tipo de tratamento, calcular áreas e volumes de tanques, potência de aeradores, entre outros parâmetros (Von Sperling, 2005). Além disso, permite determinar a eficiência mínima que a estação de tratamento de esgoto (ETE) deverá ter para atender aos parâmetros previstos em lei e outros normativos para descarga de efluente, seja nos sistemas de tratamento de esgoto dos municípios ou diretamente em corpos hídricos.

As diversas etapas do processamento de pescado podem gerar resíduos contendo sangue, tecidos, gorduras e outras substâncias. Além disso, as operações de higienização também agregam ao efluente algumas substâncias derivadas dos detergentes e sanitizantes. Por isso, o conhecimento das cargas de poluentes geradas é fundamental para a adoção de estratégias de gestão de resíduos e tratamentos eficientes de efluente.

Inúmeros fatores, como a espécie processada, o produto desenvolvido, os métodos de produção, a vazão e o uso de aditivos (salmoura, molhos, óleos comestíveis em enlatados, entre outros), afetam a qualidade do efluente de indústrias de processamento de pescado (Carawan, 1991; Murphy 2006; Choudhury et al., 2010). Essa diversidade de fatores está diretamente relacionada às diferentes cargas de DBO_5^* no processamento de diversas espécies de peixes e produtos finais (Tabela 7).

Tabela 7. Carga de poluente de DBO_5 por tonelada de matéria-prima gerada em indústrias de processamento de pescado.

Tipo de efluente	Carga de poluente DBO_5 (kg/t)
Tilápia – filé congelado*	27,2
Atum e sardinha – conservas*	15,2
<i>Limanda ferruginea</i> (Storer, 1839) – filé fresco e congelado (recheado e empanado)	18,4
Peixe vermelho (Cantarilho) – filé fresco ¹	7,11
Arenque – filé	1,49 – 8,42
Salmão – fresco	1,78 – 2,59

*Dados deste estudo.

Fontes: ¹Lalond et al. (2007).

O processamento de tilápia, alvo deste estudo, gerou uma carga de 27,2 kg DBO_5 para cada tonelada de matéria-prima (tilápia inteira) e 88,4 kg DBO_5 para 1 t de produto acabado (filé de tilápia congelado). Já a produção de atum e sardinha em conserva gerou uma carga equivalente a 15,2 kg DBO_5 para cada tonelada de matéria-prima e 18,2 kg DBO_5 para cada tonelada de produto acabado (conservas). Os sólidos totais, voláteis e óleos e graxas foram os parâmetros que mais contribuíram para a carga poluente do efluente, refletidos nos altos valores de DBO_5 e DQO.

Segundo um relatório de vigilância da diretoria de operações de proteção ambiental do Canadá (Lalonde et al., 2007), as plantas de processamento de pescado apresentam diferentes características e geram altas concentrações de matéria orgânica (óleos e graxas, sólidos, nitrogênio total, carbono orgânico total, fósforo total e DBO_5), que variam de acordo com o nível de processamento adotado pela indústria. No relatório, a classificação do processamento segue a abordagem de Beaudim (2001) e é dividida em três níveis:

- Processamento primário: relacionado com operações iniciais, como embalagem da matéria-prima fresca.
- Processamento secundário: a matéria-prima é submetida a processamentos adicionais com finalidade de preservação ou apresentação.
- Processamento terciário: a matéria-prima sofre vários tipos de processos técnicos e tecnológicos mais elaborados, como enlatamento, defumação, entre outros.

Com base nessa classificação, a indústria de processamento de atum e sardinha se enquadra no processamento terciário, em que ocorre a geração de efluentes com altos níveis de cargas poluentes por causa da maior manipulação do pescado, que implica na formação de partículas menores que não são capturadas pelas telas utilizadas antes da estação de tratamento. Já a indústria de processamento de tilápia é considerada de processamento secundário, apesar de ter originado um efluente com carga de DBO_5 superior às demais indústrias. É possível que essa classificação esteja relacionada com o uso de tecnologias mais avançadas, aproveitamento de resíduos (geração de coprodutos) e uso racional e consciente da água e demais insumos, além de uma preocupação e/ou uma fiscalização mais rígida com relação às questões ambientais nas indústrias de países desenvolvidos, como o Canadá.

A indústria de filé de salmão fresco é classificada como processamento primário e apresenta cargas de DBO_5 bem menores que as indústrias de arenque defumado e filé de *yellowtail* empacado, classificadas como processamento terciário, devido à maior quantidade e complexidade de processos envolvidos na fabricação desses produtos (Lalonde et al., 2007).

Potencial de segregação de efluentes

Como demonstrado pelos parâmetros citados anteriormente, os efluentes líquidos da indústria de pescado, produzidos em vazões relativamente elevadas, contêm altos teores de DQO, óleos e graxas e sólidos suspensos totais (SST), além de compostos orgânicos complexos, como proteínas e gorduras. Somando-se a isso, as quantidades geradas variam em função das estações do ano e da maior ou menor facilidade de obter-se o pescado (Braile; Cavalcanti, 1993).

Um tratamento convencional de efluente segue as seguintes etapas (Metcalf; Eddy, 2015):

- Tratamento preliminar: remoção de constituintes sólidos removíveis por operações como gradeamento e remoção da areia e demais constituintes que possam prejudicar os tratamentos subsequentes.
- Tratamento primário (tratamento físico-químico): remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica.
- Tratamento secundário (tratamento biológico): remoção de matéria orgânica biodegradável, nutrientes (nitrogênio e/ou fósforo) e sólidos suspensos seguida ou não por desinfecção.
- Tratamento terciário: remoção de constituintes residuais de sólidos suspensos e nutrientes, seguida ou não por desinfecção.
- Tratamento avançado: remoção de constituintes (suspensos ou dissolvidos) que permanecem mesmo após o tratamento biológico, por exemplo: compostos orgânicos persistentes ou recalcitrantes que geralmente são compostos xenobióticos.

A etapa primária é composta por processos físicos, que envolvem fenômeno de natureza física em seu funcionamento e concepção (Skoronski, 2008). A etapa secundária envolve os processos bioquímicos, tornando-se responsável pela remediação de determinado contaminante (Von Sperling, 2005). Por fim, a etapa terciária reúne os processos físico-químicos, como a filtração, adsorção e oxidação química (Sonune; Gate, 2004).

No tratamento primário, em geral, remove-se cerca de 50 % de sólidos suspensos, 25 % a 50 % de DBO, 10 % a 20 % de nitrogênio orgânico e 10 % de fósforo. Os coagulantes/floculantes químicos permitem uma remoção parcial da matéria orgânica devido à precipitação de proteínas e gorduras. No entanto, o custo com produtos químicos é elevado, a gordura dissolvida não é removida de forma eficiente e o lodo produzido requer tratamento para o descarte (Lucas et al., 2000).

A eficiência do tratamento secundário pode variar de 75 % a 95 % para DBO e 80 % a 95 % para sólidos em suspensão (Braile; Cavalcanti, 1993). Os sistemas mais utilizados nesta etapa são processos anaeróbios, lagoas aeróbias, lodos ativados e suas variações, filtros biológicos de alta taxa e discos biológicos rotativos (biodiscos). Apesar de ser a técnica mais utilizada para o tratamento secundário, o tratamento biológico possui restrições, principalmente com relação

à degradação de substâncias recalcitrantes, além do fato de que muitos compostos podem ser tóxicos aos microrganismos, inviabilizando o uso desse processo (Martins et al., 2012).

Na etapa terciária são utilizados tratamentos físico-químicos que permitem a degradação ou mineralização completa de compostos refratários inorgânicos (como nitrato) e orgânicos (a maioria dos compostos recalcitrantes são xenobióticos, dentre outros, que são naturais). Os processos físico-químicos podem ser empregados isoladamente ou em combinação, dependendo do tipo de contaminante que se deseja remover, e incluem os processos eletroquímicos e de oxidação avançada (Módenes et al., 2012a, 2012b; Rosales et al., 2012).

