



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente

**ALTERNATIVAS DE REUSO PARA INDÚSTRIA PROCESSADORA DE
PESCADO**

FÁBIO HENRIQUE DE MELO RIBEIRO

PALMAS
2018

FÁBIO HENRIQUE DE MELO RIBEIRO

**ALTERNATIVAS DE REUSO PARA INDÚSTRIA PROCESSADORA DE
PESCADO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências do Ambiente.

Orientadora: Dra. Liliana Pena Naval

**PALMAS
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- R484a Ribeiro, Fabio Henrique de.
ALTERNATIVAS DE REUSO PARA INDÚSTRIA PROCESSADORA DE
PESCADO. / Fabio Henrique de Ribeiro. – Palmas, TO, 2018.
162 f.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Ciências
do Ambiente, 2018.
- Orientadora : Liliana Pena Naval
1. Reuso de Efluentes. 2. Tratamento de Efluentes. 3. Análise
Multicritério. 4. Indústria de processamento de pescadp. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

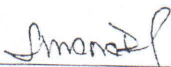
FABIO HENRIQUE DE MELO RIBEIRO

ALTERNATIVAS DE REUSO PARA INDÚSTRIA PROCESSADORA DE
PESCADO

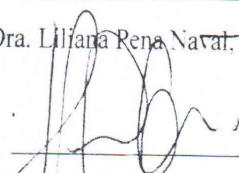
Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins em 30 de Maio de 2018. Foi avaliada para a obtenção do título de Doutor em Ciências do Ambiente, e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data da Aprovação: 30/05/18

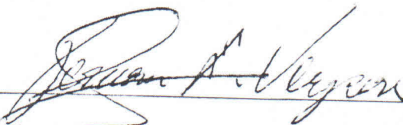
Banca Examinadora:



Prof. Dra. Liliana Rena Naval, Orientadora - Universidade Federal do Tocantins



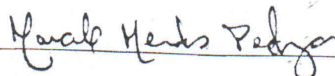
Prof. Dr. Heber Rogério Grácio, Examinador - Universidade Federal do Tocantins



Prof. Dr. Fernan E. V. Figueroa, Examinador - Universidade Federal do Tocantins



Prof. Dr. Victor Alberto Tagliacollo, Examinador - Universidade Federal do Tocantins



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza, Examinador - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Tocantins

Dedico este trabalho à minha esposa Elisa e às minhas filhas Luana, Lavínia e Maitê, pelo amor, incentivo e apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza, muito comuns àqueles que aceitam novos desafios.

Aos meus pais José Ordônio e Rosália, pelo amor e por terem forjado o meu caráter, além de terem me apresentado à importância de sempre trilhar o caminho da honestidade.

AGRADECIMENTOS

O que primeiramente se vê e reconhece ao final de cada jornada são os resultados obtidos, entretanto, de igual importância são os momentos, pessoas, fatores e acontecimentos que ficaram intrínsecos ao longo do caminho. As lembranças das adversidades e, principalmente, dos bons momentos vividos afloram intensamente neste instante. A gratidão pela colaboração e incentivo dados por tantas pessoas e o sentimento do dever cumprido são enormes.

Começo com um agradecimento especial, àquelas que sempre me apoiaram incondicionalmente, que apostaram em mim mais do que ninguém, que injetaram doses gigantescas de energia nos momentos que mais precisei e, que, seguramente são as que mais compartilham da minha alegria neste momento: minhas amadas Elisa, Luana, Lavínia e Maitê. O orgulho de ter edificado a nossa família gratificam-me sobremaneira.

Agradeço também à minha orientadora, Profa. Dra. Liliana Pena Naval, pelo incentivo, confiança, ensinamentos passados, sugestões e amizade durante o período do doutorado.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente da UFT, pela amizade, companheirismo, troca de experiências e pelos bons momentos propiciados.

Aos professores do Curso de Doutorado em Ciências do Ambiente da UFT, pelos profícuos ensinamentos e pela forma correta com que exerceram seus ofícios.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil da UFT, pela ajuda irrestrita prestada e por terem permitido me ausentar das tarefas de docente da Universidade Federal do Tocantins durante parte do período de doutoramento, suprimindo minha ausência com competência e presteza.

Aos meus pais Ordônio e Rosália, pelo amor, educação, ensinamentos, incentivo e por terem sido os alicerces na formação do meu caráter de homem e de profissional. Obrigado à minha querida irmã Fabíola pelo reconhecimento e carinho. Saibam que as forças depositadas em mim só me faz amá-los cada vez mais.

Agradeço a Deus, por ter me iluminado durante toda a minha vida, principalmente nos momentos mais difíceis, os quais, com sua ajuda, consegui transpor todos os obstáculos. Obrigado pela força e sua bênção divina.

RESUMO

RIBEIRO, F. H. M. (2018). **Alternativas de reuso para indústria processadora de pescado**. Tese (Doutorado) Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins.

As indústrias de processamento de pescado caracterizam-se pelo elevado volume de água utilizado nas etapas de produção e o consequente aumento da geração de efluentes, sendo necessária a adoção de medidas mitigadoras para a redução dos desperdícios e da produção de efluentes. Além disso, a proposição de métodos de tratamento de efluentes para a indústria de processamento do pescado apresenta algumas dificuldades, como as altas concentrações de matéria orgânica e de sólidos em suspensão, além da falta de uniformidade em sua composição, que está diretamente relacionada com a espécie a ser processada. Como forma de promover um modelo mais sustentável, a utilização de sistemas de reuso se mostra promissora para reduzir o consumo deste recurso natural, além de possibilitar redução dos custos de operação. Todavia, para a proposição de um sistema de reuso deve-se escolher a tecnologia adequada de tratamento, levando-se em consideração as características dos efluentes gerados e os requisitos normativos para este fim. Diante destas premissas, este trabalho teve como objetivo avaliar alternativas de sistemas de tratamento de efluentes gerados por indústrias de processamento de pescado capazes de satisfazer critérios técnicos, ambientais e econômicos, com vistas ao atendimento dos regulamentos de reuso industrial. Também foi realizada uma Análise Multicritério (AMC) para a classificação dos sistemas de tratamento aplicados nos seguintes cenários de reuso: potabilidade, refrigeração industrial, instalações sanitárias e limpeza de pisos e calçadas. Como resultado foi verificado que a combinação de múltiplos processos, com a utilização de técnicas avançadas de tratamento terciário, mostra-se apropriada para o tratamento de efluentes da indústria de pescado. O agrupamento de efluentes com características semelhantes também se mostrou viável, possibilitando uma gama maior de alternativas de reuso e adequação dos custos e da complexidade do sistema em função das necessidades de cada planta industrial.

Palavras-chave: tratamento de efluentes; indústria do pescado; reuso; indústria do pescado; multicritério.

ABSTRACT

RIBEIRO, F. H. M. (2018). **Reuse alternatives for fish processing industry**. Thesis (Doctor Degree) Environmental Sciences, Federal University of Tocantins.

The fish processing industries are characterized by the high volume of water used in the production stages and the consequent increase in the generation of wastewater, for this, it is necessary to adopt mitigating measures to reduce waste and effluent production. In addition, the proposal of wastewater treatment methods for the fish processing industry presents some difficulties, such as the high concentrations of organic matter and solids in suspension, and the lack of uniformity in its composition, which is directly related to the species to be processed. As a way to promote a more sustainable model, the use of reuse systems is promising to reduce the consumption of this natural resource, in addition to reducing operating costs. However, in order to propose a reuse system one must choose the appropriate treatment technology, taking into account the characteristics of the generated effluents and the normative requirements for this purpose. In view of these premises, this work aimed to evaluate alternatives to effluent treatment systems generated by fish processing industries capable of meeting technical, environmental and economic criteria, in order to comply with industrial reuse regulations. A Multicriteria Analysis (MCA) was also performed to classify the treatment systems applied in the following reuse scenarios: potability, industrial refrigeration, toilets and cleaning of floors and sidewalks. As a result, it has been found that the combination of multiple processes with the use of advanced tertiary treatment techniques is appropriate for the treatment of wastewater from the fish industry. The grouping of effluents with similar characteristics was also feasible, allowing a greater range of alternatives of reuse and adjustment of the costs and complexity of the system in function of the needs of each industrial plant.

Keywords: reuse; wastewater treatment; fish industry; multicriteria.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Processos industriais utilizados na indústria em estudo com representação do fluxo dos efluentes 57
- Figura 2 - Comportamento das alternativas de tratamento de efluentes em função dos critérios adotados66
- Figura 3 - Gráficos em rede com os comportamentos das alternativas de Queiroz et al. (2013) - Bio+Coag/floc/sed+Memb (a), Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot+Coag/floc+LodoAt+Filtr+OsmRev+UV (b), Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (c) e Artiga et al. (2008) - Bio+Memb (d), com os respectivos eixos de decisão..... 67
- Figura 4 - Comportamento das alternativas de tratamento de efluentes em função dos critérios adotados 69
- Figura 5 - Diagrama de distribuição das alternativas de tratamento de efluentes..... 70
- Figura 6 - Gráficos em rede com os comportamentos das alternativas de Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (a); Queiroz et al. (2013) - Bio+Coag/floc/sed+Memb (b); Artiga et al. (2008) - Bio+Memb (c) e Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot+Coag/floc+LodoAt+Filtr+OsmRev+UV e Coag/Floc (d), com os respectivos eixos de decisão..... 72
- Figura 7 - Comportamento das alternativas de tratamento de efluentes em função dos critérios adotados..... 74
- Figura 8 - Gráficos em rede com os comportamentos das alternativas de Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (a); Artiga et al. (2008) - Bio+Memb (b); Queiroz et al. (2013) - Bio+Coag/floc/sed+Memb (c) e Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot+Coag/floc+LodoAt+Filtr+OsmRev+UV e Coag/Floc (d), com os respectivos eixos de decisão..... 76
- Figura 9 - Comportamento das alternativas de tratamento de efluentes em função dos critérios adotados..... 78
- Figura 10 - Gráficos em rede com os comportamentos das alternativas de Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (a); Artiga et al. (2008) - Bio+Memb (b); Queiroz et al. (2013) - Bio+Coag/floc/sed+Memb (c) e Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot+Coag/floc+LodoAt+Filtr+OsmRev+UV e Coag/Floc (d), com os respectivos eixos de decisão..... 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Categorias de aplicação de reuso de águas.....	12
Tabela 2 – Exemplos de projetos com instalações de reuso potável direto e indireto no mundo (EPA, 2004; EPA 2012).....	14
Tabela 3 - Características de efluentes finais de indústrias do processamento de pescado.....	34
Tabela 4 - Processos e operações utilizados para o tratamento de efluentes industriais.....	35
Tabela 5 - Níveis de remoção de poluentes de efluentes das indústrias do processamento de pescado em função das tecnologias de tratamento utilizadas.....	41
Tabela 6 - Valores de referência para águas residuais tratadas para reuso industrial.....	43
Tabela 7 - Níveis de remoção de poluentes de efluentes das indústrias do processamento de pescado em função das tecnologias de tratamento utilizadas.....	56
Tabela 8 - Critérios utilizados para a tomada de decisão.....	59
Tabela 9 - Pesos atribuídos para os critérios adotados nos diferentes cenários de reuso de efluentes da indústria de processamento de pescado.....	60
Tabela 10 - Valores limites dos parâmetros para reuso industrial de efluentes tratados, segundo as principais normativas nacionais e internacionais sobre o tema.....	61
Tabela 11 - Sistemas de tratamento de efluentes das indústrias do processamento de pescado adotados como possibilidade de reuso potável.....	63
Tabela 12 - Valores absolutos de consistência dos critérios adotados e ranking das alternativas propostas para potabilidade.....	65
Tabela 13 - Valores absolutos de consistências dos critérios adotados e ranking das alternativas propostas para reuso em refrigeração industrial.....	68
Tabela 14 - Valores de desempenho da pontuação agregada das alternativas propostas para reuso em refrigeração industrial.....	70

Tabela 15 - Valores absolutos de consistências dos critérios adotados e ranking das alternativas propostas para reuso em instalações hidro-sanitárias..... 73

Tabela 16 - Valores de desempenho da pontuação agregada das alternativas propostas para reuso em instalações hidro-sanitárias..... 75

Tabela 17 - Valores absolutos de consistências dos critérios adotados e ranking das alternativas propostas para reuso na lavagem de pisos e calçadas..... 77

Tabela 18 - Valores absolutos de consistências dos critérios adotados e ranking das alternativas propostas para reuso na lavagem de pisos e calçadas..... 79

Tabela 19 - Caracterização dos efluentes da indústria processamento de pescado analisada após tratamento estatístico (os valores são referentes aos resultados do delineamento aplicando a ANOVA, com grau de significância de 5%)..... 90

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	14
1. APRESENTAÇÃO	14
CAPÍTULO II.....	16
2. INTRODUÇÃO GERAL	16
REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO III	33
3. PROCESSAMENTO DE PESCADO: TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS	33
3.1 Introdução.....	33
3.2 Caracterização dos Efluentes do Processamento do Pescado	34
3.3 Tecnologias para Tratamento de Efluentes do Processamento de Pescado	35
3.4 Discussões	44
3.5 Considerações Finais.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
CAPÍTULO IV	50
4. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE REUSO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DO PROCESSAMENTO DE PESCADO ATRAVÉS DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO	50
4.1 Introdução.....	51
4.2 Análise Multicritério para Seleção de Alternativas de Reuso de Efluentes.....	52
4.3 Metodologia	57
4.4 Resultados e Discussões.....	63
4.5 Conclusões	83
CAPÍTULO V	90
5. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DO PROCESSAMENTO DO PESCADO.....	90
REFERÊNCIAS	95
CAPÍTULO VI.....	98
6. CONCLUSÃO GERAL.....	98
APÊNDICE I	100
TECHNOLOGIES FOR WASTEWATER TREATMENT FROM THE FISH PROCESSING INDUSTRY: REUSE ALTERNATIVES.....	101
ABSTRACT.....	101

RESUMO.....	102
3.6 Introduction	102
3.7 Methodology	104
3.8 Results and Discussion.....	106
3.1 Characterization and Technologies for Treatment of Effluents from Fish Processing 106	
3.2 Treatment Processes.....	107
3.9 Final Considerations.....	118
3.10 Acknowledgments.....	118
3.11 Referências	119
APÊNDICE II	124
REUSE ALTERNATIVES OF EFFLUENTS FROM THE FISH PROCESSING INDUSTRY THROUGH MULTICRITERIA ANALYSIS	125
ABSTRACT.....	125
1. Introduction	126
2. Material and Methods.....	127
2.1. Characterization of Fish Processing Effluents	127
2.2. Multi Criteria Analysis.....	130
2.3. Evaluation of Reuse Potential and/or Effluent Recycling.....	134
3. Results and Discussion.....	135
3.1 Analysis of the Technologies for the Treatment of Effluents of the Fish Processing Industry.....	135
3.2 Multi Criteria Analysis in the Choice of Effluent Treatment Systems for Industrial Reuse	136
4. Conclusion.....	150
5. Acknowledgments.....	151
6. References	151
ANEXO I	157

CAPÍTULO I

1. APRESENTAÇÃO

A recuperação de efluentes tratados é uma das alternativas economicamente mais viáveis e sustentáveis para a preservação dos recursos hídricos (LEUNG et al., 2012). Segundo Angelakis & Gikas (2014), adotando-se uma gestão dos recursos hídricos adequada, pode-se obter uma economia de até 30% no consumo total de água em algumas regiões do mundo, incluindo a produção de água de reuso com alta qualidade, a partir do tratamento de efluentes.

Do mesmo modo, Alcalde-Sanz & Gawlik (2014) relatam que a implementação de programas de reuso de efluentes possibilita benefícios diretos e indiretos, tais como: a integração e utilização sustentável dos recursos hídricos; redução da captação excessiva de águas superficiais e subterrâneas; redução do consumo de energia; e a proteção ambiental reforçada pela restauração de rios, pântanos e lagoas.

Em função disso, o escopo principal desta tese foi realizar uma análise das alternativas de reuso de efluentes das indústrias de processamento de pescado, tomando como base as características dos efluentes industriais, as tecnologias de tratamentos e os tipos de reuso possíveis de serem empregados neste ramo industrial.

A preocupação com os atributos de originalidade desta tese pode ser verificada pela consignação de uma ligação entre as tecnologias de tratamento de efluentes e a real possibilidade de reuso direto nas atividades de processamento do pescado, atendendo aos critérios de potabilidade.

Sob esta perspectiva, pretende-se fornecer subsídios conceituais para o desenvolvimento de um modelo de gestão sustentável para estas indústrias, possibilitando também a tomada de decisão em situações complexas, utilizando-se de métodos de análise multicritério.

Deste modo, esta tese foi organizada em seções, onde a seção inicial aborda uma introdução geral do tema seguida pela apresentação de dois artigos científicos e pela seção que contempla a caracterização dos efluentes do processamento de pescado.

Na introdução geral, procurou-se traçar um panorama conceitual do desenvolvimento das práticas de reuso pelo mundo, apresentando o panorama da

regulamentação nacional e internacional sobre o tema. Buscou-se também realizar uma discussão sobre as possibilidades de reuso para a indústria de processamento de pescado, as dificuldades de se implementar sistemas que visem o reciclo direto e a complexidade intrínseca neste processo de tomada de decisão.

Já na apresentação do primeiro artigo, foram identificadas as tecnologias mais adequadas para o tratamento de efluentes da indústria de processamento de pescado, com o intuito de atender os limites normativos de descarga, bem como para a possibilidade de reuso e/ou reciclo destes efluentes. Para isso, foi realizada uma ampla revisão da literatura e dos regulamentos disponíveis sobre o reuso industrial, com foco no desenvolvimento sustentável.

Na apresentação do segundo artigo, o intuito foi avaliar a influência dos aspectos técnicos, econômicos e ambientais na tomada de decisão para a seleção de tecnologias de tratamento de efluentes capazes de atingir os requisitos para o reuso nas indústrias de processamento de pescado. Para isso, foram utilizadas metodologias de análise multicritério para orientar os gestores no processo de tomada de decisão para a seleção da alternativa que melhor atende aos critérios utilizados para os seguintes cenários: potabilidade, refrigeração industrial, instalações sanitárias e limpeza de pisos e calçadas.

Por fim, a última seção contempla a realização da caracterização de uma planta industrial de processamento de pescado, bem como dos diversos tipos de efluentes gerados, como forma de subsidiar as análises das possibilidades de agrupamento de algumas correntes para fins de tratamento e reuso industrial.

CAPÍTULO II

2. INTRODUÇÃO GERAL

A poluição ambiental e a preservação dos recursos naturais são temas de presença constante nas pautas políticas e socioeconômicas mundiais, sobretudo as discussões referentes à poluição das águas (ABDEL-RAOUF et al. 2012). Estes debates são fomentados por questões como a escassez da água em algumas partes do planeta (EPA, 2004; ARÉVALO et. al, 2012; SADR et al., 2013), as pressões das alterações climáticas, o desenvolvimento urbano desordenado e o aumento da produção de resíduos domésticos e industriais (ALMEIDA et al., 2010; ALCALDE-SANZ & GAWLIK, 2014).

A concorrência pela destinação do uso dos recursos hídricos já existe entre os setores municipais, industriais e agrícolas, particularmente em áreas onde existe escassez de água (SATO et al., 2013). Apoiar e aprimorar técnicas de reuso da água, redução do desperdício pelos diferentes setores usuários, além de implementar ações de conservação de mananciais são medidas, entre outras, que devem ser priorizadas e fomentadas (ANA, 2014).

O aumento exponencial da população mundial também está inserido nestes debates, pois, além de fomentar o crescimento da demanda por água, alimentos e produtos industrializados, faz com que as condições de sustentabilidade das grandes cidades se tornem críticas, devido ao conseqüente aumento das cargas de poluentes geradas pela disposição de esgotos domésticos e industriais (ALMEIDA et al., 2010; CHEN et al., 2012; SATO et al., 2013).

Seguindo esta linha, Schroeder et al. (2012) correlacionaram o processo de urbanização e a escassez de água, propondo que o potencial para o reuso da quantidade de água de abastecimento de um município com 1 milhão de habitantes poderá ser de aproximadamente 3.950 L/s. Neste contexto, o reuso de água aparece como uma fonte potencial de grande interesse para os setores supracitados (PÉREZ et al., 2010), principalmente com os avanços nas tecnologias de tratamento das águas residuais (YI et

al., 2011) e com a possibilidade de geração de benefícios econômicos e ambientais (HIDALGO et al., 2007; EPA, 2012).

Todos estes fatores aumentam a importância do emprego de medidas que possam reduzir o desperdício e a produção de efluentes, buscando assim, uma gestão sustentável destas indústrias. Ressalta-se também que além da possibilidade de reciclar os efluentes tratados nas instalações da planta de produção, ainda é possível realizar o reuso em outras aplicações, as quais estão categorizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Categorias de aplicação de reuso de águas.

Categoria de Reuso	Descrição
Reuso Urbano	Uso de água recuperada para aplicações não potáveis municipais em ambientes onde o acesso público não é restrito ou onde o acesso do público é controlado ou limitado por barreiras físicas ou institucionais.
Reuso Agrícola	Utilização de água de reuso para irrigar culturas alimentares que são destinadas ao consumo humano, culturas que são processadas antes do consumo humano ou que não são consumidas por seres humanos.
Represas	Uso de água recuperada em represamento que não há limitações impostas quanto ao contato do corpo sobre as atividades de recreação aquática ou quando o contato do corpo é restrito.
Reutilização ambiental	Utilização de água de reuso para criar, melhorar, manter ou aumentar os organismos aquáticos, incluindo as zonas úmidas, habitats aquáticos ou as vazões.
Reuso Industrial	Uso de água recuperada em instalações industriais, produção de energia e extração de combustíveis fósseis.
Recarga de Água Subterrânea	O uso de água recuperada para recarregar os aquíferos que não são utilizados como uma fonte de água potável.
Reuso Potável	Aumento de uma fonte de água potável com água recuperada em etapas que precedem o tratamento convencional de água potável; a introdução de água recuperada diretamente para uma estação de tratamento de água, ou sua colocação no sistema de tratamento de águas residuais avançada.

Fonte: Adaptado do Manual da U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2012)

De acordo com Angelakis & Gikas (2014), existem mais de 60 países que praticam vários tipos de reuso de água. Países como Estados Unidos, Japão e Austrália possuem projetos com alta porcentagem de reuso de efluentes provenientes das instalações hidrossanitárias de edificações comerciais e residenciais (LEUNG et al., 2012; ALCALDE-SANZ & GAWLIK, 2014). Com o aumento do conhecimento e a compreensão das vantagens da aplicação destas práticas, uma série de projetos de

sistemas de reuso de água também tem sido implantada em países em desenvolvimento (CHEN et al, 2012).

Alguns países trabalham com metas estabelecidas para o reuso, expressas em termos da porcentagem de águas residuais municipais, as quais são tratadas para se obter uma elevada qualidade do produto com uma reutilização vantajosa. Como exemplo prático, pode-se citar a Austrália, que em 2012 reutilizava cerca de 8% de suas águas residuais tratadas e estabeleceu como meta o aumento desta quantidade para 30% até o ano de 2030. No caso da Arábia Saudita, em 2012 eram reutilizadas cerca de 16% de suas águas residuais, possuindo como objetivo a ampliação desta reutilização para 65% até ao final de 2016. Já Cingapura, reutiliza 30% de suas águas residuais e possui um planejamento a longo prazo para reduzir sua dependência de fontes externas. E como grande exemplo pode-se citar Israel, que tem atingido uma grande porcentagem de reutilização, com o reuso de 70% dos efluentes domésticos gerados (EPA, 2012).

Nestes países o reuso e o reciclo estão diversificados em diferentes frentes, como na agricultura, em reusos urbanos (na irrigação de campos de golfe e áreas de lazer), no paisagismo, em represas destinadas à recreação, na recuperação ambiental (preservação de pantanais, realização de balanço hidrológico, prevenção de inundações, aumento da capacidade de rios e riachos, etc.), em reusos e reciclos industriais, em recargas de águas subterrâneas, indo até o uso com fins de potabilidade. Alguns exemplos de projetos de aplicação do reuso potável direto e do reuso potável indireto em algumas partes do mundo estão listados na Tabela 2.

Todavia, as informações disponíveis sobre a produção, tratamento e uso destas águas residuais ainda são escassas, conforme Sato et al. (2013) concluíram ao analisarem os dados de 181 países. Nesse trabalho, os autores conseguiram informações de apenas 30,4% dos países pesquisados. Como se vê, embora o reuso de águas residuais seja reconhecido como uma estratégia promissora para aliviar a escassez de água e reduzir os impactos no meio ambiente (ALMEIDA et al., 2010), ações sistemáticas para se atingir estas finalidades ainda não são suficientes.

Ao se avaliar o caso da indústria de processamento de pescado, o crescimento da demanda por alimentos também provoca reflexos diretos nesses mercados, que passam por um constante processo de ampliação (FAO, 2010). Com o desenvolvimento mais acelerado nos últimos anos, a produção mundial de pescado atingiu uma oferta total de 160 milhões de toneladas no ano de 2013, um recorde até então, levando a um consumo

de quase 20 kg per capita (FAO, 2013). No Brasil, o aumento da produção seguiu a tendência mundial, atingindo uma oferta de 1,5 milhões de toneladas, com um consumo médio de doze quilos anuais por habitante, sendo este o mínimo de consumo preconizado pela Organização Mundial de Saúde (ANA, 2014).

Tabela 2 – Exemplos de projetos com instalações de reuso potável direto e indireto no mundo (EPA, 2004; EPA 2012).

País	Cidade	Capacidade do Projeto (L/s)	Descrição dos Sistemas Avançados de Reutilização Potável
Bélgica	Wulpen	83,34	A água recuperada é devolvida ao aquífero, antes de ser reutilizada como uma fonte de água potável.
Índia	Bangalore	1.579	A água recuperada é misturada no reservatório, servindo como uma importante fonte de água potável.
Namíbia	Windhoek	241,23	A água recuperada é misturada com água de superfície tratada convencionalmente para reutilização com fins de potabilidade.
Estados Unidos	Big Spring, Texas	131,6	A água recuperada é misturada com água de superfície bruta para reutilização potável.
Estados Unidos	Upper Occoquan, Virginia	2.368,4	A água recuperada é misturada no reservatório, servindo como uma importante fonte de água potável.
Estados Unidos	Orange County, Califórnia	1.754,4	A água recuperada é devolvida ao aquífero, antes de ser reutilizada como uma fonte de água potável.
Reino Unido	Langford	460,5	A água recuperada é devolvida a montante do rio, a qual servirá como fonte de água potável.
Singapura	Singapura	5.350,9	A água recuperada é misturada no reservatório, servindo como uma importante fonte de água potável.
África do Sul	Malahleni	184,2	A água recuperada de uma mina é fornecida como água potável para o município.

Esta expansão traz à tona a necessidade da discussão das consequências geradas, uma vez que os processos industriais de beneficiamento de pescados têm sido tratados como atividades impactantes ao meio ambiente.

É importante ressaltar que este ramo industrial utiliza grandes quantidades de água durante as etapas de processamento dos produtos, com consequente aumento do volume de efluentes gerados, os quais, se não forem tratados de maneira adequada, podem gerar como consequência a poluição dos corpos hídricos (HIDALGO et al., 2007; SOUZA, 2010; ANH et al., 2011; QUEIROZ et al., 2013; MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013; DROST et al., 2014; CRISTOVÃO et al., 2015). Neste cenário, medidas para economizar o consumo deste recurso natural são muito oportunas neste tipo de indústria (CHOWDHURY et al., 2010).

Levando em consideração estas premissas, uma alternativa viável para a redução de efluentes e a melhoria da qualidade do mesmo, encontra-se na adoção de tecnologias e procedimentos que reduzam a quantidade de água utilizada assim como o aumento no reuso da mesma no processo. A implantação de tecnologias da Produção mais Limpa (P+L) nas indústrias não só confere a redução dos custos diretos e indiretos do processo por meio do gerenciamento do consumo de água, energia e matéria-prima utilizada, como aumenta a eficiência do empreendimento (SOUZA, 2010).

Este modelo adota a filosofia de prevenção da poluição, utilizando modelos tecnológicos apoiados em metodologias de P+L como estrutura principal. Por outro lado, tendo como foco o uso racional dos recursos hídricos nos processos industriais, o método torna-se uma ferramenta de suporte de grande utilidade para a consolidação de plantas industriais com o mínimo consumo de água e geração de efluentes (ANH et al., 2011; MIRRE, 2012), propiciando o emprego contínuo de medidas de melhoria tecnológica, econômica e ambiental.

No diagnóstico do consumo de água nas indústrias de processamento de pescado, sabe-se que a maior utilização concentra-se nas etapas de lavagem e limpeza. Porém, também devem ser considerados para os projetos de reuso os volumes empregados para o armazenamento e refrigeração dos produtos da pesca (CHOWDHURY et al., 2010), tanto antes quanto durante o processamento. Além disso, a água é utilizada como um importante lubrificante nas várias etapas de manuseio e processamento do pescado (ARVANITOYANNISI & KASSAVETI, 2008; CHOWDHURY et al., 2010), bem como no gerenciamento dos resíduos (PÉREZ-GALVÉZ et al., 2011), os quais são constituídos por escamas, carnes, ossos, cartilagens e vísceras (ANH et al., 2011).

As elevadas quantidades de carga orgânica e de sais resultam em maiores quantidades de sólidos totais em suspensão, de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e de Demanda Química de Oxigênio (DQO) (CHOWDHURY et al., 2010; ANH et al., 2011; CRISTOVÃO et al., 2012; CRISTOVÃO et al., 2014), diminuindo a qualidade destes efluentes. Além disso, águas residuais do processamento de pescado são ricas em nitrogênio e fósforo, os quais, quando descarregados no sistema de esgoto, podem levar a eutrofização e também a oxidação da amônia em nitrato (MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013).

Contudo, ainda existe outra conjuntura a ser enfrentada quando se pretende empregar sistemas de reuso de água em indústrias de produtos cárneos, que é a limitação imposta pelas regulamentações. A reutilização nessas indústrias geralmente se restringe ao reuso direto ou indireto para operações que a água não entre em contato com o produto a ser processado ou, em algumas situações, com quem os manuseia. Como exemplo pode-se citar os casos de torres de resfriamento, irrigação, descargas sanitárias, recuperação de aquíferos, entre outros (ABNT, 1997; EPA, 2012).