O Nitrato pode ser removido de matrizes aquosas por meio de onerosos processos avançados de filtração (como troca iônica, osmose reversa e eletrodialise). Entretanto, este íon não é eliminado, mas é concentrado em uma solução que requer tratamento posterior. A desnitrificação biológica (redução de nitrato a nitrogênio molecular gasoso – N_2) é sensível a fatores ambientais (temperatura, oxigênio dissolvido, pH e presença de substâncias inibidoras), custosa e de difícil manutenção, gera biomassa e pode não ser favorável para a aplicação em uma estação de tratamento de água (ETA) (Gao et al., 2004; Zhang et al., 2005; Wehbe et al., 2009). Neste contexto, a desnitrificação fotocatalítica (fotorredução de nitrato ao inerte nitrogênio gasoso pela ação de um catalisador) pode ser mais econômica e, ainda, trazer vantagens ambientais (Jin et al., 2004; Zhang et al., 2005; Wehbe et al., 2009).

Os processos físico-químicos convencionais e avançados podem ser diferenciados de acordo com sua facilidade de aplicação, eficiência de remoção de contaminantes e viabilidade econômica (Lubenow, 2011). A escolha da combinação de tratamentos dependerá da relação custo-benefício, da segurança, da eficiência na remoção de contaminantes, das aplicações de reúso da água e das legislações aplicáveis.

Nas atividades industriais é pertinente considerar uma possível segregação de efluentes com características físico-químicas e microbiológicas semelhantes, de modo a obter um ótimo tratamento para cada caso, proporcionando economia de energia, maior eficiência e menores custos de descarte (Miyaki et al., 2000). Os tratamentos otimizados permitem gerar efluente tratado com características superiores, possibilitando eventuais reúsos ou ciclos e, por consequência, obter economia na captação, tratamento e uso de água fresca, preservando os recursos hídricos (Ferracioli et al., 2017, 2018; Guimarães et al., 2018).

As análises estatísticas aplicadas aos resultados encontrados neste estudo permitiram a indicação de grupos de efluentes e a segregação de correntes. A DBO_5 foi escolhida como parâmetro determinante para essa finalidade, uma vez que seu conhecimento é fundamental na elaboração dos projetos das estações de tratamento biológico de esgotos, pois determina as principais ca-

racterísticas do sistema a ser adotado, como as áreas e os volumes de tanques, as potências de aeradores etc. (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2009). Dessa forma, e

Tabela 8. Proposição de grupos de efluentes de uma indústria modelo de processamento de tilápia (filé congelado) para segregação prévia ao tratamento.

Efluentes de etapas do processamento de sardinha e atum em fábrica de conserva modelo	Média* DBO ₅ (mg/L)	Teste de médias	Grupo
Área limpa – descabeçamento/evisceração	1.677,93	b	1
Área limpa – tanque de tratamento (imersão do filé em água com 1baixa temperatura) prévio ao congelamento	2.448,93	a	
Área limpa – descamação	935,00	c	2
Área limpa – filetagem	738,64	d	
Área suja – sangria	351,86	e	
Área limpa – toaleta	677,57	d	
Área suja – lavagem superficial	30,91	g	3
Área de apoio – lavagem de monoblocos	150,59	f	

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) comparando valores das etapas de processamento (linhas) na mesma coluna (parâmetro de qualidade de água).

Tabela 9. Proposição de grupos de efluentes de uma indústria modelo de processamento de atum e sardinha em conserva para segregação prévia ao tratamento.

Efluentes de etapas do processamento de sardinha e atum em fábrica de conserva modelo	Média* DBO ₅ (mg/L)	Teste de médias	Grupo
Atum: cozimento	9.305,12	a	1
Atum: umidificador	4.366,26	b	
Sardinha: salmoura	5.121,66	a	
Sardinha: descamação (depelagem)	3.035,81	b	
Sardinha: lavagem II – B área interna (área suja) – 5 ppm de Cl – Cais	1.985,58	c	2
Atum + sardinha: evisceração	1.864,02	c	
Atum: lavagem dos monoblocos	1.461,02	c	
Atum: lavagem dos carrinhos	2.182,43	c	
Atum: lavagem das latas	17.983,82	c	
Sardinha: tanques pequenos de descongelamento	1.321,64	c	
Sardinha: enlatamento 125 g	731,61	c	
Sardinha: lavagem das latas 125 g	1.310,14	c	
Sardinha: filetagem	2.312,77	c	
Sardinha: enlatamento 250g	1.471,80	c	
Sardinha: lavagem das latas do filé de sardinha	561,84	d	3
Sardinha: lavagem 250g	1.602,06	c	
Sardinha: lavagem I área externa – 5 ppm de Cl – Cais	300,42	d	
Sardinha: lavagem III área externa – 5 ppm de Cl – Cais	318,89	d	
Atum + sardinha: tanques grandes de descongelamento + classificador (apenas sardinha)	683,63	d	
Água de recirculação de resfriamento, torre de resfriamento	226,77	d	

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) comparando valores das etapas de processamento (linhas) na mesma coluna (parâmetro de qualidade de água).

com base na literatura referenciada neste estudo, foi possível propor a separação das correntes dos efluentes nas indústrias de processamento de tilápia, atum e sardinha em três grupos, conforme demonstrado nas Tabelas 8 e 9.

Essas subdivisões de efluentes correspondem às literaturas referenciadas neste estudo. Segundo Carawan (1991), pode-se dividir o efluente de unidades processadoras de pescado em duas categorias: a primeira, com alto volume e baixa concentração de resíduos, proveniente de degelo, defumação, transporte, água de lavagem e higienização dos pisos e maquinário, entre outras etapas, que não incluem perda de peso do pescado. A segunda categoria, por sua vez, apresenta baixo volume e alta concentração de resíduos, que constituem as etapas em que o efluente apresenta sangue, carne, óleos e gorduras, como a evisceração, limpeza, fracionamento e filetagem (Murphy, 2006). Chouwdhury et al. (2010) incluem um terceiro grau de contaminação do efluente, dividindo em baixo grau de contaminação, como as operações de lavagens; médio grau de contaminação, como a filetagem; e alto grau de contaminação, como água com sangue do pescado.

Para a segregação do efluente, há de se considerar a localização do ponto gerador na indústria, seu volume e sua composição físico-química. Assim, a avaliação estatística das características dos efluentes auxilia na análise do impacto, logística e decisão gerencial em segregar ou não um efluente juntamente com aqueles do mesmo setor ou de outro. Assim, pode haver situação em que os resultados das análises indiquem que determinado efluente de um setor deva ser segregado juntamente com o de outro setor, mas, por questões de logística, a criação dessa rede de efluentes não seja viável. Tal situação ocorreu neste estudo quando constatou-se que o efluente gerado no ponto “sardinha: lavagem das latas do filé de sardinha” deveria ser destinado ao grupo 3, mas teve que ser considerado no grupo 2 em razão da logística.

Os processos aplicados ao tratamento dos efluentes, com objetivo de reúso, devem ser realizados de acordo com as características de cada efluente, devendo ser suficientes para atender aos limites legais estabelecidos. Para os grupos 1 e 2, com efluentes de alta carga orgânica e turbidez, é recomendado tratar o efluente final, composto pela junção de todos os efluentes desse agrupamento, por meio de tratamento convencional: pré-tratamento, tratamento primário, secundário, terciário (opcional) e do lodo.

Para os efluentes do grupo 3, provenientes dos processos de lavagem com presença de agentes de higienização, é recomendada a correção de valores elevados de pH (processo que inicia o tratamento de efluentes), realizando a neutralização para valores entre 5,0 e 9,0, a fim de evitar ou eliminar a reatividade/corrosividade do efluente. Em seguida, é recomendado o tratamento simples, usando filtração rápida, lenta e microfiltração, seguido de desinfecções com cloro. Cabe ressaltar a necessidade de avaliar um tratamento biológico, após tratamento físico primário.