Existem ainda outras barreiras para a operacionalização em larga escala destes sistemas, tais como: políticas insuficientes de apoio à reutilização de água recuperada; falta de sensibilização e aceitação do público; falhas nos sistemas de gestão de risco, entre outros (YI et al., 2011; EPA, 2012).

Não obstante, cada planta industrial é única, com porte e qualidade de efluentes diferenciados, portanto, generalizações sobre o uso e características dos efluentes são de difícil mensuração, tornando complexos os seus tratamentos.

Em âmbito local, um dos entraves é a falta de uma legislação nacional específica que estabeleça critérios claros para a qualidade da água tratada, principalmente quando reutilização requer o atendimento de parâmetros de potabilidade. No que se refere ao reuso direto não potável, a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídrico (CNRH) de n.º 54 (BRASIL, 2005) descreve de forma sucinta as modalidades para estas práticas.

A Resolução do CONAMA n.º 430 (BRASIL, 2011), que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, sugere, embora de forma genérica, a busca de práticas de reuso, quando em seu artigo 27, determina que:

“As fontes potencial ou efetivamente poluidoras dos recursos hídricos deverão buscar práticas de gestão de efluentes com vistas ao uso eficiente da água, à aplicação de técnicas para redução da geração e melhoria da qualidade de efluentes gerados e, sempre que possível e adequado, proceder à reutilização.”

A NBR 13.969 (ABNT, 1997) admite o reuso dos efluentes tratados para diversas finalidades, excetuando-se as finalidades para o consumo humano. Esta norma também define alguns critérios de classificação da água para reuso que não necessitem atender os parâmetros de potabilidade. Estes critérios são baseados no grau de tratamento para uso múltiplo de efluente gerado, sendo definido pelo uso mais restritivo quanto à qualidade de esgoto tratado. Não obstante, conforme o volume estimado para os tipos de usos, esta norma possibilita a previsão de graus progressivos de tratamento, desde que sejam utilizados sistemas distintos de reservação e de distribuição.

Apesar desta norma não estabelecer procedimentos para o reuso potável, pode-se supor que por meio de processos separados por etapa de produção (em função da quantidade e qualidade dos efluentes) e/ou progressivos de tratamento das águas residuais pode-se conseguir o reuso em áreas industriais mais restritivas, como é o caso da indústria processadora de pescado.

Como referência específica para a indústria alimentícia, tem-se a Portaria de nº326, da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (BRASIL, 1997), a qual cita que:

“A água recirculada pode ser reutilizada dentro de um estabelecimento desde que tratada e mantida em condições tais que seu uso não possa representar risco para a saúde, mantendo-se sob constante vigilância o processo de tratamento. Para tanto, o controle de tratamento da água recirculada em processos de elaboração de alimentos deve ter sua eficácia comprovada...”.

Contudo, por não abordarem os processos de reuso e reciclo nem os critérios de qualidade necessários, estas normativas apenas indicam diretrizes básicas, reforçando a necessidade de elaboração de uma legislação específica para estes fins.

A falta de legislação específica também é uma das principais dificuldades encontradas para o reciclo na indústria de processamento de pescado em outros países. As legislações e regulamentos ambientais se concentram na descarga das águas residuais nos corpos hídricos, não sendo considerados, na maioria destes documentos,

os critérios necessários para o reuso e reciclo (HIDALGO et al., 2007; OLIVEIRA-ESQUERRE et al., 2011).

Na Europa, os países com regulamentos de reuso mais específicos são Grécia, Espanha e Portugal, tendo aplicação em diversas modalidades de reuso. A regulamentação italiana também descreve vários usos urbanos, agrícolas e industriais, porém, o uso industrial só é permitido se não houver contato direto com alimentos (ALCALDE-SANZ & GAWLIK, 2014).

Nos Estados Unidos, os regulamentos são desenvolvidos em função dos critérios de cada estado. Estados como Arizona, Califórnia, Flórida e Washington têm desenvolvido regulamentos ou orientações que incentivam o reuso da água como uma estratégia de conservação dos recursos hídricos (EPA, 2012).

No caso da Austrália, os órgãos governamentais iniciaram uma reforma na gestão dos recursos hídricos em 1994, quando foi instituída a adoção de medidas para o uso de fontes alternativas de água e o desenvolvimento de diretrizes para obtenção de água potável reciclada. As Diretrizes para Reciclagem de Água foram desenvolvidas baseadas pelos princípios da Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), privilegiando a gestão da saúde e dos riscos ambientais; o aumento do abastecimento de água potável; a coleta de águas pluviais e seu reuso; e a recarga controlada de aquíferos (NSW/FA, 2008; RADCLIFFE, 2015)

Não obstante, necessita-se avançar bastante com as pesquisas e discussões sobre o tema, pois, a ausência de padrões seguros, que sejam amparados por legislação específica, dificulta a busca por alternativas mais sustentáveis do uso dos recursos naturais, podendo levar a graves consequências, tais como: riscos de contaminação do meio ambiente (YI et al., 2011) riscos à saúde pública e práticas inadequadas por insuficiência de informações (ALCALDE-SANZ & GAWLIK, 2014).

Logo, as técnicas convencionais de tratamento de efluentes não são adequadas para a aplicação em sistemas de reciclo, uma vez que se faz necessário o atendimento dos critérios de qualidade da água para a potabilidade (CHOWDHURY et al., 2010; NORTON & MISIEWICZ, 2012). Desta forma, deve-se utilizar procedimentos avançados de tratamento para estes efluentes (LUIZ et al., 2012), como os processos de tratamento terciários, capazes de remover altos níveis de poluentes, os quais são de difícil remoção pelos tratamentos secundários (MITTAL, 2006; PEREZ et al., 2011).

Diante de toda esta complexidade, a tomada de decisão para a escolha das tecnologias de tratamento destes efluentes e suas possibilidades de reuso não poderá ser pautada apenas pelos aspectos técnicos, a solução adequada exige a avaliação de uma série de critérios ambientais, econômicos e sociais, os quais podem ter caráter quantitativo ou qualitativo. Portanto, devem-se buscar ferramentas metodológicas que sejam capazes de determinar a alternativa que melhor atende a critérios concorrentes, de acordo com cada cenário proposto.

Neste contexto, as técnicas de Análise Multicritério (AMC) podem se apresentar como ferramentas capazes de avaliar as tecnologias de tratamento de efluentes para aplicações em projetos de reuso, onde os modelos compensatórios são os que permitem alcançar resultados mais próximos do que seria o resultado ideal, uma vez que, são mais exigentes na avaliação das vantagens e desvantagens de cada atributo. Além disso, a análise estatística pode fornecer um coeficiente de correlação capaz de mostrar se a variação de uma variável está correlacionada com a variação de outra (CRISTOVÃO et al., 2016).

Estes modelos podem ser divididos em três subgrupos: (i) modelos de pontuação (como o de ponderação aditiva simples); (ii) modelos de compromisso (como o TOPSIS); e (iii) modelos de concordância (como o ELECTRE e o PROMETHEE) (KALBAR et al., 2012).

O PROMETHEE é um método não paramétrico de classificação, o qual utiliza o princípio de classificação superior para formular um ranking de alternativas, sendo adequado para os problemas em que um número finito de alternativas devam ser classificadas em relação a vários critérios, por vezes contraditório (BRANS et al., 1986; ABEDI et al, 2012; RAHMAN et al., 2014). A abordagem realizada pelo método PROMETHEE apresenta a vantagem de ser mais fácil de utilizar e menos complexa do que a abordagem ELECTRE, apesar de fazerem parte dos mesmos princípios de concordância. Por esta razão, sua aplicação na resolução de problemas ambientais vem crescendo (KALBAR et al., 2012; SADR et al., 2013).

Para a implementação do PROMETHEE são necessárias as definições dos pesos dos critérios adotados e das funções de preferência do tomador de decisão ao comparar a contribuição das alternativas em termos de cada critério separado. O método não fornece diretrizes específicas para determinação dos pesos, mas pressupõe que o

tomador de decisão é capaz de avaliar os critérios adequadamente, pelo menos quando o número de critérios não for muito grande (MACHARIS et al., 2004).

Já o ELECTRE é um método de superação baseado na análise de concordância. Sua principal vantagem é que leva em conta as incertezas e as imprecisões. Ele tem sido utilizado em problemas nas áreas de energia, economia, meio ambiente, gerenciamento de recursos hídricos e transporte (VELASQUEZ & HESTER, 2013). É compreendido em uma família de métodos de superação consistindo em sete modelos diferentes (I, II, III, IV, A, IS e TRI).

Quando se deseja realizar comparações entre diversas alternativas, com o desígnio de eliminar as menos vantajosas e indicar as mais adequadas, conforme a maioria dos critérios, sem produzir níveis inaceitáveis de descontentamento em algum critério julgado importante, pode-se utilizar o método ELECTRE III (ROY 1985). Esta é uma técnica que ordena, de forma hierarquizada e em ordem decrescente de preferência (TSCHEIKNER-GRATL et al., 2017), as diversas alternativas para solução de um problema.

Neste trabalho, foi realizada uma análise preliminar dos métodos PROMETHEE e ELECTRE III, com o desígnio de comparar as respostas para as variáveis e critérios adotados, para diferentes modelos de concordância, além de hierarquizar as opções de sistemas de tratamento de efluentes com vistas ao reuso industrial.

Por fim, em função da necessidade de aperfeiçoamento da relação entre a indústria processadora de pescado e o uso sustentável dos recursos hídricos, a implantação dos conceitos de reuso e reciclo neste segmento industrial deve ser almejada, levando-se em consideração tanto os aspectos técnicos, como os aspectos legais, econômicos e ambientais. Nesta conjuntura, o objetivo deste trabalho é estudar as combinações mais adequadas dos métodos de tratamento dos efluentes gerados nas etapas de processamento de pescados para enquadramento nos critérios de potabilidade e emprego em sistemas de reuso indireto. Para isso, também se objetiva:

1. Caracterizar os efluentes gerados nas etapas do processamento de pescado, determinando suas cargas poluentes (parâmetros físicos, químicos e biológicos).
2. Determinar as possibilidades de agrupamento destes efluentes industriais para a redução da carga global de poluentes e aumento da eficiência dos processos de tratamento.

3. Indicar as técnicas mais eficientes de tratamento dos efluentes da indústria do processamento de pescado para fins de reciclo e reuso, considerando o agrupamento das etapas de produção e a remoção de substâncias de complexa degradação.
4. Definir os tipos de aplicações de reuso e reciclo para a indústria de processamento de pescado, considerando o atendimento das exigências normativas com o auxílio de métodos de análise multicritério.

REFERÊNCIAS

ABDEL-RAOUF, N.; AL-HOMAIDAN, A. A.; IBRAHEEN, I. B. M. Microalgae and wastewater treatment. **Saudi Journal of Biological Sciences**, [S.I.], n. 19, p. 257–275, 2012.

ABEDI, M.; TORABI, S.; NOROUZI, G.; HAMZEH, M.; ELYASI, G., 2012. PROMETHEE II: Knowledge-driven method for copper exploration. **Computers & Geosciences**, n.46, P. 255–263, 2012.

ALCALDE-SANZ, L.; GAWLIK, B. M. Water reuse in Europe relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. **Publications Office of the European Union**, Luxemburgo, 48 p., 2014.

ALMEIDA, C. M. V. B. et al. Identifying improvements in water management of bus-washing stations in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.I.], n. 54, p. 821-831, 2010.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil - Informe 2014: Encarte especial sobre a crise hídrica**. Brasília: ANA, 2014. 28 p.

ANGELAKIS, A.; GIKAS, P. Water reuse: overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. **Water Utility Journal**, [S.I.], n. 8, p. 67–78, 2014.

ANH, P. et al. Towards eco-agro industrial clusters in aquatic production: the case of shrimp processing industry in Vietnam. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], n. 19, p. 2107–2118, 2011.

ARÉVALO, J. et al. Wastewater reuse after treatment by MBR. Microfiltration or ultrafiltration?. **Desalination**, [S.I.], n. 299, p. 22–27, 2012.

ARVANITOYANNIS, I. S.; KASSAVETI, A.; LADAS, D. Food Waste Treatment Methodologies. In: Arvanitoyannis, I. S. (Ed.). **Waste Management for the Food Industries**. 1ª ed., Elsevier Inc, 2008. p. 345-410, cap. 6.

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, 60p., 1997.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank project: The PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, p. 228-238, 1986.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 54, Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 nov. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 18 ago. 2014

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, 13 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 18 ago. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS Nº 326, Aprova o regulamento técnico "Condições higiênicos-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos". **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 jul. 1997.

CHEN, Z.; NGO, H.; GUO, W. A critical review on sustainability assessment of recycled water schemes. **Science of the Total Environment**, [S.I.], n. 426, p. 13-31, 2012.

CHOWDHURY, P.; VIRARAGHAVAN, T.; SRINIVASAN, A. Biological treatment processes for fish processing wastewater - A review. **Bioresource Technology**, [S.I.], n. 101, p. 439-449, 2010.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Chemical and biological treatment of a fish canning wastewater. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics**, [S.I.], v. 2, n. 4, p. 237-242, 2012.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Chemical oxidation of fish canning wastewater by fenton's reagent. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S.I.], n. 2, p. 2372–2376, 2014.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Fish canning industry wastewater treatment for water reuse – a case study. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], n. 87, p. 603–612, 2015.

CRISTÓVÃO, R. O. et al., 2016. Fish canning industry wastewater variability assessment using multivariate statistical methods. **Process Safety and Environmental Protection**, [S.I.], n. 102, p. 263–276.

DROST, A. et al. Uf application for innovative reuse of fish brine: product quality, ccp management and the haccp system. **Journal of Food Process Engineering**, [S.I.], n. 37, p. 396–401, 2014.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA). **Guidelines for Water Reuse**. EPA/625/R-04/108. Washington, D.C., 480 p., 2004. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>. > Acesso em: 12 ago. 2014.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA). **Guidelines for Water Reuse**. EPA/600/R-12/618. Washington, D.C., 643 p., 2012. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>. > Acesso em: 12 ago. 2014.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **GLOBEFISH Highlights**. [S.I.], 56 p., 2013. Disponível em: < <http://www.globefish.org/homepage.html>> Acesso em: 10 ago. 2014.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The state of world fisheries and aquaculture**. Roma, 218 p., 2010. Disponível em: < <http://www.globefish.org/homepage.html>> Acesso em: 10 ago. 2014.

HIDALGO, D. et al. Development of a multi-function software decision support tool for the promotion of the safe reuse of treated urban wastewater. **Desalination**, [S.I.], n. 215, p. 90–103, 2007.

KALBAR, P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S., 2012. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. **Journal of Environmental Management**, n. 113, p. 158-169.

LEUNG, R. W. K.; LI, D. C. H.; YU, W. K.; CHUI, H. K.; LEE, T. O.; VAN LOOSDRECHT, M. C.; CHEN, G. H.. Integration of seawater and grey water reuse to maximize alternative water resource for coastal areas: the case of the Hong Kong International Airport. **Water Science & Technology**, n. 65, p. 410-417, 2012.

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**. InTech, 2012. p. 3-24, cap. 1.

MACHARIS, C.; SPRINGAEL, J.; BRUCKER, K.; VERBEKE, A. PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. **European Journal of Operational Research**, n.153, p. 307–317, 2004.

MIRRE, R. C. **Metodologia para o gerenciamento sustentável do reúso de águas e efluentes industriais por meio da Integração de Processos**. 2012. 685 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, São Paulo, 2012.

MITTAL, G. S. Treatment of wastewater from abattoirs before land application—a review. **Bioresource Technology**, n. 97, p. 1119–1135, 2006.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility - A case study. **International Biodeterioration and Biodegradation**, n. 85, p. 563-570, 2013.

NEW SOUTH WALES GOVERNMENT (NSW). 2008. NSW **Water reuse guideline For food businesses**. NSW Food Authority, Sydney.

NORTON, T.; MISIEWICZ, P. Ozone for water treatment and its potential for process water reuse in the food industry. In: O'Donnell, C. et al. (Ed.). **Ozone in Food Processing**. 1. ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2012. p. 177-200, cap. 11.

OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P. et al. Taking advantage of storm and waste water retention basins as part of water use minimization in industrial sites. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.I.], n. 55, p. 316-324, 2011.

PERÉZ, S. et al. Wastewater Reuse in the Mediterranean Area of Catalonia, Spain: Case Study of Reuse of Tertiary Effluent from a Wastewater Treatment Plant at el Prat de Llobregat (Barcelona). In: Barceló, D.; Petrovic, M. (Ed.). **The Handbook of Environmental Chemistry**. Springer, 2011. p. 249-294, Vol. 14.

PÉREZ- GÁLVEZ. et al. Operation and cleaning of ceramic membranes for the filtration of fish press liquor. **Journal of Membrane Sciences**, [S.I.], n.384, p. 142–148, 2011.

QUEIROZ, M. I. et al. Fish processing wastewater as a platform of the microalgal biorefineries. **Biosystems Engineering**, [S.I.], n.115, p. 195-22, 2013.

RADCLIFFE, J. Water recycling in Australia – during and after the drought. **Environmental Science: Water Research & Technology**, [S.I.], 1v., n. 5, p. 554–562, 2015.

RAHMAN, M.; RUSTEBERG, B.; UDDIN, M; SAADA, M.; RABI, A.; SAUTER, M. Impact Assessment and Multicriteria Decision Analysis of Alternative Managed Aquifer Recharge Strategies Based on Treated Wastewater in Northern Gaza. **Water**, [S.I.], n. 6, p. 3807-3827, 2014.

ROY, B. E BOYSSOU, D. **Méthodologie Multicritère d’Aide à la Décision**. Ed. Economica, Paris, 1985.

SADR, S. et al. Appraisal of membrane processes for technology selection in centralized wastewater reuse scenarios. **Sustainable Environmental Research**, [S.I.], n. 23, p. 69-78, 2013.

SATO, T. et al. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. **Agricultural Water Management**, [S.I.], n.130, p. 1-13, 2013.

SOUZA, M. A. **Eficiência do processo de ultrafiltração seguido de biodigestão anaeróbia no tratamento de efluente de frigorífico de tilápia.** 2010.77 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista, São Paulo 2010.

TSCHEIKNER-GRATL, F; EGGER, P.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods for Integrated Rehabilitation Prioritization. **Water**, n. 9, p. 2-28,2017.

VELASQUEZ, M.; HESTER, P. An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*. Vol. 10, n. 2, p. 56-66, 2013.

YI, L.; JIAO, W.; CHEN, X.; CHEN, W. An overview of reclaimed water reuse in China. **Journal of Environmental Sciences**, [S.I.], 23v., p. 1585–1593, 2011.

CAPÍTULO III

3. PROCESSAMENTO DE PESCADO: TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS

Resumo

No caso da indústria de processamento de pescado, deve ser levado em consideração que a água é utilizada em abundância nas diversas etapas de produção, sendo necessária a adoção de medidas mitigadoras para a redução dos desperdícios e da produção de efluentes. Além disso, a proposição de métodos de tratamento de efluentes para a indústria de processamento do pescado apresenta algumas dificuldades, como as altas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e de Sólidos em Suspensão (SS), além da falta de uniformidade em sua composição, a qual está diretamente relacionada com a espécie a ser processada. Diante disso, este artigo possui como objetivo avaliar as tecnologias para o tratamento de efluentes das indústrias processadoras de pescado, em função da capacidade de remoção de poluentes das mesmas. Neste sentido, a combinação de múltiplos processos, com a utilização de técnicas avançadas de tratamento de nível terciário, mostra-se como um procedimento apropriado para o caso do tratamento de despejos da indústria de pescado, principalmente quando a finalidade for o reuso e o reciclo.

3.1 Introdução

Nos últimos anos, nota-se a ocorrência de um rápido crescimento dos mercados e das indústrias de pescado em todo o mundo, muito em função do aumento populacional, do aumento da renda, da urbanização e do valor proteico agregado deste alimento (CHOWDHURY et al., 2010; MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013). Diante disso, surge a necessidade da discussão das implicações geradas pela expansão deste setor, uma vez que o tratamento inadequado dos seus efluentes pode ter como consequência a geração de poluentes ambientais.

No caso da indústria de processamento de pescado, um fato importante que deve ser levado em consideração é que a água é utilizada em abundância nas diversas etapas de produção, fazendo-se necessário a adoção de medidas mitigadoras para a redução dos desperdícios e da produção de efluentes (CRISTOVÃO et al., 2015). Neste sentido, a utilização de sistemas de reuso e reciclo se mostra promissora para atingir tais objetivos, apresentando-se como uma importante fonte de suprimento deste recurso natural, sendo essencial para a sua gestão sustentável (EPA, 2012).

Todavia, para a reutilização de água recuperada, a questão-chave ainda é selecionar a tecnologia de tratamento adequada para cumprir com as exigências de qualidade, de acordo com a categoria específica de reutilização.

Nesta conjuntura, a identificação e concepção de medidas de prevenção, reciclo e reuso, em conjunto com o tratamento adequado dos resíduos, levam a um modelo tecnológico apoiado em metodologias de Produção mais Limpa (P+L) (ANH et al., 2011).

As operações de processamento de pescado são caracterizadas pela produção de grande quantidade de efluentes (QUEIROZ et al., 2013), contendo alta carga orgânica e altos níveis de salinidade (CRISTOVÃO et al., 2014a). Estes contaminantes orgânicos se apresentam nas formas solúveis, coloidais e particulados (CHOWDHURY et al., 2010), incluindo proteínas, nutrientes, óleos e gorduras (MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013). Os principais resíduos sólidos produzidos são constituídos por escamas, carnes, ossos, cartilagens e vísceras (JAMIESON et al., 2010; ANH et al., 2011).

Quando os efluentes são tratados para serem reutilizados, existe ainda a necessidade de tratamentos adicionais, com a integração de diferentes processos, tendo como propósito a garantia da qualidade e da adequação para o uso previsto (ALCALDE-SANZ & GAWLIK, 2014). No caso dos efluentes provenientes da indústria de processamento do pescado, estas garantias se tornam mais rígidas devido aos critérios específicos das indústrias do setor cárneo, principalmente para o reciclo direto nos processos de preparação, manuseio e acondicionamento dos alimentos, onde a utilização de água potável é necessária (CHOWDHURY et al., 2010). As Diretrizes para o Reúso Higiênico de Água de Processo em Indústrias Alimentares (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2001), estabelecem que é possível a substituição de água potável por efluentes tratados em alguns processos da indústria alimentar, desde que não comprometa a saúde pública.

Por estas razões, ao se projetar sistemas de reuso e/ou reciclo deve-se priorizar as análises das características técnicas e econômicas do processo de recuperação adotado, como mostram os estudos de Chowdhury et al. (2010), Alexandre et al. (2011), Cristovão et al. (2012), Muthukumaran & Baskaran (2013), Queiroz et al. (2013) e Cristovão et al. (2015).

Este trabalho pretende abordar as tecnologias mais adequadas para o tratamento de efluentes da indústria de processamento de pescado, no que diz respeito ao atendimento de limites de descarga, bem como para a possibilidade de reuso e/ou reciclo destes efluentes.

3.2 Caracterização dos Efluentes do Processamento do Pescado

As etapas de processamento da indústria de pescado podem variar de acordo com o porte, a sazonalidade e a produtividade de cada unidade industrial, o que implica diretamente em mudanças nas características dos efluentes gerados (ANH et al., 2011).

Além disso, outros fatores a serem considerados na produção que irão influenciar nas características dos efluentes são os tipos de pescados a serem processados, o sistema de abastecimento de água utilizado, o volume de efluente gerado e as concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Sólidos em Suspensão (CHOWDHURY et al., 2010; ALEXANDE et al., 2011; CRISTOVÃO et al., 2012). A

ocorrência destas variáveis nas condições operacionais dificulta o planejamento de uma única unidade de tratamento capaz de atender os requisitos necessários para todos os tipos de efluentes produzidos neste tipo de indústria (CRISTOVÃO et al., 2014a).

Desta forma, a caracterização precisa dos efluentes, incluindo os volumes diários, taxas de fluxo e carga poluente associada, é fundamental para um projeto eficaz dos sistemas de tratamento. A determinação dos requisitos de desempenho dos sistemas de tratamento depende diretamente de uma avaliação pormenorizada da qualidade dos efluentes a serem tratadas (MALATO et al., 2011). Além disso, no caso dos efluentes do processamento de pescado, a correta caracterização também se torna importante para a proteção do ecossistema e para a sustentabilidade da indústria pesqueira.

A relação entre as características finais dos efluentes (Tabela 3) e a seleção das tecnologias mais adequadas para o seu tratamento possui um papel fundamental para o estabelecimento das possibilidades de descarga, reuso ou reciclo. Em certos casos, em função das especificidades do efluente, processos de tratamento adicionais podem ser necessários para a remoção de contaminantes recalcitrantes (LUIZ et al., 2012) e para inativação e remoção de microrganismos patogênicos.

3.3 Tecnologias para Tratamento de Efluentes do Processamento de Pescado

Em função das características elencadas para a determinação da qualidade do efluente e os níveis de remoção desejados, pode-se utilizar para o tratamento dos efluentes das unidades de processamento de pescado tecnologias envolvendo sistemas físicos, químicos e biológicos (Tabela 4) (UNEP, 2005; MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013).

Além disso, com a possibilidade de segregação das correntes de efluentes e a disponibilidade das tecnologias para os respectivos tratamentos, é possível especificar desde processos mais simples até a combinação de múltiplos processos para atingir os requisitos para descarga direta ou reuso destes efluentes.

Tabela 3 – Características de efluentes finais de indústrias do processamento de pescado

Parâmetro	Características	Referência
pH	6,13 - 7,14 5,5 - 7,2 6,3 - 7,0 7,67 7,0 - 7,27 6,7 - 7,1	Cristovão et al. (2015); Alexande et al. (2011); Cristovão et al. (2012); Queiroz et al. (2013); Muthukumaran&Baskaran (2013); Riaño et al. (2011)
SST (mg.L ⁻¹)	324 - 3.150 324 - 9.407 418 615 - 657	Cristovão et al. (2015); Cristovão et al. (2012); Queiroz et al. (2013); Muthukumaran & Baskaran (2013)
DBO (mg.L ⁻¹)	463 - 4.569 1.129 - 19.200 2500 - 3500	Cristovão et al. (2015); Cristovão et al. (2012); Muthukumaran & Baskaran (2013)
DQO (mg.L ⁻¹)	1.147 - 8.313 1.313 - 12.333 1.967 - 21.821 1.518 3.238 - 3.745 825 - 1.978	Cristovão et al. (2015); Alexande et al. (2011); Cristovão et al. (2012); Queiroz et al. (2013); Muthukumaran & Baskaran (2013); Riaño et al. (2011)
N _{total} (mg.L ⁻¹)	21 - 471 98 - 211 112 341 - 352 46 - 50	Cristovão et al. (2015); Cristovão et al. (2012); Queiroz et al. (2013); Muthukumaran & Baskaran (2013); Riaño et al. (2011)
P _{total} (mg.L ⁻¹)	13 - 47 16,6 - 67 9,9 197 - 291 2,7 - 10,7	Cristovão et al. (2015); Cristovão et al. (2012); Queiroz et al. (2013); Muthukumaran & Baskaran (2013); Riaño et al. (2011)
Óleos e Graxas (mg.L ⁻¹)	156 - 2.808 78 - 3.656 409 - 2.841	Cristovão et al. (2015); Alexande et al. (2011); Cristovão et al. (2012);
N _{amoniacal} (mg.L ⁻¹)	3 - 1.059 3,2 - 19,4 38,7	Cristovão et al. (2015); Cristovão et al. (2012) Queiroz et al. (2013)
Carbono Dissolvido (mg.L ⁻¹)	90 - 2.342 298 - 639	Cristovão et al. (2015); Cristovão et al. (2012);

Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (N_{total}), Fósforo Total (P_{total}), Nitrogênio Amoniacal (N_{amoniacal})

Tabela 4 – Processos e operações utilizados para o tratamento de efluentes industriais

Sistema de Tratamento	Simplificado	Convencional	Avançado	Referência
Físico	<ul style="list-style-type: none"> - Gradeamento -Desarenadores - Peneiramento 	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentação/Decantação - Flotação - Processos de Filtração em Areia - Processos de Filtração em Membranas (microfiltração, ultrafiltração) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nanofiltração - Osmose Reversa - Desinfecção por Radiação UV - Carvão Ativado 	UNEP (2004); Fatta et al. (2005); Malato et al. (2011); Pérez-Galvéz et al. (2011); Cristovão et al. (2012); Queiroz et al. (2013); Alcalde-Sanz & Gawlik (2014); Cristovão et al. (2014b); Cristovão et al. (2015).
Químico	<ul style="list-style-type: none"> - Clarificação Química 	<ul style="list-style-type: none"> - Coagulação - Precipitação de sais, pela adição de coagulantes químicos - Floculação Química 	<ul style="list-style-type: none"> - Cloração - Oxidação por Ozônio - Processos de Oxidação Avançados - Precipitação de metais tóxicos - Troca iônica 	UNEP (2004); Fatta et al. (2005); Malato et al. (2011); Cristovão et al. (2012); Queiroz et al. (2013); Alcalde-Sanz & Gawlik (2014); Cristovão et al. (2014b); Cristovão et al. (2015).
Biológico	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema Tanque-Filtro - Lagoas de Estabilização sem aeração 	<ul style="list-style-type: none"> - Lagoas Anaeróbias - Lodos Ativados - Filtro Biológico - Lagoas Facultativas - Lagoas Aeradas Aeróbias - Lagoas de Estabilização 	<ul style="list-style-type: none"> - Digestores Anaeróbios - Reatores Anaeróbios (UASB) - Lagoas de Aeração prolongada - Lodos Ativados de alta capacidade 	Chowdhury et al. (2010); Muthukumaran & Baskaran (2013); Alcalde-Sanz & Gawlik (2014); Cristovão et al. (2015).

Uma vez que a utilização de processos primários físicos ou físico-químicos no tratamento de efluentes com altos teores de sólidos em suspensão são tecnicamente adequadas, o uso de tecnologias de sedimentação natural ou por centrifugação,

auxiliadas pela adição de coagulantes e/ou floculantes, podem ser empregadas na remoção destes compostos sólidos contidos nos efluentes provenientes da indústria de processamento do pescado (CRISTOVÃO et al., 2014b).