Para otimizar o tratamento, é preciso evitar o descarte de resíduos sólidos no efluente. Algumas modificações podem ser colocadas em prática para redução e prevenção desses resíduos, como

melhoria das grades de drenagem de líquidos dos pisos, limpeza a seco dos resíduos gerados no processamento e treinamento dos funcionários quanto à destinação dos resíduos na linha de produção.

Conclusão

Os dados encontrados no presente estudo fornecem às indústrias de processamento de tilápias, atum e sardinha subsídios para a avaliação de estratégias para minimização do uso de água, para a segregação de efluentes em grupos e para a escolha do tratamento de efluentes, visando o descarte e/ou o reúso, obedecendo às normativas legais e aos princípios de gestão ambiental e sustentabilidade. A adoção de ações ambientalmente corretas, dentro dos princípios de produção mais limpa, pode favorecer a sustentabilidade econômica da empresa, contribuindo para sua competitividade, redução de insumos e custos e construção de uma imagem positiva perante os consumidores (marketing ambiental).

Referências

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2012.
- BADAWY, M. I.; ALI, M. E. M. Fenton's peroxidation and coagulation processes for the treatment of combined industrial and domestic wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. B136, p. 961-966, 2006.
- BEAUDIN, M. Towards greater value: enhancing eastern Canada's seafood industry. **The Canadian institute for research on regional development, maritimes collection, monographs**, p. 301, 2001.
- BRAILE, P.; CAVALCANTI, J. E. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: Cetsb – 1993.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 357, de 17 de março 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, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, n. 53, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 2. ed. rev. Brasília, DF: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 146 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, 2011a.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conama. **Diário Oficial da União**, 2011b.
- BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil 2010**. Brasília, DF: MPA, 2012a.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim do Registro Geral da Atividade Pesqueira - RGP**. Brasília, DF: MPA, 2012b.

CARAWAN, R. E. Processing Plant Waste Management Guidelines for Aquatic Fishery Products. *Seafood and The Environment* – 1991. **Pollution Prevention Short Course**, v. 36, n. 11991, p. 36, 1991.

CHOWDHURY, P.; VIRARAGHAVAN, T.; SRINIVASAN, A. Biological treatment processes for fish processing wastewater: a review. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 439-449, 2010.

COLPANI, G. L. **Preparação e caracterização de adsorventes para a remoção de surfactantes aniônicos em águas residuárias**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2002**. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: Cetesb, 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas superficiais**. São Paulo: Cetesb, 2014.

COSTA, A. M. T. **Codigestão anaeróbia de resíduos bovinos e suínos**: caracterização química e produção de biofertilizante para uso em cultura de milho. 2014. 157 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

DAL PIAN, L. F.; ALVES, D. D. P. Desafios da divulgação científica em cobertura jornalística de desastre ambiental. **Ciência & Educação**, v. 19, n. 4, p. 929-946, 2013.

EPA - United States Environmental Protection Agency. **Guidelines for water reuse**. EPA/600/R-12/618. Washington, D.C.: [s.n.], 2017.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência Brasil, 2011. 790 p.

FERRACIOLLI, L. M. D. V. et al. Reduction in water consumption and liquid effluent generation at a fish processing plant. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 948-956, 2018.

FERRACIOLLI, L. M. R. V. D.; LUIZ, D. B.; NAVAL, L. P. Potential for reuse of effluent from fish-processing industries. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 5, p. 730-42, 2017.

GABALDÓN, C. IZQUIERDO, M.; MARTÍNEZ-SORIA, V.; MARZAL, P.; PENYA-ROJA, J.-M.; ALVAREZ-HORNOS, F. J. Biological nitrate removal from wastewater of a metal-finishing industry. **Journal of Hazardous Materials**, v. 148, n. 1-2, p. 485-490, 2007.

GAO, W.; JIN, R.; CHEN, J.; GUAN, X.; ZENG, H.; ZHANG, F.; GUAN, N. Titania-supported bimetallic catalysts for photocatalytic reduction of nitrate. **Catalysis Today**, v. 90, p. 331-336, 2004.

GROBICKI, A. **The future of water use in industry**. [S.l.: s.n.], 2008.

GUIMARÃES, J. T.; SOUZA, A. L. M.; SANTA BRÍGIDA, A. I.; FURTADO, A. A. L.; CHICRALA, P. C. M. S.; SANTOS, V. R. V.; ALVES, R. R.; LUIZ, D. B.; MESQUITA, E. F. M. Quantification and characterization of effluents from the seafood processing industry aiming at water reuse: a pilot study. **Journal of Water Process Engineering**, v. 26, p. 138-145, 2018.

HACH COMPANY. **DR/2000 Spectrophotometer instrument manual**: for use with software Version 3. [S.l.: s.n.], 1994.

IBGE. Coordenação de Agropecuária. **Produção Pecuária Municipal**. Brasília, DF. 2015.

JADEJA, R. N.; TEWARI, A. Effect of soda ash industry effluent on bioaccumulation of metals by seaweeds of coastal region of Gujarat, India. **Journal of Hazardous Materials**, v. 147, n. 1-2, p. 148-154, 2007.

JIN, J.; GUAN, Y. The mutual co-regulation of extracellular polymeric substances and iron ions in biocorrosion of cast iron pipes. **Bioresource Technology**, v. 169, p. 387-394, 2014.

JIN, R. GAO, W.; CHEN, J.; ZENG, H.; ZHANG, F.; LIU, Z.; GUAN, N. Photocatalytic reduction of nitrate ion in drinking water by using metalloides MgTiO₃-TiO₂ composite semiconductor catalyst. **Journal of Photochemistry and and Photobiology A: Chemistry**, v. 162, n. 2-3, p. 585-590, 2004.

JUSKAITÈ-NORBUTIEŅÈ, R.; MILIUTÈ, J.; CESNAITIS, R. Bio-degradable waste and by-products from food industry management systems in Lithuania: analysis, problems and improvement possibilities. **Environmental Research, Engineering and Management**, v. 4, n. 42, p. 60-69, 2007.

KARABELAS, A. J.; YIANTSIOS, S. G.; METAXIOTOU, Z.; ANDRITSOS, N.; AKISKALOS, A.; VLACHOPOULOS, G.; STAVROULIAS, S. Water and materials recovery from fertilizer industry acidic effluents by membrane processes. **Desalination**, v. 138, n. 1-3, p. 93-102, 2001.

LALONDE, B. A.; GARRON, C. A.; ERNST, W. **Characterization and toxicity testing of fish processing plant effluent in Canada**. **Environmental protection operations directorate**. Dartmouth: Environment Canadá, 2007.

LANYON, L. E. Dairy manure and plant nutrient management issues affecting water quality and the dairy industry. **Journal of Dairy Science**, v. 77, n. 7, p. 1999-2007, 1994.

LUBENOW, L. A. **Redução na carga orgânica de efluentes com herbicida atrazina utilizando a integração dos processos de eletrocoagulação e fotofenton**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) — Faculdade Dinâmica de Cataratas, Foz do Iguaçu.

LUCAS, A. P. C.; KOETZ, P. R.; PRZYBYLSKI, S. L. A. Tratamento anaeróbio de efluentes do processamento de corvina (micropogonias furnieri) em reator UASB. **Vetor**, v. 10, n. 9, p. 113-124, 2000.

LUIZ, D. B. **Gerenciamento hídrico em frigoríficos**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

LUIZ, D. B. ; GENERA, A. K.; JOSÉ, H. J.; MOREIRA, R. F. P. M.; SCHRÖDER, H. F. Tertiary treatment of slaughterhouse effluent: degradation kinetics applying UV radiation or H₂O₂/UV. **Science and Technology**, v. 60, n. 7, p. 1869-1874, 2009.