Diante disso, Cristovão et al. (2012), utilizando os tratamentos de sedimentação e coagulação/floculação química para efluentes do processamento de pescado, conseguiram taxas de remoção de sólidos totais e de óleos e graxas de 86% e 99,7%, respectivamente. Estes níveis de remoção conferem aos efluentes características adequadas para serem submetidos a processos de tratamento secundário, com o intuito de reduzir a quantidade de componentes orgânicos a níveis apropriados para uma posterior descarga (CRISTOVÃO et al., 2014b).

Contudo, um fator a ser considerado na utilização destes métodos de tratamento é a geração de grandes quantidades de lodo (KUCA & SZANIAWSKA, 2009), o que poderia ser uma desvantagem na adoção desses processos. Além disso, a remoção da maioria dos sólidos em suspensão, que contribuem para a carga orgânica, seria difícil de ser conseguida utilizando um sistema simplificado de sedimentação (MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013), uma vez que este processo é comumente utilizado para remoção de partículas maiores do que 30 μm (FATTA et al., 2005).

Em função da ocorrência de elevados teores de óleos e graxas nos efluentes deste ramo industrial (MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013), faz-se necessário a utilização de um tratamento preliminar, podendo-se utilizar para este fim os processos de flotação para a remoção destes poluentes, além da clarificação do efluente final (CRISTOVÃO et al., 2014b).

De acordo com Muthukumaran & Baskaran (2013), o sistema de Flotação por Ar Dissolvido (FAD) apresenta potencial para efetivamente remover óleos, graxas e outros contaminantes sedimentáveis presentes nos efluentes. Entretanto, para atender aos padrões de conformidade para reúso, faz-se necessário a utilização tratamento adicional para a remoção dos sólidos solúveis.

Ao utilizarem processos de sedimentação e FAD para o tratamento de efluentes do processamento de pescado, Jamieson et al. (2010) conseguiram resultados com elevadas reduções apenas na quantidade de Sólidos Suspensos Totais (95%), com uma redução apenas moderada na DQO (60%) e na quantidade de nitrogênio (50%). Ainda de acordo com estes autores, como a matéria orgânica dissolvida na água de processamento do pescado é de difícil remoção, o tratamento utilizando somente o processo de FAD não é adequado para a remoção de grandes quantidades de contaminantes dissolvidos ou solúveis (como no estudo citado, onde a DQO foi de 1.358 mg.L^{-1}).

De forma semelhante, Cristovão et al. (2014b), também utilizando processos conjuntos de sedimentação e FAD, não conseguiram resultados satisfatórios que pudessem comprovar a eficiência deste sistema para a remoção de matéria orgânica dos efluentes de conservas de peixe, uma vez que não foi observada redução de carbono orgânico dissolvido.

Para atingir níveis de remoção mais elevados, os efluentes podem passar ainda por processos de tratamento secundário, onde, no caso das indústrias de alimentos, são

convencionalmente submetidas a tratamentos biológicos (anaeróbios ou aeróbios), devido aos altos teores de matéria orgânica e nutrientes presentes nestes efluentes (CHOWDHURY et al., 2010). Estes tratamentos também podem ser utilizados para remover os sólidos suspensos remanescentes do tratamento primário (MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013).

Como resultado da atividade microbiológica, estes tipos de tratamento levam a um decréscimo da DQO e da DBO, podendo chegar a níveis de remoção acima de 90% dos poluentes presentes nos efluentes (CRISTOVÃO et al., 2012).

Embora os processos aeróbios sejam tradicionalmente usados no tratamento de efluentes industriais, os sistemas anaeróbios mostram-se mais adequados para o tratamento de efluentes do processamento de pescados. Isto porque estes sistemas são capazes de converter os poluentes orgânicos (DQO, DBO₅), característicos nestes tipos de efluentes, em uma pequena quantidade de lodo e uma grande quantidade de biogás, com um custo significativamente menor, quando comparado com os sistemas aeróbios (CHOWDHURY et al., 2010).

Neste contexto, Muthukumar & Baskaran (2013) concluíram que a utilização de um sistema composto por uma unidade de filtração e um biofiltro anaeróbio seria adequado para o tratamento secundário de efluentes de indústrias de processamento de pescado, devido a sua capacidade de remoção de DBO e DQO.

Utilizando processos combinados de hidrólise enzimática e tratamento biológico anaeróbio para efluentes da indústria de processamento de pescado, Duarte et al. (2015) conseguiram remoções de DQO de 97,5%, após 68 h, indicando que essas condições podem ser adotadas para a escala industrial.

A aplicação destas enzimas tem crescido por causa da sua capacidade para catalisar uma grande variedade de reações, incluindo a hidrólise de óleos e graxas em efluentes da indústria de peixe (ALEXANDE et al., 2011). Desta forma, o pré-tratamento enzimático facilita a sedimentação do lodo e aumenta a eficiência do tratamento biológico, evitando a acumulação de gorduras no mesmo (DUARTE et al., 2015).

Todavia, Anh et al. (2011) relatam que para satisfazer requisitos mais rígidos para a descarga de efluentes é possível realizar um tratamento aeróbio em sequência de um tratamento anaeróbio, como no caso do processo de lodos ativados. Esta sequência de processos é capaz de reduzir o teor de nutrientes do efluente tratado (FATTA et al., 2005).

Riaño et al. (2011) ressaltam que os processos à base de microalgas também podem ser aplicados no tratamento de efluentes do processamento de pescado, uma vez que, ao utilizarem foto-bioreatores, estes autores conseguiram altas taxas de remoção de nutrientes, além da redução das emissões de gás carbônico.

Apesar destes processos de tratamento biológico conseguirem remover entre 95% - 99% de alguns microrganismos, a presença de organismos patogênicos remanescentes torna a água inapropriada para o reuso direto (CRISTOVÃO et al., 2015). Desta forma, faz-se necessário o uso de algum tratamento de desinfecção para

inativar a ação de microrganismos patogênicos presentes na água e nos efluentes (LUIZ et al., 2012).

Em atividades que apresentam requisitos mais rigorosos, como é o caso de sistemas de reuso e reciclo de efluentes, recomenda-se ainda a utilização de técnicas de tratamento de nível terciário. Neste sentido, as tecnologias de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa apresentam importantes vantagens quando comparadas com processos de depuração convencionais (PÉREZ-GALVÉZ et al., 2011).

A utilização de tecnologias de tratamento com separação por membranas permitem a geração de efluente com baixa carga orgânica passível de reutilização (KUCA & SZANIAWSKA, 2009), com um produto final produzindo um impacto ambiental mínimo. Ademais, este processo permite recuperar parte do material sólido, ao invés de transformá-lo em lodo (PÉREZ-GALVÉZ et al., 2011).

A utilização de tecnologias combinadas em processos de tratamentos de efluentes da indústria de entrepostos de pescado têm se mostrado muito eficaz na melhoria físico-química dos efluentes para fins de reuso. Diante disso, Queiroz et al. (2013) utilizaram para o tratamento inicial de efluentes do processamento do pescado processos de coagulação, floculação e sedimentação. Já para a remoção de íons metálicos foi utilizada uma membrana para microfiltração. Como resultado conseguiu-se remoções substanciais de matéria orgânica (100%), nitrogênio total (93%) e fósforo total (100%).

Entretanto, de acordo com Luiz et al. (2012), as técnicas convencionais de tratamento de efluentes não são adequadas para o reuso, quando existe a necessidade do atendimento dos critérios de qualidade da água para a potabilidade, sendo necessário para isso a utilização de procedimentos avançados de tratamento.

Neste caso, pode-se utilizar processos de tratamento terciários e avançados para a remoção de altos níveis de poluentes específicos, tal como nitrogênio e fósforo, os quais podem ser de difícil remoção por tratamentos convencionais secundários (UNEP, 2005; PEREZ et al., 2011).

As etapas de tratamento avançado são indicadas para a remoção de compostos coloidais residuais e sólidos dissolvidos, incluindo sais e produtos orgânicos, principalmente quando as diretrizes de reutilização da água estabelecem restrições específicas de qualidade (MEDAWARE, 2005).

Para o caso de efluentes contendo uma grande variedade de contaminantes orgânicos de difícil remoção, o tratamento terciário aplicado para produzir água para reuso deve ser altamente eficiente. Nesta conjuntura, os processos de oxidação avançados (POAs) apresentam-se como uma excelente alternativa (LUIZ et al., 2012).

Os POAs são capazes de remover simultaneamente a matéria orgânica e nitrato, no entanto, há muitos parâmetros que também devem ser levados em conta, como é o caso da concentração de compostos orgânicos e do teor de oxigênio livre no meio. Todavia, a eficácia destes tipos de tratamento dependente principalmente do fato do oxidante ser seletivo ou não, da presença de captadores deste oxidante e da dosagem de oxidante utilizada (LUIZ et al., 2012).

Ao utilizarem processos combinados de tratamento biológico e oxidação avançada pelo reagente Fenton para efluentes do processamento de conservas de peixe, Cristovão et al. (2014a) conseguiram em seus resultados a redução de 64,4%, de Carbono Orgânico, atingindo um valor mínimo de 20 mg/L. Também houve um decréscimo nos valores de DQO (valor mínimo de 90 mg/L), ficando abaixo dos limites da legislação de Portugal para descarga direta nos corpos hídricos ou sistemas de esgoto.

De acordo com Perez et al. (2011), o Fenton é um dos mais eficazes agentes de oxidação avançada, sendo utilizado para a degradação de compostos orgânicos de difícil remoção. Devido ao seu elevado potencial de oxidação (2,8 V), ele pode ser utilizado para a degradação de substâncias químicas não biodegradáveis.

Outra ferramenta essencial para garantir a eficiência da maioria dos sistemas de reutilização de efluentes é a desinfecção, uma vez que este processo é capaz de minimizar os riscos ambientais e de saúde, eliminando ou inativando microrganismos patogênicos, vírus e parasitas da água tratada. Dentre os oxidantes utilizados para a desinfecção, o cloro é um dos produtos químicos mais utilizados (UNEP, 2004; MEDAWARE, 2005; CRISTOVÃO et al., 2015).

O cloro é um desinfetante muito eficaz para a maioria dos microrganismos, onde 99% de bactérias e vírus podem ser removidos com sucesso através deste tratamento (MALATO et al., 2011). Esta eficácia pode ser influenciada pela presença de sólidos em suspensão, matéria orgânica e de amônia na água (UNEP, 2004), além de depender da temperatura da água, pH, do grau da mistura e do tempo de contato (MEDAWARE, 2005).

O ozônio também pode ser utilizado no processo de desinfecção, pois também é considerado um oxidante forte (MALATO et al., 2011), podendo ainda ser mais eficaz do que o cloro na destruição de vírus e bactérias (UNEP, 2004). A ozonização tem se mostrado como uma tecnologia adequada para a transformação de altas cargas de poluentes orgânicos em carbono inorgânico (PEREZ et al., 2011). Além disso, apresenta eficácia na remoção de cor, contribuindo com o teor de oxigênio dissolvido (MEDAWARE, 2005).

O tratamento por ozonização promove a inativação das células através de lesões diretas na parede e na membrana celular, rompendo as reações enzimáticas e provocando danos no DNA, inclusive nos casos de agentes patogênicos altamente resistentes, como os protozoários (EPA, 2004).

No entanto, para o tratamento terciário é necessário conhecer em detalhes quais os contaminantes orgânicos estão presentes nos efluentes, com o intuito de verificar se eles podem ser oxidados por ozonização simples ou se a utilização de POAs seria mais eficaz (LUIZ et al., 2012). Além disso, outros parâmetros também são importantes para explicar a eficácia desta técnica, tais como a dose de ozônio utilizada, a acidez da matriz, a temperatura e a quantidade de matéria orgânica presente (PEREZ et al., 2011).

Outra opção de tratamento que pode ser utilizado para este fim é a desinfecção por radiação Ultravioleta (UV), o qual tem sido cada vez mais empregado nas plantas industriais. Isto se justifica pela alta eficiência na desinfecção da maioria dos vírus, bactérias e protozoários, além da facilidade de operação (MALATO et al., 2011).

Os tratamentos utilizando este tipo de radiação são especialmente empregados em processos para obtenção de água para o reúso. A radiação UV tem função bactericida devido a sua capacidade de provocar danos aos ácidos nucleicos (DNA e RNA) dos microrganismos (bactérias e vírus), fazendo com que os mesmos sejam inativados (MEDAWARE, 2005; CRISTOVÃO et al., 2015).

Este tipo de desinfecção geralmente é aplicada utilizando lâmpadas de mercúrio de baixa pressão com emissor de luz monocromática a 254 nm, podendo decompor compostos orgânicos por fotólise direta ou indireta (PEREZ et al., 2011).

Tendo como intuito realizar um tratamento de efluentes do processamento de pescados capaz de produzir água para o reúso na indústria, Cristovão et al. (2015) sugerem uma sequência de processos, seguindo a ordem: sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV. Como resultado final dos sistemas de tratamento conseguiu-se a remoção de 99,8% de óleos e graxas, 98,4% de sólidos suspensos totais, 99,9% de carbono orgânico dissolvido, acima de 96% de ânions e cátions e 100% de bactérias heterotróficas, além de modificação de 99,1% da condutividade.

Com relação às técnicas que utilizam sistemas de membranas para a separação de íons das soluções, baseados na Osmose Reversa (OR), indicam-se o seu uso tanto para a remoção de sais e minerais dissolvidos, como também para a remoção de agentes patogênicos (FATTA et al., 2005). Este tipo de tratamento normalmente é utilizado em conjunto com um tratamento convencional, podendo suprir as deficiências destes métodos (PEREZ et al., 2011), ou juntamente com outros processos de tratamento avançados para a produção de efluentes de alta qualidade (como demonstrado acima).

Não obstante, uma das técnicas mais eficientes e promissoras para a eliminação de compostos múltiplos é a adsorção. De acordo com Perez et al. (2011), este processo é reconhecido como um fenômeno de superfície por atrair compostos fluidos variados (gás ou líquido) para a superfície de um adsorvente sólido e promover ligações através da aderência física ou química.

Diante do exposto, para a escolha das tecnologias mais adequadas para o tratamento de efluentes da indústria de processamento de pescado é necessário a definição da destinação que se pretende, seja para a descarga nos mananciais, seja para a aplicação em sistemas de reúso e/ou reciclo. Tendo como base as legislações correlatas, pode-se relacionar as tecnologias disponíveis com os níveis de remoção requeridos. Os resultados de remoção de algumas tecnologias de tratamento para efluentes da indústria do processamento de pescado são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Níveis de remoção de poluentes de efluentes das indústrias do processamento de pescado em função das tecnologias de tratamento utilizadas

Tratamento	Parâmetros	Remoção	Referência
Sedimentação e Coagulação/Floculação	SST	86%	Cristovão et al. (2012)
	Óleos e Graxas	99,7%	
Sedimentação e FAD	SST	95%	Jamieson et al. (2010)
	DQO	60%	
	N _{total}	50%	
Foto-bioreator	DQO	71%	Riaño et al. (2011)
	N _{total}	95%	
	P _{total}	74,1%	
Microfiltração com membranas cerâmicas	DBO	72%	Kuca & Szaniawska (2009)
	DQO	60%	
	Óleos e Graxas	73%	
Ultrafiltração com membranas cerâmicas	DQO	86%	Pérez-Gálvez (2011)
	Proteínas	77%	
Bioreator; Coagulação/floculação/sedimentação; Microfiltração por membranas	DQO	100%	Queiroz et al. (2013)
	Sólidos Dissolvidos	100%	
	N _{total}	93%	
	P _{total}	100%	
Microfiltração e Nanofiltração por membranas	Óleos e Graxas	69%	Afonso & Bórquez (2002)
	Sólidos Voláteis	64%	
	Sólidos Totais	22%	
	Proteínas	66%	
Tratamento biológico e oxidação avançada pelo reagente Fenton	Carbono Orgânico Total	64,4%	Cristovão et al. (2014a)
Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV	Carbono Orgânico Dissolvido	99,9%	Cristovão et al. (2015)
		99,8%	
	Óleos e Graxas	98,4%	
	SST	96%	
	Ânions e Cátions	100%	
	Bactérias Heterotróficas		

3.4 Discussões

O fato das indústrias de processamento de pescados gerarem grandes quantidades de efluentes contendo grandes teores de sais, matéria orgânica e de óleos e graxas, torna o seu tratamento complexo e dificulta o cumprimento dos limites de emissão para efluentes industriais. Aliado a isso, a grande variação na composição destes efluentes, devido aos diferentes processos de produção e tipos de pescado, aumenta a dificuldade do tratamento.