LUIZ, D. B.; JOSÉ, H. J.; MOREIRA, R. F. P. M. Kinetics of photocatalytic reduction of nitrate in synthetic and real effluent using TiO₂ doped with Zn as photocatalyst. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 90, n. 5, p. 821-829, 2015. DOI 10.1002/jctb.4375.

LUIZ, D. B.; JOSÉ, H. J.; MOREIRA, R. F. P. M. A discussion paper on challenges and proposals for advanced treatments for potabilization of wastewater in the food industry. In: VALDEZ, B. (ed.). **Scientific, health and social aspects of the food industry**. Croatia: InTech, 2012.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. **Reúso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003.

MÄNTTÄRI, M.; VIITIKKO, K.; NYSTRÖM, M. Nanofiltration of biologically treated effluents from the pulp and paper industry. **Journal of Membrane Science**, v. 272 n. b1-2, p. 152-160, 2006.

MARTINS, R. C.; JIMÉNEZ, B. M.; CASTRO-SILVA, S.; QUINAT-FERREIRA, R. M. Enhancing Agro-Industrial wastewater depuration by ozone oxidation. **Ozone: Science & Engineering**, v. 34, n. 5, p. 387-396, 2012.

MARTINS, W. S.; OETTERER, M. Correlação entre o valor nutricional e o preço de oito espécies de pescado comercializados no Estado de São Paulo. **Pesca Institute Buletin**, v. 36, n. 4, p. 277-282, 2018.

MEDEIROS, F. (coord.). **Anuário Brasileiro da Piscicultura: PEIXE BR 2018**. São Paulo: Texto Comunicação Corporativa, 2018.

MIYAKI, H.; ADACHI, S.; SUDA, K.; KOJIMA, Y. Water recycling by floating media filtration and nanofiltration at a soft drink factory. **Desalination**, v. 131, n. 1-3, 2000.

MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; MANENTI, D. R.; BORBA, F. H.; PALÁCIO, S. M.; COLOMBO, A. Performance evaluation of a photo-Fenton process applied to pollutant removal from textile effluents in a batch system. **Journal of environmental management**, v. 104, p. 1-8, 2012a.

MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; BORBA, F. H.; MANENTI, D. R. Performance evaluation of an integrated photo-Fenton–Electrocoagulation process applied to pollutant removal from tannery effluent in batch system. **Chemical Engineering Journal**, v. 197, p. 1-9, 2012b.

MORI, T.; SUZUKI, J.; FUJIMOTO, K.; WATANABE, M.; HASEGAWA, Y. Reductive decomposition of nitrate ion to nitrogen in water on a unique hollandite photocatalyst. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 23, n. 4, p. 283-289, 1999.

MURPHY, N. **Meat processing environmental impacts: environmental impacts from meat and fish processing**. [S.l.]: Waste Reduction Resource Center, 2006.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility: a case study. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 563-570, 2013.

NÓBREGA, R. M. **Eficiência de membranas filtrantes de nanofiltração e osmose inversa no pós-tratamento de esgoto doméstico**. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)—Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

NUNES-ALVES, C. Microbial ecology: do it yourself nitrification. **Nature Reviews Microbiology**, v. 14, n. 2, p. 61, 2016.
OLIVEIRA, A. M. P. **Alcalinidade e dureza das águas**. [S.l.: s.n.], dez. 2007.

PAIN, A.; SPUHLER, P. Wastewater reuse in industry. **Sustainable sanitation and water management**, 2016.

PALENZUELA-ROLLON, A. ZEEMAN, G.; LUBBERDING, H. J.; LETTINGA, G.; ALAERTS, G. J. Treatment of fish processing wastewater in a one or two-step up flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Water Science Technology**, v. 45, n. 10, p. 207-12, 2002.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. F.; PEREIRA, C. M. EMBRAPA. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

PEREIRA, L. P. F.; MERCANTE, C. T. J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água: uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 31, n. 1, 2005.

PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista eletrônica de recursos hídricos**, v. 1, p. 20-36, 2004.

RENGARAJ, S.; LI, X. Z. Enhanced photocatalytic reduction reaction over Bi³⁺-TiO₂ nanoparticles in presence of formic acid as a hole scavenger. **Chemosphere**, v. 66, p. 930-938, 2007.

ROSALLES, E.; PAZOS, M.; SANROMÁN, S. A. Advances in the electro-Fenton process for remediation of recalcitrant organic compounds. **Chemical Engineering Technology**, v. 35, p. 609-617, 2012.

SÁ, J.; AGÜERA, C. A.; GROSS, S.; ANDERSON, J. A. Photocatalytic nitrate reduction over metal modified TiO₂. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 85, p. 192-200, 2009.

SANTA CATARINA (Estado). Conselho Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina. Lei nº 14.675 de 13 de abril de 2009. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. **Diário Oficial do Estado de Santa Catarina**, 13 abr. 2009.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8.468 de 8 de setembro de 1976. Dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do estado de São Paulo**, 8 set. 1976.

SAUTCHÚK, C. A.; LANDI, F. N.; MIERZWA, J. C.; VIVACQUA, M. C. R.; SILVA, M. C. C.; LANDI, P. N.; SCHMIDT, W. Conservação e reúso de água: **manual de orientações para o setor industrial**. Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP/CIESP, v. 1, 2004.

SKORONSKI, E. **Introdução aos processos de condicionamento de água para reúso**. Tubarão, SC: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2008.

SONUNE, A.; GHATE, R. Developments in wastewater treatment methods. **Desalination**, v. 167, p. 55-63, 2004.

TEIXEIRA, R. M. **Remoção de nitrogênio de efluentes da indústria frigorífica através da aplicação dos processos de nitrificação e desnitrificação em biorreatores utilizados em um sistema de lagoas de tratamento**. 2006. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

VANDEKERCKHOVE, A.; MOERMAN, W.; VAN HULLE, S. W. H. Full-scale modelling of a food industry wastewater treatment plant in view of process upgrade. **Chemical Engineering Journal**, v. 135, n. 3, p. 185-194, 2008.

VISVANATHAN, C.; ASANO, T. The potential for industrial wastewater reuse. In: VIGNESWARAN, S. **Wastewater recycle, reuse and reclamation**. Oxford: Eolss, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. [S.l.]: Ed. da UFMG, 2005. 425 p.

WEHBE, N.; JAAFAR, M.; GUILLARD, C.; HERRMANN, J.-M. MIACHON, S.; PUZENAT, E.; GUILHAUME, N. Comparative study of photocatalytic and nonphotocatalytic reduction of nitrates in water. **Applied Catalysis A: General**, v. 368, n. 1-2, p. 1-8, 2009.

UTTAMANGKABOVORN, M.; POONSUK, P.; ARAN, H. K. Water conservation in canned tuna (pet food) plant in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v.13, p. 547-555, 2005.

ZHANG, F. JIN, R.; CHEN, J.; SHAO, C.; GAO, W.; LI, L.; GUAN, N. High photocatalytic activity and selectivity for nitrogen in nitrate reduction on Ag/TiO₂ catalyst with fine silver clusters. **Journal of Catalysis**, v. 232, n. 2, p. 424-431, 2005.

APÊNDICES

Apêndice A - Resultado das análises dos efluentes do processamento de tilápia

Tabela 10. Média e desvio-padrão das características físico-químicas e microbiológica dos efluentes das etapas do processamento de tilápia: alcalinidade total (m/L), dureza total (mg/L), sílica (mg/L), cor aparente (mg/L), cor real (mg Pt/L), turbidez (NTU), pH.