Ademais, deve ser levado em consideração que a água é utilizada em abundância nas diversas etapas de produção, desta forma, também se faz necessário a adoção de medidas mitigadoras para a redução dos desperdícios e da produção de efluentes. Neste sentido, a utilização de sistemas de reuso e reciclo se mostra promissora para atingir tais objetivos, apresentando-se como uma importante fonte de suprimento deste recurso natural, sendo essencial para a sua gestão sustentável (EPA, 2012).

A separação dos efluentes em categorias (utilizando processos de segregação) pode melhorar o desempenho dos sistemas de tratamento em função do nível de remoção a ser conseguido. A combinação das correntes mais similares em termos de características físico-químicas e microbiológicas, permite um tratamento ideal para cada tipo de efluente, proporcionando maior economia de energia, maior eficiência e menor custo de descarte (LUIZ et al., 2012), além de facilitar a destinação dos mesmos para diferentes tipos de reuso e/ou reciclo, principalmente nos casos relacionados às indústrias, onde as exigências são determinadas de acordo com a aplicação do efluente tratado.

Outra dificuldade a ser enfrentada, quando se pretende empregar sistemas de reuso de água em indústrias de produtos cárneos, é a limitação imposta pelas regulamentações. A reutilização nessas indústrias geralmente se restringe ao reuso direto ou indireto para operações que a água não entre em contato com o produto a ser processado ou, em algumas situações, com quem os manuseia.

Como exemplo desta problemática pode-se citar as regulamentações dos EUA, que apesar de preverem vários tipos de aplicação para o reuso de efluentes, apresentam restrições quanto ao reciclo na indústria de processamento de alimentos. Neste caso, a reutilização da água é regida em função dos critérios de cada estado e apresentam limites para parâmetros microbiológicos e físico-químicos para o reuso em torres de resfriamento, irrigação, descargas sanitárias, recuperação de aquíferos, entre outros (EPA, 2012).

Contudo, alguns países têm avançado na elaboração de normativas para a indústria alimentícia, como é o caso da Espanha e da Grécia, que já possuem critérios de o reuso para as águas de processamento e limpeza de alimentos (Tabela 6), apresentando também protocolos de monitoramento mais rigorosos (ALCALDE-SANZ & GAWLIK, 2014).

No caso da Espanha, o Real Decreto 140 estabelece os critérios sanitários da qualidade da água para o consumo humano, determinando que a água potável deve ser salubre e limpa, não contendo qualquer tipo de microrganismo, parasita ou substância, em quantidades ou concentrações que constituam um risco para a saúde humana, além

de cumprir requisitos específicos para parâmetros microbiológicos, químicos e radioativos (ESPAÑA, 2003). Já o Real Decreto 1.620 estabelece o regime jurídico de reutilização de águas tratadas, limitando parâmetros como quantidade de nematoides intestinais, Escherichia Coli, patógenos, sólidos em suspensão e turbidez (ESPAÑA, 2007).

De acordo com Alcalde-Sanz & Gawlik (2014), a decisão ministerial conjunta da Grécia de número 14.5116, estabelece as medidas, limites e procedimentos para o reuso de efluentes tratados, utilizando parâmetros microbiológicos e físico-químicos como Escherichia Coli, coliformes totais, SST, turbidez, DBO₅, pH, metais pesados, N_{total} e P_{total}.

Tabela 6 – Valores de referência para águas residuais tratadas para reuso industrial

Parâmetro	EPA	Espanha	Grécia
pH	6 - 9	6 – 8,5	-
SST (mg.L ⁻¹)	30	5 – 35	2 - 35
SDTotais (mg.L ⁻¹)	-	-	2.000
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	30	-	10 - 25
N _{total} (mg.L ⁻¹)	-	-	30
P _{total} (mg.L ⁻¹)	-	-	1 - 2
Coliformes Totais (nmp/100mL)	200	-	2
Nematoides intestinais (ovos/L)	-	0,1	-
Escherichia Coli (nmp/100mL)	-	0-10 ⁴	250-10 ⁵
Cloretos Totais (mg.L ⁻¹)	-	-	350
Turbidez (uT)	2– 2,5	1 – 15	2 – sem limite

Fontes: EPA (2012); Real Decreto 1.620 da Espanha (ESPAÑA, 2007); Decisão Ministerial conjunta 14.5116 (ALCALDE-SANZ & GAWLIK; 2014)

Contudo, dos conjuntos de sistemas de tratamento descritos, os que apresentaram melhor desempenho foram o conjunto formado por Bioreator/Coagulação/floculação/sedimentação/Microfiltração proposto por Queiroz et al. (2013) e o conjunto formado por Sedimentação/flotação/coagulação/floculação/lodos ativados/filtração por filtro de areia/ osmose reversa/desinfecção por UV proposto por Cristovão et al. (2015). Ao analisar os dados da Tabela 3, pode-se observar que com a utilização destas tecnologias de tratamento é possível atingir níveis de remoção

compatíveis com o atendimento dos limites estipulados pelas principais normativas para o reuso.

3.5 Considerações Finais

Em função das peculiaridades apresentadas pelos efluentes da indústria do processamento do pescado, o primeiro passo para a escolha das tecnologias a serem utilizadas para a implantação de um sistema de tratamento é a definição do destino das águas tratadas. Além disso, deve-se priorizar o equilíbrio entre a qualidade da água produzida, a simplicidade das operações dos sistemas e os custos de implantação e manutenção.

Sistemas de tratamento que utilizam a combinação de processos físicos e químicos ou biológicos têm sido empregados na redução das cargas de poluentes dos efluentes, possibilitando assim o lançamento destes em corpos hídricos e o seu reuso para finalidades menos restritivas, como irrigação, recarga de aquíferos e instalações hidro-sanitárias.

Já para o reuso industrial sem o requisito de potabilidade, devem ser adicionadas nestes sistemas tecnologias de tratamento de nível terciário, com o intuito de atender níveis de remoção mais restritivos, como os dos regulamentos dos EUA, Espanha e Grécia.

Por fim, para o reuso e reciclo em indústrias do processamento de pescado, com necessidade de atendimento de requisitos de potabilidade, recomenda-se a utilização de uma combinação de processos com a utilização de técnicas avançadas de tratamento, com a necessidade de utilização de tecnologias de desinfecção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, M. D.; BÓRQUEZ, R. Nanofiltration of wastewaters from the fish meal industry. **Desalination**, [S.I.], n. 151, p. 131–138, 2002.

ALCALDE-SANZ, L.; GAWLIK, B. M. **Water reuse in europe relevant guidelines, needs for and barriers to innovation**. Publications Office of the European Union, Luxemburgo, 48 p., 2014.

ANH, P. et al. Towards eco-agro industrial clusters in aquatic production: the case of shrimp processing industry in Vietnam. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], n. 19, p. 2107–2118, 2011.

CHOWDHURY, P.; VIRARAGHAVAN, T.; SRINIVASAN, A. Biological treatment processes for fish processing wastewater - A review. **Bioresource Technology**, [S.I.], n. 101, p. 439-449, 2010.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Chemical and biological treatment of a fish canning wastewater. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics**, [S.I.], v. 2, n. 4, p. 237–242, 2012.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Chemical oxidation of fish canning wastewater by fenton's reagent. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S.I.], n. 2, p. 2372–2376, 2014a.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Fish canning industry wastewater treatment for water reuse – a case study. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], n. 87, p. 603–612, 2015.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Primary treatment optimization of a fish canning wastewater from a Portuguese plant. **Water Resources and Industry**, n. 6, p. 51–63, 2014b.

DUARTE, J. G. et al. Enzymatic hydrolysis and anaerobic biological treatment of fish industry effluent: Evaluation of the mesophilic and thermophilic conditions. **Renewable Energy**, n.83, p. 455-462, 2015.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA). **Guidelines for Water Reuse**. EPA/625/R-04/108. Washington, D.C., 480 p., 2004. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>. > Acesso em: 12 ago. 2014.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA). **Guidelines for Water Reuse**. EPA/600/R-12/618. Washington, D.C., 643 p., 2012. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>. > Acesso em: 12 ago. 2014.

ESPAÑA. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 140, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. **Boletín Oficial del Estado**, Madrid, 8 diciembre 2003. Disponível em: <<http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/.../A50639-50661.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2015.

ESPAÑA. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 1.620, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. **Boletín Oficial del Estado**, Madrid, 8 diciembre 2007. Disponível em: <<http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/.../A50639-50661.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2015.

FATTA, D. et al. Wastewater treatment technologies and effluent standards applied in the Med countries for reuse in agriculture. In: **Second Mediterranean Conference - WATMED 2**, November, 2005, Marrakesh. Disponível em: <http://uest.ntua.gr/archive/medaware/.../Fatta_et_al.doc > Acesso em: 19 out. 2015.

JAMIESON, B. L.; GONÇALVES, A. A.; GAGNON, G. Evaluation of treatment options for Atlantic Canadian seafood processing plant effluent. **Canadian Journal of Civil Engineering**, n. 37, p. 167-178, 2010.

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**. InTech, 2012. p. 3-24, cap. 1.

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

MALATO, S. et al. Technologies for Advanced Wastewater Treatment in the Mediterranean Region. In: Barceló, D.; Petrovic, M. (Ed.). **The Handbook of Environmental Chemistry**. Springer, 2011. p. 1-28, Vol. 14.

MEDAWARE. **Development of Tools and Guidelines for the Promotion of the Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse in the Agricultural Production in the Mediterranean Countries. Task 5: Technical Guidelines on Wastewater Utilisation**. European Commission, Euro-Mediterranean Partnership, MEDA Water, 170 p., 2005. Disponível em: <<http://www.medawatermsu.org/Projects/MEDAWARE.htm>> Acesso em: 17 out. 2015.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility - A case study. **International Biodeterioration and Biodegradation**, n. 85, p. 563-570, 2013.

PEREZ, S. et al. Wastewater Reuse in the Mediterranean Area of Catalonia, Spain: Case Study of Reuse of Tertiary Effluent from a Wastewater Treatment Plant at el Prat de Llobregat (Barcelona). In: Barceló, D.; Petrovic, M. (Ed.). **The Handbook of Environmental Chemistry**. Springer, 2011. p. 249-294, Vol. 14.

PÉREZ- GÁLVEZ. et al. Operation and cleaning of ceramic membranes for the filtration of fish press liquor. **Journal of Membrane Sciences**, [S.I.], n.384, p. 142–148, 2011.

QUEIROZ, M. I. et al. Fish processing wastewater as a platform of the microalgal biorefineries. **Biosystems Engineering**, [S.I.], n.115, p. 195-22, 2013.

RIAÑO, B.; MOLINUEVO, B; GARCÍA-GONZALES, M. C. Treatment of fish processing wastewater with microalgae-containing micorbiota. **Bioresource Technology**. [S.I.], n. 102, p.10829-10833, 2011.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Water and Wastewater Reuse - An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management**. Osaka, 48 p., 2005. Disponível em: <http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=3596> Acesso em: 22 out. 2015.

CAPÍTULO IV

4. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE REUSO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DO PROCESSAMENTO DE PESCADO ATRAVÉS DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

RIBEIRO, Fábio Henrique de Melo^a; NAVAL, Liliana Pena^a.

^a Federal University of Tocantins (UFT). Av. NS 15, 109 Norte, Bloco 2, Sala 07, Lab. Saneamento Ambiental. Postal Code: 77001/090 | Palmas/Tocantins – Brazil.

fabioribeiro@uft.edu.br; liliana@uft.edu.br

Resumo

As indústrias de processamento de pescado caracterizam-se pelo elevado volume de água utilizado nas etapas de produção e o conseqüente aumento da geração de efluentes. Como forma de promover um modelo mais sustentável, a utilização de sistemas de reuso se mostra promissora para reduzir o consumo deste recurso natural, além de possibilitar redução dos custos de operação. Todavia, para a proposição de um sistema de reuso deve-se escolher a tecnologia adequada de tratamento, levando-se em consideração as características dos efluentes gerados e os requisitos normativos para este fim. Diante destas prerrogativas, este trabalho teve como objetivo avaliar alternativas de sistemas de tratamento de efluentes gerados por indústrias de processamento de pescado capazes de satisfazer critérios técnicos, ambientais e econômicos., com vistas ao atendimento dos regulamentos de reuso industrial. Também foi realizada uma Análise Multicritério (AMC), com o auxílio da ferramenta PROMETHEE, para a ponderação dos aspectos quantitativos e qualitativos que possuem influência nas tomadas de decisão. Os resultados demonstraram que é possível agrupar efluentes com características semelhantes, possibilitando uma gama maior de alternativas de reuso e adequação dos custos e da complexidade do sistema em função das necessidades de cada planta industrial.

Palavras-chave: reuso; tratamento de efluentes; indústria do pescado; multicritério.

4.1 Introdução

Com a crescente pressão sobre os recursos hídricos, a importância de uma gestão sustentável da água é reconhecida pelas agências reguladoras e institutos de pesquisa por todo o mundo, sendo o reuso de efluentes tratados um componente importante para a sustentabilidade destes sistemas. Neste contexto, um grande número de países tem considerado os sistemas de reuso de água como uma alternativa importante para enfrentar a escassez deste recurso natural (KALBAR et al., 2012b).

Para o caso da indústria de processamento de pescado, em que a água é utilizada em abundância nas diversas etapas de produção (em média 11 m³ por tonelada de peixe processado e 15 m³ por tonelada, no caso do processamento de camarão), a adoção de medidas para a redução dos desperdícios e da produção de efluentes se faz necessária (ANH et al., 2011; MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013; CRISTOVÃO et al., 2015). Nestas circunstâncias, a utilização de sistemas de reuso e reciclo se mostra promissora para atingir tais objetivos, sendo também importante para se alcançar uma gestão sustentável (EPA, 2012).

Em relação aos efluentes provenientes do processamento de pescado, existe ainda a necessidade de tratamentos adicionais, com a integração de diferentes processos, principalmente quando o propósito é a garantia da qualidade e da adequação para o reuso previsto (BARCELÓ et al., 2011; SIMATE et al., 2011; ALCALDE-SANZ & GAWLIK, 2014). Ainda, devido aos critérios específicos das indústrias do setor cárneo, os requisitos se tornam mais rígidos, principalmente para o reciclo direto nos processos de preparação, manuseio e acondicionamento dos alimentos, em que a utilização de água potável é necessária (CHOWDHURY et al., 2010; NORTON & MISIEWICZ, 2012). Contudo, existe a possibilidade da substituição da água potável por efluentes tratados em alguns processos da indústria alimentar, desde que não comprometa a saúde pública (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2001).