Efluentes das etapas do processamento de tilápia	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Sílica (mg/L)	Cor Aparente (mg Pt/L)	Cor Real (mg Pt/L)	Turbidez (NTU)	pH
Área externa – depuração	162,83 ± 34,8	21,17 ± 7,6	45,53 ± 7,6	163,17 ± 41,8	47,08 ± 20,5	4,37 ± 0,9	7,57 ± 0,2
Área suja – sangria	169,42 ± 42,5	32,42 ± 14,5	220,50 ± 101,6	1.008,83 ± 343,9	435,50 ± 151,7	43,78 ± 9,5	7,26 ± 0,3
Área suja – lavagem superficial	159,75 ± 27,9	25,83 ± 7,81	70,24 ± 35,1	217,17 ± 69,4	42,42 ± 11,5	1,45 ± 0,25	9,15 ± 0,2
Área limpa – descamação	443,25 ± 354,5	80,83 ± 49,1	449,89 ± 176,8	3.873,33 ± 1400,8	1.286,58 ± 715,12	653,17 ± 258,5	8,41 ± 0,3
Área limpa – descabeçamento/ evisceração	202,83 ± 109,4	47,75 ± 12,1	367,69 ± 222,1	3.569,08 ± 1593,7	1.123,00 ± 460,0	642,83 ± 408,1	7,86 ± 0,5
Área limpa – filetagem	158,67 ± 52,6	36,92 ± 18,7	182,13 ± 63,5	1.469,67 ± 376,2	278,17 ± 92,5	241,67 ± 77,2	8,39 ± 0,4
Área limpa – toaleta	182,42 ± 49,7	38,58 ± 11,66	299,99 ± 84,8	981,75 ± 360,1	139,00 ± 43,4	61,77 ± 15,6	7,86 ± 0,3
Área limpa – tanque de resfriamento	108,75 ± 32,9	271,08 ± 148,8	1.141,08 ± 310,2	1.546,54 ± 734,5	364,25 ± 196,2	48,78 ± 30,5	9,90 ± 1,0
Área de apoio – lavagem de monoblocos	192,83 ± 95,8	41,67 ± 11,9	129,78 ± 66,0	555,50 ± 288,9	42,25 ± 34,2	89,35 ± 23,3	9,25 ± 0,4
Efluente total bruto	198,67 ± 69,0	37,50 ± 8,6	349,98 ± 143,2	2.876,00 ± 613,9	386,00 ± 194,1	683,83 ± 253,6	7,82 ± 0,2

Tabela 11. Média e desvio-padrão das características físico-químicas e microbiológica dos efluentes das etapas do processamento de tilápia: sólidos totais (mg/L), sólidos totais fixos (mg/L), sólidos totais voláteis (mg/L), alumínio total (mg/L), ferro (mg/L), DBO₅ (mg/L), DQO (mg/L).

Efluentes das etapas do processamento de tilápia	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos totais fixos (mg/L)	Sólidos totais voláteis (mg/L)	Alumínio total(mg/L)	Ferro dissolvido (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)
Área externa – depuração	508,42 ± 138,4	420,12 ± 126,7	87,80 ± 38,1	0,09 ± 0,05	0,54 ± 0,3	9,00 ± 1,6	32,25 ± 17,8
Área suja – sangria	1.257,58 ± 322,6	624,50 ± 221,3	633,08 ± 237,5	0,11 ± 0,09	0,45 ± 0,2	351,86 ± 84,1	903,25 ± 397,1
Área suja – lavagem superficial	389,03 ± 116,8	213,92 ± 53,7	175,11 ± 84,3	0,25 ± 0,24	0,66 ± 0,3	30,91 ± 3,2	100,25 ± 65,0
Área limpa – descamação	3.451,67 ± 1.763,2	718,25 ± 394,9	2.733,42 ± 1.411,6	0,25 ± 0,19	0,55 ± 0,3	935,00 ± 88,6	3.210,25 ± 2.847,3
Área limpa – descabeçamento/ evisceração	4.810,08 ± 2.181,2	771,50 ± 268,0	4.038,58 ± 2.005,0	0,23 ± 0,14	0,48 ± 0,2	1.677,93 ± 242,4	5.767,67 ± 3.601,2
Área limpa – filetagem	1.901,00 ± 754,3	380,42 ± 100,8	1.520,58 ± 733,6	0,19 ± 0,13	0,33 ± 0,1	738,64 ± 129,8	2.737,67 ± 1.004,6
Área limpa – toailete	2.224,79 ± 1.047,3	471,92 ± 161,7	1.752,88 ± 926,1	0,14 ± 0,12	0,38 ± 0,1	677,57 ± 90,4	2.413,67 ± 959,6
Área limpa – tanque de resfriamento	13.223,08 ± 5.658,0	5.208,58 ± 3.348,8	8.014,50 ± 274,8	0,13 ± 0,08	0,90 ± 0,1	2.448,67 ± 204,5	7.277,50 ± 3.358,9
Área de apoio – lavagem de monoblocos	1.560,14 ± 853,7	911,42 ± 511,3	648,72 ± 381,9	0,26 ± 0,20	0,71 ± 0,3	150,59 ± 24,6	1.438,42 ± 742,14
Efluente total bruto	2.733,83 ± 724,9	609,75 ± 251,0	2.124,08 ± 571,5	0,21 ± 0,20	0,48 ± 0,2	1.637,57 ± 91,7	5.225,92 ± 3.004,9

Tabela 12. Média e desvio-padrão das características físico-químicas e microbiológica dos efluentes das etapas do processamento de tilápia: nitrato (mg/L), nitrito (mg/L), nitrogênio amoniacal (mg/L), cloreto (mg/L), coliformes totais (mg/L), substâncias Tensoativas que reagem ao azul de metileno (mg/L), óleos e graxas (mg/L).

Efluentes das etapas do processamento de tilápia	Nitrato (mg NNO ₃ /L)	Nitrito (mg N-NO ₂ /L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	Substâncias tensoativas (mg/L)	Óleos e graxas (mg/L)
Área externa – depuração	1,02 ± 0,3	0,04 ± 0,02	5,07 ± 0,9	114,48 ± 77,6	7,58E + 0,4 ± 1,12E + 0,4	0,01 ± 0,00	44,80 ± 22,3
Área suja – sangria	21,80 ± 10,5	0,16 ± 0,08	5,23 ± 2,3	253,91 ± 111,1	6,60E + 04 ± 1,01E + 0,5	0,01 ± 0,00	406,00 ± 234,5
Área suja – lavagem superficial	3,29 ± 1,6	0,03 ± 0,02	1,60 ± 1,4	12,45 ± 6,5	4,06E + 03 ± 7,33E + 0,3	0,03 ± 0,02	43,60 ± 23,3
Área limpa – descamação	32,63 ± 12,8	0,44 ± 0,2	3,46 ± 1,7	213,18 ± 159,9	3,74E + 03 ± 4,14E + 0,3	0,02 ± 0,01	388,00 ± 128,5
Área limpa – descabeçamento/ evisceração	22,58 ± 5,8	1,01 ± 0,5	2,70 ± 0,8	52,75 ± 32,5	1,24E + 05 ± 2,29E + 05	0,04 ± 0,03	464,00 ± 254,5
Área limpa – filetagem	6,42 ± 2,3	0,11 ± 0,05	1,83 ± 0,9	30,92 ± 19,2	2,25E + 04 ± 1,39E + 0,4	0,02 ± 0,01	414,00 ± 210,3
Área limpa – toailete	7,99 ± 2,5	0,10 ± 0,06	3,51 ± 1,7	63,18 ± 37,8	3,57E + 05 ± 3,83E + 05	0,02 ± 0,01	560,00 ± 86,0
Área limpa – tanque de resfriamento	28,98 ± 12,2	0,90 ± 0,3	30,58 ± 11,5	466,38 ± 252,5	1,13E + 06 ± 2,04E + 06	0,01 ± 0,01	396,00 ± 335,9
Área de apoio – lavagem de monoblocos	2,14 ± 1,1	0,18 ± 0,15	1,72 ± 1,6	311,58 ± 208,7	2,08E + 03 ± 2,49E + 03	0,10 ± 0,07	420,00 ± 211,2
Efluente total bruto	18,87 ± 13,5	0,32 ± 0,16	3,27 ± 0,9	135,28 ± 56,4	4,37E + 04 ± 7,71E + 04	0,12 ± 0,10	516,00 ± 64,2

Apêndice B – Resultados das análises dos efluentes do processamento de atum e sardinha

Tabela 13. Média e desvio-padrão das características físico-químicas e microbiológica dos efluentes das etapas do processamento de atum e sardinha: alcalinidade total (m/L), dureza total (mg/L), sílica (mg/L), cor aparente (mg/L), cor real (mg Pt/L), turbidez (NTU), pH.

Efluentes das etapas do processamento de tilápia	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Sílica (mg/L)	Cor Aparente (mg Pt/L)	Turbidez (NTU)	pH
Sardinha: lavagem I área externa – Cais	164,31 ± 75,87	156,17 ± 38,38	87,33 ± 58,78	182,98 ± 141,23	82,71 ± 110,78	6,61 ± 0,23
Sardinha: lavagem II – B área interna – área suja	934,71 ± 1.025,73	348,28 ± 330,90	258,44 ± 245,63	798,28 ± 918,25	291,41 ± 245,88	6,67 ± 0,39
Sardinha: lavagem III área externa – 5 ppm de Cl – Cais	179,13 ± 171,85	331,48 ± 373,16	114,40 ± 99,09	213,58 ± 201,66	104,66 ± 161,06	6,90 ± 0,25
Atum + sardinha: tanques grandes de descongelamento + classificador (apenas sardinha)	415,96 ± 371,17	126,75 ± 68,04	159,95 ± 144,06	297,21 ± 247,84	155,69 ± 219,21	6,19 ± 1,31
Atum + sardinha: evisceração	548,11 ± 366,86	293,38 ± 202,64	195,83 ± 124,97	596,74 ± 617,49	522,66 ± 619,02	6,62 ± 0,57
Atum: cozimento	3.816,48 ± 2.218,17	585,46 ± 165,32	3.812,73 ± 7.945,77	2.043,36 ± 660,05	2.232,00 ± 3.124,16	6,41 ± 0,40
Atum: lavagem dos monoblocos	7.108,35 ± 8.848,42	109,74 ± 77,19	269,00 ± 309,94	397,41 ± 500,93	190,23 ± 278,37	9,54 ± 3,17
Atum: lavagem dos carrinhos	3.477,03 ± 2.239,08	114,85 ± 100,87	516,08 ± 369,60	1.528,01 ± 878,81	994,98 ± 983,83	11,76 ± 1,64
Atum: umidificador	678,27 ± 1.154,99	238,25 ± 115,56	320,17 ± 216,52	865,71 ± 695,81	711,38 ± 891,38	6,60 ± 2,18
Atum: lavagem das latas	180,46 ± 154,36	292,19 ± 174,68	2.129,08 ± 3.323,42	1.043,09 ± 717,30	892,47 ± 601,92	6,58 ± 1,15
Sardinha: tanques pequenos de descongelamento	533,21 ± 224,70	274,91 ± 114,94	231,17 ± 129,12	360,66 ± 217,77	253,03 ± 242,67	6,34 ± 0,25

Continua...

Tabela 13. "Continuação".

Efluentes das etapas do processamento de tilápia	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Sílica (mg/L)	Cor Aparente (mg Pt/L)	Turbidez (NTU)	pH
Sardinha: salmoura	1805,04 ± 789,00	424,27 ± 99,59	430,92 ± 175,33	1.309,50 ± 1.216,76	930,29 ± 1.272,53	6,39 ± 0,25
Sardinha: enlatamento 125 g	317,21 ± 122,54	246,07 ± 97,45	170,75 ± 82,45	356,76 ± 243,19	292,13 ± 238,69	6,49 ± 0,51
Sardinha: lavagem das latas 125g	642,75 ± 2.120,51	195,77 ± 116,20	162,50 ± 252,74	445,30 ± 543,90	495,56 ± 753,02	6,74 ± 0,87
Sardinha: desmação (depelagem)	465,90 ± 279,16	305,80 ± 154,77	195,75 ± 118,73	1.164,42 ± 452,34	1.190,25 ± 474,56	6,26 ± 0,30
Sardinha: filetagem	481,84 ± 140,65	265,22 ± 52,69	303,25 ± 190,24	453,26 ± 223,57	431,92 ± 278,68	6,23 ± 0,38
Sardinha: enlatamento 250g	360,44 ± 239,69	172,98 ± 95,57	382,92 ± 479,52	527,26 ± 487,29	367,30 ± 266,38	6,42 ± 0,25
Sardinha: lavagem 250g	59,71 ± 36,74	284,63 ± 126,48	633,58 ± 690,21	651,35 ± 633,85	477,10 ± 501,10	6,50 ± 0,93
Sardinha: lavagem das latas do filé de sardinha	36,60 ± 24,46	135,30 ± 161,60	563,08 ± 656,17	201,49 ± 173,73	122,61 ± 109,52	6,73 ± 0,63
efluente total bruto	412,47 ± 186,72	247,79 ± 134,92	261,25 ± 187,05	1.101,67 ± 1.102,26	1.166,00 ± 1.262,64	6,03 ± 0,38
Água de recirculação de resfriamento, torre de resfriamento	63,71 ± 34,44	368,74 ± 219,20	89,67 ± 65,28	245,60 ± 151,17	157,53 ± 141,19	11,60 ± 18,48

Tabela 14. Média e desvio-padrão das características físico-químicas e microbiológica dos efluentes das etapas do processamento de atum e sardinha: sólidos totais (mg/L), sólidos totais fixos (mg/L), sólidos totais voláteis (mg/L), alumínio total (mg/L), ferro (mg/L), DBO₅ (mg/L), DQO (mg/L).

Efluentes das etapas do processamento	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos totais fixos (mg/L)	Sólidos totais voláteis (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro dissolvido (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)
Sardinha: lavagem I área externa – Cais	1.380,00 ± 1.155,79	957,44 ± 1.037,11	424,22 ± 192,56	0,03 ± 0,03	0,24 ± 0,29	300,42 ± 201,05	639,00 ± 303,19
Sardinha: lavagem II – B área interna – área suja	10.366,45 ± 6.113,16	9.200,67 ± 7.094,96	1.721,33 ± 1.356,62	0,06 ± 0,06	0,61 ± 0,92	1.985,58 ± 2.038,74	4.171,56 ± 4.514,11
Sardinha: lavagem III área externa – 5 ppm de Cl – Cais	619,40 ± 632,46	438,80 ± 208,45	180,60 ± 192,21	0,06 ± 0,06	0,47 ± 0,45	318,89 ± 390,05	579,60 ± 580,52
Atum + sardinha: tanques grandes de descongelamento + classificador (apenas sardinha)	700,95 ± 464,52	434,10 ± 336,74	266,85 ± 176,56	0,05 ± 0,12	1,31 ± 3,24	683,63 ± 742,13	1.499,50 ± 1.606,49
Atum + sardinha: evisceração	1.497,52 ± 1.575,54	678,00 ± 1.064,78	819,52 ± 799,37	0,09 ± 0,12	0,28 ± 0,21	1.864,02 ± 1.977,68	4.424,61 ± 4.980,45
Atum: cozimento	22.888,73 ± 7.176,22	9.620,64 ± 3.426,29	13.268,09 ± 4.426,91	0,09 ± 0,05	1,27 ± 0,41	9.305,12 ± 7.095,90	31.859,64 ± 10.434,28
Atum: lavagem dos monoblocos	5.178,91 ± 8.135,23	3.110,27 ± 6.005,89	2.068,64 ± 2.730,43	0,06 ± 0,07	0,50 ± 0,57	1.461,02 ± 2.069,94	3.622,40 ± 4.985,93
Atum: lavagem dos carrinhos	8.514,67 ± 3.264,49	4.239,50 ± 2.105,63	4.108,50 ± 2.156,57	0,09 ± 0,05	0,58 ± 0,42	2.182,43 ± 1.532,09	5.640,75 ± 4.751,61
Atum: umidificador	9779,67 ± 20.896,85	3.999,75 ± 10.021,44	5.782,42 ± 11.653,85	0,13 ± 0,17	0,75 ± 0,65	4.366,26 ± 5.125,55	58.168,75 ± 162.278,20
Atum: lavagem das latas	69.384,67 ± 58.699,73	28.406,42 ± 29.143,64	45.978,25 ± 38.991,23	0,14 ± 0,07	18,13 ± 59,17	17.983,82 ± 32.307,43	68.739,17 ± 104.376,90

Continua...