Não obstante, a seleção dos efluentes para o reuso, das tecnologias de tratamento para esse fim e das possibilidades de aplicação apresenta-se como uma tarefa complexa, exige uma decisão a ser tomada em função de uma série de critérios e objetivos que são, na maioria das vezes, concorrentes (BRITES, 2008; KALBAR et al., 2012a). Entre os critérios adotados para a seleção dos sistemas de tratamento, a questão-chave ainda é a

seleção da tecnologia adequada para cumprir com as exigências de qualidade a um baixo custo (YI et al., 2011) de implantação e de operação, de acordo com a categoria específica de reuso.

Quando se trata de processos de tomada de decisão para a resolução de problemas ambientais, a escolha decisória torna-se ainda mais desafiadora, uma vez que devem ser considerados os juízos de valor ambiental, social, econômico e político (LAHDELMA et al., 2000; HIDALGO et al., 2007; GARRIDO-BASERBA et al., 2012).

Nesta conjuntura, como forma de embasar os procedimentos de resolução de problemas, tem-se desenvolvido ferramentas metodológicas de apoio à decisão de situações complexas. Dentre estas, apresentam-se os métodos de Análise Multicritério (AMC), que vêm sendo utilizados de forma eficaz em vários projetos de gestão ambiental, tais como: seleção de tecnologias para o tratamento de água e efluentes, dessalinização e gestão dos recursos hídricos (BEINAT, 2001; KIKER et al, 2005).

Com o objetivo de selecionar as tecnologias de tratamento de efluentes mais adequadas para o reuso nas indústrias de processamento de pescado, tanto em atividades menos restritivas quanto em processos que requerem as condições de potabilidade, este trabalho avaliou a influência dos aspectos técnicos, econômicos e ambientais na tomada de decisão dos gestores deste ramo industrial, de forma que a solução proposta consiga atender satisfatoriamente os critérios adotados.

4.2 Análise Multicritério para Seleção de Alternativas de Reuso de Efluentes

4.2.1 O Reuso de Efluentes do Processamento do Pescado

A recuperação de efluentes tratados é uma das alternativas economicamente mais viáveis e sustentáveis para a preservação dos recursos hídricos (LEUNG et al., 2012). Segundo Angelakis & Gikas (2014), adotando-se uma gestão dos recursos hídricos adequada, pode-se obter uma economia de até 30% no consumo total de água em algumas regiões do mundo, incluindo a produção de água de reuso com alta qualidade, a partir do tratamento de efluentes.

Entretanto, o principal desafio na gestão de resíduos ainda encontra-se na seleção da melhor tecnologia disponível, capaz de atender aos requisitos ambientais estabelecidos. Além disso, muitos fatores estão envolvidos no processo de tomada de decisão, porém, os dados disponíveis não abrangem todos os critérios elencados (KALBAR et al., 2012b). Deste modo, o ponto de partida para a construção de uma matriz decisória para escolha de tecnologias de tratamento de efluentes passa pela definição das possibilidades dos tipos de reuso a serem utilizados, os quais estão intrinsecamente vinculados à qualidade das águas residuais geradas.

Como as etapas de processamento de pescado variam de acordo com o porte, a sazonalidade e a produtividade de cada unidade industrial, é possível observar a ocorrência de constantes mudanças nas características dos efluentes gerados por este tipo de indústria (ANH et al., 2011). Outros fatores a serem considerados na produção, que irão influenciar nos tipos e volumes de efluentes, são os tipos de pescados a serem processados e o sistema de abastecimento de água utilizado (CHOWDHURY et al., 2010; ALEXANDRE et al., 2011; CRISTOVÃO et al., 2012). A ocorrência destas variáveis nas condições operacionais dificulta o planejamento para a utilização de um processo de tratamento convencional que seja eficaz para todos os tipos de águas residuais produzidas na unidade industrial (SOUZA, 2010; ABDEL-RAOUF et al. 2012; CRISTOVÃO et al., 2014).

Sabe-se ainda, que os efluentes gerados nestas operações de processamento possuem como característica predominante uma alta carga orgânica e altos níveis de salinidade (ANH et al., 2011; CRISTOVÃO et al., 2014), o que demanda um sistema de tratamento mais eficiente. Como consequência destas características, tem-se o aumento nas quantidades de sólidos totais em suspensão, da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) (CHOWDHURY et al., 2010; CRISTOVÃO et al., 2012).

Sobre as práticas de reuso e/ou reciclo na indústria de processamento de pescado, a falta de legislação específica dificulta e restringe a disseminação destas ações. As legislações e regulamentos ambientais, geralmente, delimitam os parâmetros necessários para a descarga de águas residuais nos corpos hídricos ou, no caso do reuso industrial, se restringe às operações que a água não entre em contato com o produto a

ser processado e com quem os manuseia (OLIVEIRA-ESQUERRE et al., 2011; EPA, 2012).

Na Europa, os países com regulamentos de reuso mais específicos são a Grécia e a Espanha, tendo aplicação em diversas modalidades de reuso. A regulamentação italiana também descreve vários usos urbanos, agrícolas e industriais, porém, o uso industrial só é permitido se não houver contato direto com alimentos (ALCALDE-SANZ & GAWLIK, 2014).

Nos Estados Unidos, os regulamentos são desenvolvidos em função dos critérios de cada estado. Estados como Arizona, Califórnia, Flórida e Washington têm desenvolvido regulamentos ou orientações que incentivam o reuso da água como uma estratégia de conservação dos recursos hídricos (EPA, 2012).

No caso da Austrália, as Diretrizes para Reciclagem de Água foram desenvolvidas baseadas pelos princípios da Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), privilegiando a gestão da saúde e dos riscos ambientais; o aumento do abastecimento de água potável; a coleta de águas pluviais e seu reuso; e a recarga controlada de aquíferos (NSW/FA, 2008; RADCLIFFE, 2015)

No âmbito do Brasil, a NBR 13.969 (ABNT, 1997) define alguns critérios de classificação da água para reuso que não necessitem atender os parâmetros de potabilidade. Estes critérios são baseados no grau de tratamento para uso múltiplo de efluente gerado, sendo definido pelo uso mais restrito quanto à qualidade de esgoto tratado. Não obstante, conforme o volume estimado para os tipos de usos, esta norma possibilita a previsão de graus progressivos de tratamento, desde que sejam utilizados sistemas distintos de reservação e de distribuição.

Apesar desta norma não estabelecer procedimentos para o reuso potável, pode-se supor que por meio de processos separados por etapa de produção (em função da quantidade e qualidade dos efluentes) e/ou progressivos de tratamento das águas residuais pode-se conseguir o reuso em áreas industriais mais restritivas, como é o caso da indústria processadora de pescado.

De modo que, para a escolha da tecnologia mais adequada para o tratamento de efluentes da indústria de processamento de pescado, é necessária a definição da

destinação que se pretende, seja para a descarga nos mananciais, seja para a aplicação em sistemas de reuso e/ou reciclo. Tendo como base as legislações correlatas, podem-se relacionar as tecnologias disponíveis com os níveis de remoção requeridos.

4.2.2 A Análise Multicritério e a Escolha de Alternativas de Reuso

A partir da década de 90, os modelos de Gestão de Resíduos Sólidos (que incluem as tecnologias de tratamentos de efluentes) começaram a considerar que a complexidade é intrínseca aos problemas de decisão neste escopo, provocando assim a proposição de algumas aplicações de AMC (BOTTERO et al., 2011).

A análise de decisão multicritério é uma forma estruturada para a resolução de problemas caracterizados por objetivos e critérios complexos, onde a tomada de decisão baseia-se na análise de várias opções de solução, as quais são classificadas com base em pesos pré-estabelecidos (BOTTERO et al., 2011; CHEN et al, 2012; KALBAR et al., 2012b). Além disso, quando se trata da comparação valorativa de projetos e políticas públicas, a AMC mostra-se adequada, uma vez que identifica as ações mais eficazes e as que devem ser modificadas. Desta forma, a utilização destas ferramentas pode aumentar a transparência e a objetividade dos gestores quanto aos seus critérios para tomada de decisão, uma vez que os processos decisórios são construídos de forma coletiva, através de escolhas consensuais (JANNUZZI et al., 2009).

Entretanto, destaca-se que o número máximo de alternativas deve ser limitado, uma vez que este método realiza comparações par a par, o que pode levar a um elevado número de julgamentos. Além disso, deve-se considerar que para a escolha do sistema de tratamento mais adequado, a decisão irá depender de vários critérios e objetivos, que na maioria das vezes são concorrentes. Em função destas peculiaridades, Malinowski (2006) recomenda que o número máximo de alternativas fosse de nove.

Assim sendo, a AMC pode se apresentar como uma ferramenta capaz de avaliar as tecnologias de tratamento de efluentes para aplicações em projetos de reuso, tanto em função da qualidade do efluente gerado, como também considerando indicadores técnicos, econômicas e sociais.

A exemplo, aplicando processos de AMC para a avaliação de sistemas de tratamento de efluentes para indústrias do ramo alimentício, Bottero et al. (2011) concluíram que, segundo os gestores responsáveis pela tomada de decisão, os aspectos econômicos para a implantação e operação dos sistemas são os de maior importância (com 47% das respostas), seguidos pelos aspectos ambientais (43%) e pelos aspectos tecnológicos (10%).

Também foi empregado para o desenvolvimento de metodologias para a concepção de processos em estações de tratamento de esgotos, como realizado por Garrido-Baserba et al. (2012), que avaliaram diferentes tecnologias de tratamento de efluentes. Os métodos propostos tiveram como base a especificação das principais características das tecnologias de tratamento, a eficiência de remoção de poluentes, os custos operacionais e a confiabilidade técnica.

Estudos com o objetivo de selecionar sistemas de reuso de efluentes em irrigação paisagística, conduzidos por Brites (2008), também empregaram a AMC. Dentre os tratamentos analisados, a filtração seguida de desinfecção com utilização de cloro apresentou o melhor desempenho para os critérios elencados. Outros estudos foram realizados para a avaliação de tecnologias de tratamento biológico utilizando AMC. Kalbaret al. (2012b) identificaram que os bio-reatores com membrana foram a alternativa mais adequada para o reuso de efluentes em edifícios altos, pois possuem menor exigência de área e mão-de-obra, além de maior confiabilidade e qualidade do efluente.

A AMC também foi empregada por Sadr et al. (2013), para selecionar as tecnologias de tratamento de efluentes mais adequadas para o reuso na agricultura e para o reuso potável indireto. Foram analisadas oito tecnologias de tratamento baseadas na utilização de membranas, sendo o tratamento primário químico seguido de ultrafiltração e osmose reversa o que apresentou o melhor resultado, considerando os critérios utilizados.

Dentre as diversas técnicas de AMC, os modelos compensatórios são os que permitem alcançar resultados mais próximos do que seria o resultado ideal, uma vez que, são mais exigentes na avaliação das vantagens e desvantagens de cada atributo. Estes modelos podem ser divididos em três subgrupos: (i) modelos de pontuação (como

o de ponderação aditiva simples); (ii) modelos de compromisso (como o TOPSIS); e (iii) modelos de concordância (como o ELECTRE e o PROMETHEE) (KALBAR et al., 2012a).

Ressalta-se, porém, que estes métodos permitem a existência de mais de uma alternativa viável, dentro de uma hierarquização decrescente de preferência, possibilitando a seleção das soluções com melhor desempenho global dentro do conjunto dos critérios adotados, facilitando assim, a implantação dos sistemas em função dos recursos financeiros necessários para cada planta industrial.

4.3 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho foram elencados sistemas de tratamento utilizados para efluentes da indústria do pescado, tomando como base o estudo realizado por Ribeiro & Naval (2016) (Tabela 7), adotando-se como critério para a seleção os níveis de remoção alcançados, que atendessem às normativas para reuso de efluentes na indústria. Foram ainda, admitidos cinco cenários diferentes de reuso de efluentes tratados, na indústria: reuso nas instalações hidrossanitárias da área administrativa da indústria; na lavagem de piso; irrigação de jardins; em sistemas de refrigeração e aquecimento; e nas atividades de processamento de pescado.

Tabela 7 – Níveis de remoção de poluentes de efluentes das indústrias do processamento de pescado em função das tecnologias de tratamento utilizadas

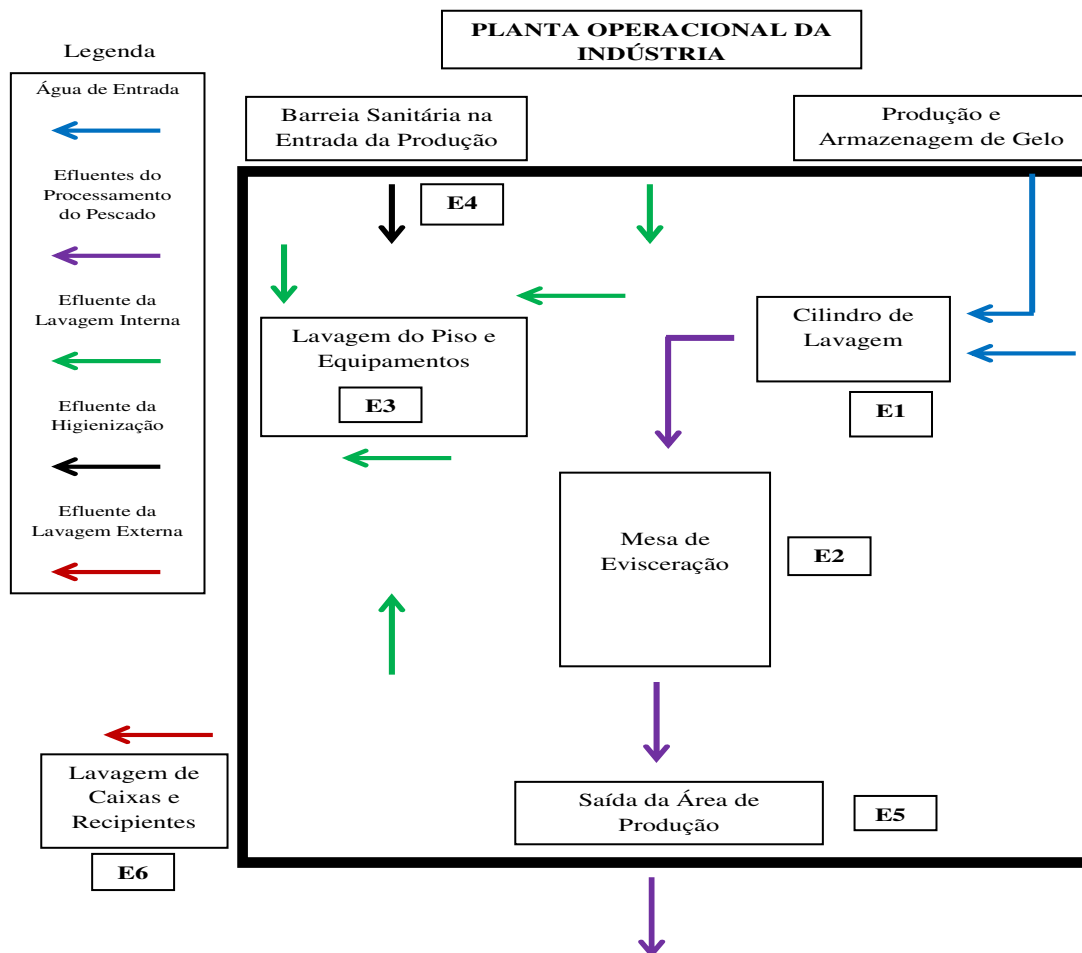
Tratamento	Parâmetros	Remoção	Referência
Coagulação/Floculação com FeCl ₃	SST DBO DQO Óleos e Graxas	95,4% 89,3% 87,5% 92%	Fahim et al. (2001)
Bioreator Rotativo	DQO	98%	Najafpour et al. (2006)
Reator misto descontínuo e Reator de filtro compacto	Ntotal Carbono Orgânico Dissolvido	99,9% 88%	Huiliñir et al. (2012)
Bioreator e Ultrafiltração por membranas	DQO	92%	Artiga et al. (2008)
Bioreator; Coagulação/floculação/sedimentação; Microfiltração por membranas	DQO Sólidos Dissolvidos Ntotal Ptotal	100% 100% 93% 100%	Queiroz et al. (2013)
Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV	Carbono Orgânico Dissolvido Óleos e Graxas SST Ânions e Cátions Bactérias Heterotróficas	99,9% 99,8% 98,4% 96% 100%	Cristovão et al. (2015)

Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (Ntotal), Fósforo Total (Ptotal).