Tabela 14. "Continuação".

Efluentes das etapas do processamento	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos totais fixos (mg/L)	Sólidos totais voláteis (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro dissolvido (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)
Sardinha: tanques pequenos de descongelamento	1.781,28 ± 1.191,12	649,70 ± 184,08	1.129,08 ± 1.109,94	0,03 ± 0,03	0,25 ± 0,15	1.321,64 ± 1.135,59	2.296,42 ± 1.555,90
Sardinha: salmoura	4.451,67 ± 880,96	2.691,58 ± 910,99	1.760,50 ± 474,81	0,01 ± 0,02	1,07 ± 0,58	5.121,66 ± 3.096,68	13.318,75 ± 7.486,34
Sardinha: enlatamento 125 g	925,25 ± 231,29	379,17 ± 32,68	546,08 ± 239,98	0,07 ± 0,04	0,28 ± 0,13	731,61 ± 439,96	1.548,00 ± 870,77
Sardinha: lavagem das latas 125g	6.037,28 ± 12.617,45	2.008,37 ± 2.637,41	4.028,92 ± 10.485,23	0,09 ± 0,06	0,39 ± 0,26	1.310,14 ± 1.285,06	3.961,75 ± 4.281,09
Sardinha: descamação (depelagem)	2.891,25 ± 1.434,50	850,17 ± 391,94	2.041,08 ± 1.419,51	0,09 ± 0,08	0,48 ± 0,73	3.035,81 ± 1.767,84	5.896,42 ± 3.781,32
Sardinha: filetagem	2.048,00 ± 1.058,50	485,75 ± 187,56	1.562,25 ± 910,59	0,03 ± 0,01	0,54 ± 0,29	2.312,77 ± 1.319,81	4.882,67 ± 2.527,69
Sardinha: enlatamento 250g	1.357,00 ± 478,28	491,00 ± 149,69	866,00 ± 343,65	0,06 ± 0,02	0,14 ± 0,11	1.471,80 ± 914,35	2.787,08 ± 1.754,78
Sardinha: lavagem 250g	7.226,42 ± 12.721,79	4.199,58 ± 5.500,12	3.026,83 ± 7.643,49	0,08 ± 0,04	1,42 ± 4,28	1.602,06 ± 1.538,87	6.239,50 ± 10.201,25
Sardinha: lavagem das latas do filé de sardinha	759,00 ± 717,30	237,50 ± 113,38	521,50 ± 720,07	0,05 ± 0,03	0,08 ± 0,04	561,84 ± 463,14	5.289,33 ± 13.052,44
efluente total bruto	2.234,75 ± 1.462,95	791,33 ± 349,61	1.443,42 ± 1.368,79	0,14 ± 0,12	1,07 ± 0,56	2.068,73 ± 1.197,62	5.289,25 ± 3.264,92
Água de recirculação de resfriamento, torre de resfriamento	248,33 ± 107,04	150,08 ± 47,41	98,25 ± 78,16	0,02 ± 0,00	0,42 ± 0,48	226,77 ± 171,78	559,75 ± 466,19

Tabela 15. Média e desvio-padrão das características físico-químicas e microbiológica dos efluentes das etapas do processamento de atum e sardinha: nitrato (mg/L), nitrito (mg/L), nitrogênio amoniacal (mg/L), cloreto (mg/L), coliformes totais (mg/L), substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno (mg/L), óleos e graxas (mg/L).

Efluentes das etapas do processamento	Nitrato (mg NNO3/L)	Nitrito (mg N-NO2/L)	Nitrogênio Amoniacal total (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	Substâncias tensoativas (mg/L)	Óleos e graxas (mg/L)
Sardinha: lavagem I área externa – Cais	0,93 ± 0,52	0,07 ± 0,05	7,59 ± 2,39	497,67 ± 740,06	2,93E + 0,7 ± 5,73E + 0,7	1,36 ± 0,64	8,87 ± 4,65
Sardinha: lavagem II – B área interna – área suja	0,82 ± 0,77	0,05 ± 0,10	138,96 ± 149,72	9.676,28 ± 12.131,76	1,14E + 09 ± 3,32E + 0,9	1,60 ± 0,74	33,49 ± 43,93
Sardinha: lavagem III área externa – 5 ppm de Cl – Cais	0,70 ± 0,51	0,04 ± 0,04	5,67 ± 1,90	163,97 ± 96,18	1,03E + 09 ± 2,22E + 0,9	1,72 ± 0,40	8,40 ± 7,41
Atum + sardinha: tanques grandes de descongelamento + classificador (apenas sardinha)	2,61 ± 2,51	0,03 ± 0,02	11,89 ± 7,14	471,12 ± 406,92	6,52E + 07 ± 2,46E + 0,8	0,94 ± 0,74	9,34 ± 4,09
Atum + sardinha: evisceração	2,27 ± 2,23	0,04 ± 0,02	18,90 ± 36,42	382,70 ± 485,21	3,42E + 08 ± 1,46E + 09	24,05 ± 112,73	314,91 ± 393,06
Atum: cozimento	0,93 ± 0,62	0,02 ± 0,02	907,30 ± 1.334,93	7.216,75 ± 7.044,62	2,14E + 08 ± 6,92E + 08	3,75 ± 1,78	445,90 ± 349,91
Atum: lavagem dos monoblocos	2,78 ± 4,07	0,94 ± 3,04	6,55 ± 5,39	647,31 ± 896,13	1,93E + 06 ± 4,37E + 06	1,23 ± 0,63	24,28 ± 28,13
Atum: lavagem dos carrinhos	6,64 ± 6,01	0,14 ± 0,17	9,68 ± 3,31	661,58 ± 708,90	5,39E + 06 ± 9,36E + 06	1,76 ± 0,51	115,43 ± 217,42
Atum: umidificador	2,81 ± 3,11	0,06 ± 0,12	222,23 ± 712,14	408,75 ± 322,77	4,16E + 06 ± 7,07E + 06	2,37 ± 4,02	2.960,98 ± 6.219,94
Atum: lavagem das latas	1,19 ± 0,99	0,03 ± 0,02	16,28 ± 16,18	130,98 ± 58,59	1,41E + 08 ± 4,60E + 08	2,11 ± 2,15	6.510,75 ± 5.208,34

Continua...

Tabela 15. "Continuação".

Efluentes das etapas do processamento	Nitrato (mg NNO ₃ /L)	Nitrito (mg N-NO ₂ /L)	Nitrogênio Amoniacal total (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	Substâncias tivas (mg/L)	Óleos e graxas (mg/L)
Sardinha: tanques pequenos de descongelamento	2,23 ± 2,37	0,14 ± 0,11	19,60 ± 31,36	402,94 ± 225,04	8,12E + 07 ± 2,64E + 08	0,56 ± 0,19	501,91 ± 690,75
Sardinha: salmoura	0,60 ± 0,58	0,04 ± 0,02	516,01 ± 344,80	1.854,46 ± 1.006,74	3,49E + 07 ± 7,73E + 07	2,79 ± 2,07	484,85 ± 586,36
Sardinha: enlatamento 125 g	2,73 ± 2,69	0,05 ± 0,02	13,75 ± 27,05	396,65 ± 246,70	2,46E + 07 ± 5,55E + 07	0,62 ± 0,38	87,86 ± 89,54
Sardinha: lavagem das latas 125g	0,91 ± 0,46	0,08 ± 0,20	3,14 ± 3,00	152,41 ± 128,05	9,37E + 06 ± 2,36E + 07	0,65 ± 0,48	2.015,03 ± 3.554,85
Sardinha: descamação (depelagem)	2,11 ± 2,85	0,04 ± 0,02	12,03 ± 29,33	557,82 ± 374,00	3,17E + 06 ± 5,69E + 06	0,63 ± 0,47	1.015,71 ± 659,24
Sardinha: filetagem	2,18 ± 1,97	0,04 ± 0,02	11,68 ± 18,30	292,95 ± 145,86	1,44E + 08 ± 4,60E + 08	0,77 ± 0,29	1.385,78 ± 995,20
Sardinha: enlatamento 250g	2,37 ± 2,08	0,07 ± 0,06	31,68 ± 29,92	153,90 ± 54,30	4,67E + 06 ± 1,37E + 07	1,16 ± 0,94	389,18 ± 317,58
Sardinha: lavagem 250g	0,76 ± 0,45	0,03 ± 0,02	9,88 ± 14,99	133,30 ± 57,48	1,20E + 07 ± 3,73E + 07	1,42 ± 1,57	801,43 ± 1.217,77
Sardinha: lavagem das latas do filé de sardinha	0,83 ± 0,34	0,03 ± 0,02	25,49 ± 34,82	111,66 ± 45,32	6,65E + 06 ± 1,82E + 07	3,00 ± 2,70	792,06 ± 1.890,92
efluente total bruto	2,02 ± 2,54	0,04 ± 0,05	17,71 ± 21,07	593,91 ± 464,67	2,30E + 07 ± 4,96E + 07	1,21 ± 0,37	1.082,66 ± 1.472,57
Água de recirculação de resfriamento, torre de resfriamento	1,11 ± 1,64	0,03 ±	5,42 ± 2,94	198,37 ± 166,40	2,40E + 08 ± 8,06E + 08	0,94 ± 0,37	18,79 ± 21,51

Apêndice C – Padrões de reúso de água e lançamento

Tabela 16. Padrões para possíveis reúsos de água e para lançamento do efluente final em sistemas de tratamento de efluente e em corpos hídricos.

Padrões		Padrão de resfriamento	Padrão reúso para fins urbanos	Padrão de lançamento de efluente	Padrão de lançamento de efluente	Padrão de lançamento de efluente	Padrão de lançamento de efluente
Alcalinidade	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	450 ⁽³⁾	-	-	-	-	-
Dureza total (mg/L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	700 ⁽³⁾	-	-	-	-	-
Sílica (mg/L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	150 ⁽³⁾	-	-	-	-	-
Cor aparente (mg Pt/L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	-	15 ⁽⁴⁾	-	-	-	-
Turbidez (NTU)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	50 ⁽³⁾	5 ⁽⁴⁾	-	-	-	-
pH	Limite inferior	6 ⁽³⁾	6 ⁽²⁾	5 ⁽⁷⁾	5 ⁽⁸⁾	6 ⁽⁹⁾	6 ⁽¹⁰⁾
	Limite superior	9,5 ⁽³⁾	9 ⁽²⁾	9 ⁽⁷⁾	9 ⁽⁸⁾	10 ⁽⁹⁾	9 ⁽¹⁰⁾
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno (mg LAS/L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	1 ⁽³⁾	0,2 ⁽⁴⁾	-	-	-	2,0 ⁽¹⁰⁾
Alumínio total (mg/L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	0,1 ⁽³⁾	-	-	-	-	-
Ferro dissolvido (mg/L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	5 ⁽³⁾	-	15 ⁽⁷⁾	15 ⁽⁸⁾	15 ⁽⁹⁾	-

Continua...

Tabela 16. "Continuação".

DBO ₅ dias (mg/L)	Limite inferior	-	-	-	Remoção de 80 % ⁽⁸⁾ 60 ⁽⁸⁾	-	Remoção de 80 % ⁽¹⁰⁾ 60 ⁽¹⁰⁾
	Limite superior	25 ⁽¹⁾	10 ⁽⁵⁾	Remoção de 60 % ⁽⁷⁾		-	
DQO (mg/L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	75 ⁽¹⁾	60 ⁽⁴⁾	-	-	-	-
Nitrato (mg N-NO ₃ /L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	-	10 ⁽²⁾	-	-	-	-
Padrões		Padrão de resfriamento	Padrão reúso para fins urbanos	Padrão de lançamento de efluente	Padrão de lançamento de efluente	Padrão de lançamento de efluente	Padrão de lançamento de efluente
Nitrito (mg N-NO ₂ /L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	-	1 ⁽²⁾	-	-	-	-
Nitrogênio Amomiacal Total (mg N/L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	1 ⁽¹⁾	20 ⁽²⁾	20 ⁽⁷⁾	-	-	-
Cloreto (mg/L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	500 ⁽³⁾	600 ⁽⁴⁾	-	-	-	-
Coliformes totais (NMP/100 mL)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	-	2,2 ⁽⁴⁾	-	-	-	-
Óleos e graxas (mg/L)	Limite inferior	-	-	-	-	-	-
	Limite superior	-	Ausente ⁽⁴⁾	50 ⁽⁷⁾	100 ⁽⁸⁾	150 ⁽⁹⁾	30 ⁽¹⁰⁾

Fontes: 1 = Fiesp/Ciesp (2004), 2 = Fiesp (2005), 3 = Luiz (2007), 4 = Mancuso e Santos (2003), 5 = EPA (2012), 6 = Brasil (2005), 7 = Brasil (2011b), 8 = São Paulo (1976): artigo 18, 9 = São Paulo (1976): artigo 19A; 10 = Santa Catarina (2009).

1. **Introduction**

2. **Background**

3. **Methodology**

4. **Results**

5. **Discussion**

6. **Conclusion**

7. **References**

8. **Appendix**

9. **Index**

10. **Index**

11. **Index**

12. **Index**

13. **Index**

14. **Index**

15. **Index**

16. **Index**

17. **Index**

18. **Index**

19. **Index**

20. **Index**

21. **Index**

22. **Index**

23. **Index**

24. **Index**

25. **Index**

26. **Index**

27. **Index**

28. **Index**

29. **Index**

30. **Index**

31. **Index**

32. **Index**

33. **Index**

34. **Index**

35. **Index**

36. **Index**

37. **Index**

38. **Index**

39. **Index**

40. **Index**

41. **Index**

42. **Index**

43. **Index**

44. **Index**

45. **Index**

46. **Index**

47. **Index**

48. **Index**

49. **Index**

50. **Index**

51. **Index**

52. **Index**

53. **Index**

54. **Index**

55. **Index**

56. **Index**

57. **Index**

58. **Index**

59. **Index**

60. **Index**

61. **Index**

62. **Index**

63. **Index**

64. **Index**

65. **Index**

66. **Index**

67. **Index**

68. **Index**

69. **Index**

70. **Index**

71. **Index**

72. **Index**

73. **Index**

74. **Index**

75. **Index**

76. **Index**

77. **Index**

78. **Index**

79. **Index**

80. **Index**

81. **Index**

82. **Index**

83. **Index**

84. **Index**

85. **Index**

86. **Index**

87. **Index**

88. **Index**

89. **Index**

90. **Index**

91. **Index**

92. **Index**

93. **Index**

94. **Index**

95. **Index**

96. **Index**

97. **Index**

98. **Index**

99. **Index**

100. **Index**



PROJETO INTEGRADO DA
AMAZÔNIA

**FUNDO
AMAZONIA**

 **BNDES** *Embrapa*

MINISTÉRIO DA
ECONOMIA

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

CGPE: 018221