4.3.1 Caracterização dos Efluentes do Processamento do Pescado

As coletas das amostras dos efluentes foram realizadas em uma indústria de processamento de pescado, na região norte do Brasil, com periodicidade mensal, por um período de 11 meses. Os pontos de coleta destas amostras foram determinados em função dos fluxos de consumo de água e geração de efluentes em cada etapa do processamento (Figura 1): E1 - saída do cilindro de lavagem do pescado; E2 - saída da mesa de evisceração; E3 - lavagem do piso interno e dos equipamentos; E4 - barreira sanitária na entrada da produção; E5 - saída final da produção; E6 – lavagem dos monoblocos de acondicionamento do pescado.

Figura 1 – Processos industriais utilizados na indústria em estudo com representação do fluxo dos efluentes.



A caracterização física e química destas amostras foi realizada seguindo os procedimentos de ensaio da APHA/AWWA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), para os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

O pH e a condutividade foram medidos empregando-se um medidor de pH e condutímetro portáteis, respectivamente, ambos da marca Oakton (modelo 600 series). O oxigênio dissolvido foi determinado com um oxímetro da marca Hanna Instruments (modelo HI 9000 series) e a turbidez com um turbidímetro da marca Tecnonon (modelo TB 1000).

Os nutrientes, metais e dureza foram determinados através do espectrofotômetro da marca HACH (modelo DR4000). Para a determinação dos coliformes totais foi

utilizado o método colorimétrico (Collilert). Os sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais foram determinados por técnicas gravimétricas e os óleos e graxas pela extração por solvente. A DBO_5 foi determinada pelo método de diluição e incubação por 5 dias a 20°C, e a DQO foi determinada pela técnica de refluxo com dicromato de potássio.

4.3.2 Análise Estatística

Para o tratamento estatístico foram utilizadas as seguintes ferramentas: teste de normalidade; delineamento inteiramente casualizado com análise de variância (ANOVA), e testes de comparação de médias. Foram analisados seis tratamentos com 11 repetições, com o auxílio dos programas Assistat versão 7.7 (2015). Para avaliar a significância estatística das correlações realizadas, os valores foram comparados com um coeficiente crítico com grau de significância de 5%.

4.3.3 Análise Multicritério

Inicialmente, como ferramentas para a AMC, foram testados os programas Visual PROMETHEE 1.4 (2013), software de implementação tanto do método PROMETHEE, como do método GAIA; e o programa ELECTRE III-IV v. 1.3 (1994), software de implementação dos métodos ELECTRE III e IV. Levando em consideração que os resultados finais não apresentaram diferenças na classificação dos sistemas de tratamento para reuso, optou-se pela análise detalhada apenas dos dados fornecidos pelos métodos PROMETHEE e GAIA, em função da melhor interface gerada e maior possibilidade de correlações.

Os critérios identificados para a escolha da tecnologia mais adequada para o tratamento de efluentes das indústrias de processamento de pescado foram delineados considerando os aspectos econômicos, tecnológicos e ambientais (Tabela 8).

Tabela 8 – Critérios utilizados para a tomada de decisão

Aspecto	Critério
Econômico	Custo de Construção (CC)
	Custo de Operação e Manutenção (CO&M)
Tecnológico	Capacidade de Remoção de Poluentes (CRP)
	Complexidade do Sistema (COMP)
	MO Especializada (MOE)
Ambiental	Potabilidade (PO)
	Consumo de Energia (CE)
	Odores (OD)

Como o objetivo é escolher um sistema de tratamento eficiente e com relação custo-benefício adequada, definiu-se que os critérios de maior impacto econômico e ambiental devem ter importância e peso maior na análise (de forma similar aos estudos de Bottero et al. (2011)), como é o caso da potabilidade, dos custos de implantação e da eficiência de remoção, enquanto que os custos de operação e manutenção devem ter uma importância intermediária, seguidos pelos demais critérios em ordem de importância, conforme Tabela 9. Nos casos em que o critério de potabilidade não foi necessário na tomada de decisão, o seu peso foi redistribuído, priorizando os critérios de custos e de eficiência de remoção.

Para testar os pesos adotados e garantir que suas escolhas não iriam direcionar os resultados das classificações dos sistemas de tratamento, foram utilizadas sequências de números aleatórios (uniforme) para cada cenário, gerados a partir do random.org, onde a aleatoriedade é obtida por ruído atmosférico. A utilização destas sequências no programa PROMETHEE 1.4 (2013) demonstrou que as dificuldades intrínsecas, normalmente geradas pela utilização de variáveis subjetivas, não comprometem o resultado final no processo de classificação das alternativas, possibilitando as correlações entre as variáveis e os componentes.

Tabela 9 – Pesos atribuídos para os critérios adotados nos diferentes cenários de reuso de efluentes da indústria de processamento de pescado

Custo Construção	Custo Operação	Remoção de Poluentes	Complexidade do Sistema	MO Especializada	Consumo Energia	Odor	Potabilidade
Sistema de Reuso para Potabilidade							
19,03	14,29	19,82	5,08	4,86	8,47	5,24	23,21
Sistema de Reuso para Refrigeração Industrial							
24,42	19,83	22,06	7,41	8,28	12,94	5,06	-
Sistema de Reuso para Instalações Sanitárias							
20,56	17,08	21,67	10,90	10,12	7,09	12,58	-
Sistema de Reuso para Limpeza de Pisos e Calçadas							
21,12	19,30	20,69	11,07	7,72	7,31	12,83	-

Os valores nominais adotados para os critérios (quantitativos e qualitativos) neste trabalho foram embasados nas premissas descritas por Garrido-Baserba (2012) ao descreverem a metodologia baseada no conhecimento, onde as entrevistas com especialistas, o compêndio da literatura especializada e as experiência de engenharia são incorporados aos diferentes níveis de abstração.

Desta forma, para os critérios CC, CO&M e CE foram adotadas as referências Gorioitía (2011), Martins (2013), Lermontov et al. (2011) e Cristovão et al. (2015); para o critério CRP foram adotados os valores da Tabela 7; e para os critérios COMP, MOE e OD utilizou-se da experiência dos autores.

4.3.4 Avaliação do Potencial de Reuso e/ou Reciclo dos Efluentes

Como parâmetros de referência para análise dos resultados das principais características dos efluentes para as possibilidades de reuso e/ou reciclo, foram consideradas as seguintes recomendações (Tabela 10): EPA (2012); Real Decreto 1.620 da Espanha (ESPAÑA, 2007); Decreto-Lei 306 de Portugal (PORTUGAL, 2007);

Decisão Ministerial Conjunta da Grécia JMD 145116 (GREECE, 2011); Regulamento Australiano (NSW/FA, 2008); NBR 13.969 (ABNT, 1997) e Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Tabela 10 – Valores limites dos parâmetros para reuso industrial de efluentes tratados, segundo as principais normativas nacionais e internacionais sobre o tema.

Parâmetro	EPA	Espanha	Portugal	Grécia	Austrália	Brasil	Brasil (Potabilidade)
Parâmetros físico-químicos							
Ph	6 - 9	6 – 8,5	6,5 – 9	-	6,5 – 8,5	6 – 8	6 – 9
SST (mg.L ⁻¹)	30	5 – 35	-	2 - 35	-	-	-
SDTotais (mg.L ⁻¹)	-	-	-	2.000	-	-	1.000
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	30	-	-	10 - 25	<10	-	-
Ntotal (mg.L ⁻¹)	-	-	50	30	-	-	-
Ptotal (mg.L ⁻¹)	-	-	-	1 - 2	-	-	-
Cloretos Totais (mg.L ⁻¹)	-	-	250	350	-	-	250
Turbidez (uT)	2– 2,5	1 – 15	4	2 – sem limite	<5	<5	5
Parâmetros microbiológicos							
Coliformes Totais (NMP/100mL)	200	-	0	2	-	<200	Ausência
Nematoides intestinais (ovos/L)	-	0,1	-	-	-	-	-
Escherichia Coli (NMP/100mL)	-	0-10 ⁴	0	250-10 ⁵	Não detectado	-	-

Fontes: EPA (2012); Real Decreto 1.620 da Espanha (ESPAÑA, 2007); Decreto-Lei 306 de Portugal (PORTUGAL, 2007); Decisão Ministerial conjunta 14.5116 (GREECE, 2011); Regulamento Australiano (NSW/FA, 2008); NBR 13969 (ABNT, 1997); Portaria MS Nº 2.914 (BRASIL, 2011).

4.4 Resultados e Discussões

4.4.1 Análise das Características dos Efluentes do Processamento do Pescado

Quando se considera os parâmetros utilizados nas principais normativas de reuso, os resultados da caracterização dos efluentes mostraram-se condizentes com os

encontrados na literatura (RIAÑO et al., 2011; QUEIROZ et al., 2013; MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013; CRISTOVÃO et al., 2015), exceção feita ao pH e aos óleos e graxas, que apresentaram uma maior variação. Além disso, pode-se verificar que as características destes efluentes não são uniformes, apresentando grande variabilidade.

Observando-se os resultados após a análise estatística, também é possível considerar o agrupamento de algumas correntes para fins de tratamento e reuso, uma vez que existe similaridade das características destes pares, sendo estatisticamente iguais. De maneira que se vislumbra a possibilidade de segregação dos efluentes permitindo uma maior gama de aplicações de reuso, além de economia de água e energia.

Outro aspecto a ser ressaltado é o de que, neste contexto, a indústria pode optar pela utilização de uma tecnologia de menor custo para o tratamento de seus efluentes quando a opção de reuso adotada for menos restritiva, conforme preconiza alguns regulamentos sobre o reuso de água (como o regulamento americano (EPA, 2012) e a NBR 13.969 (ABNT, 1997)); ou então, pela utilização de tecnologias mais avançadas (como a osmose reversa e os tratamentos de desinfecção), quando o objetivo seja a potabilidade para o reciclo.

Desta forma, ao se otimizar o modo como as indústrias tratam os seus efluentes, pode-se obter uma redução dos custos operacionais da planta, além de minimizar a geração e o volume de efluentes gerados, sem sacrificar o valor ou a qualidade do produto (EPA, 2013).

Com relação ao atendimento às normativas para o reuso industrial referenciadas na Tabela 9, com exceção do pH, nenhum dos efluentes brutos analisados se enquadram nos limites preconizados. Contudo, para que os mesmos atendam as normativas para o reuso industrial e para a potabilidade, sistemas conjuntos de tratamentos avançados são necessários, conforme Tabela 11, uma vez que estas tecnologias são capazes de reduzir os parâmetros estabelecidos.

Tabela 11 – Sistemas de tratamento de efluentes das indústrias do processamento de pescado adotados como possibilidade de reuso potável.

Tratamento	Parâmetros	Remoção	Referência
Coagulação/Floculação com FeCl ₃ (Coag/Floc)	SST	95,4%	Fahim et al. (2001)
	DBO	89,3%	
	DQO	87,5%	
	Óleos e Graxas	92%	
Bioreator e Ultrafiltração por membranas (Bio+Memb)	DQO	92%	Artiga et al. (2008)
Bioreator; Coagulação/floculação/sedimentação; Microfiltração por membranas (Bio+Coag/floc/sed+Memb)	DQO	100%	Queiroz et al. (2013)
	Sólidos Dissolvidos	100%	
	Ntotal	93%	
	Ptotal	100%	
Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV (Sed/Flot+Coag/floc+LodoAt+Filtr+OsmRev+UV)	Carbono Orgânico Dissolvido	99,9%	Cristovão et al. (2015)
	Óleos e Graxas	99,8%	
	SST	98,4%	
	Ânions e Cátions	96%	
	Bactérias Heterotróficas		
		100%	

Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (Ntotal), Fósforo Total (Ptotal).

4.4.2 Análise Multicritério na Escolha dos Sistemas de Tratamento de Efluentes para Reuso Industrial

4.4.2.1 Sistemas de Tratamento para a Potabilidade

A partir dos resultados de caracterização dos efluentes e dos requisitos do critério PO (Portaria MS Nº 2.914 (BRASIL, 2011)), pode-se avaliar o potencial de

reuso dos efluentes das indústrias de processamento de pescado nas atividades mais restritivas, como as de preparação, manuseio e acondicionamento do pescado.

Todavia, a escolha das tecnologias de tratamento que melhor se adequa a realidade de cada indústria não depende exclusivamente do nível de remoção a ser conseguido, uma vez que outros critérios técnicos, econômicos e ambientais também influenciam na tomada de decisão. Desta maneira a AMC pode subsidiar a escolha da tecnologia que satisfaça o maior número possível de critérios (objetivos e subjetivos), considerando aspectos concorrentes na decisão dos gestores destes tipos de estabelecimentos.

Não obstante, para o cenário do reuso nas atividades de processamento de pescado, o critério de potabilidade foi considerado como sendo o de maior importância relativa, com uma valoração de peso maior que os demais, em função do aspecto restritivo para esta aplicação. Os demais critérios seguiram a lógica proposta por Bottero et al. (2011).

Dentre as alternativas de sistemas de tratamento de efluentes para a indústria de processamento de pescado (Tabela 7), foram escolhidas as tecnologias que apresentaram os maiores níveis de remoção (Tabela 11), capazes de produzir águas de reuso com maior qualidade.

Para os critérios CC, CO&M e CE foram adotadas as referências Gorigoitía (2011), Martins (2013), Lermontov et al. (2011) e Cristovão et al. (2015); para o critério CRP foram adotados os valores da Tabela 11; e para os critérios COMP, MOE e OD utilizou-se da experiência dos autores.

Após o processamento dos dados pelo programa de AMC utilizado, pode-se afirmar que a alternativa que melhor atende aos critérios elencados para a ponderação de importância adotada é a do sistema de tratamento de efluentes Bio+Coag/floc/sed+Memb, proposto por Queiroz et al. (2013), seguido do sistema Sed/Flot+Coag/floc+LodoAt+Filtr+OsmRev+UV proposto por Cristovão et al. (2015), conforme Tabela 12.

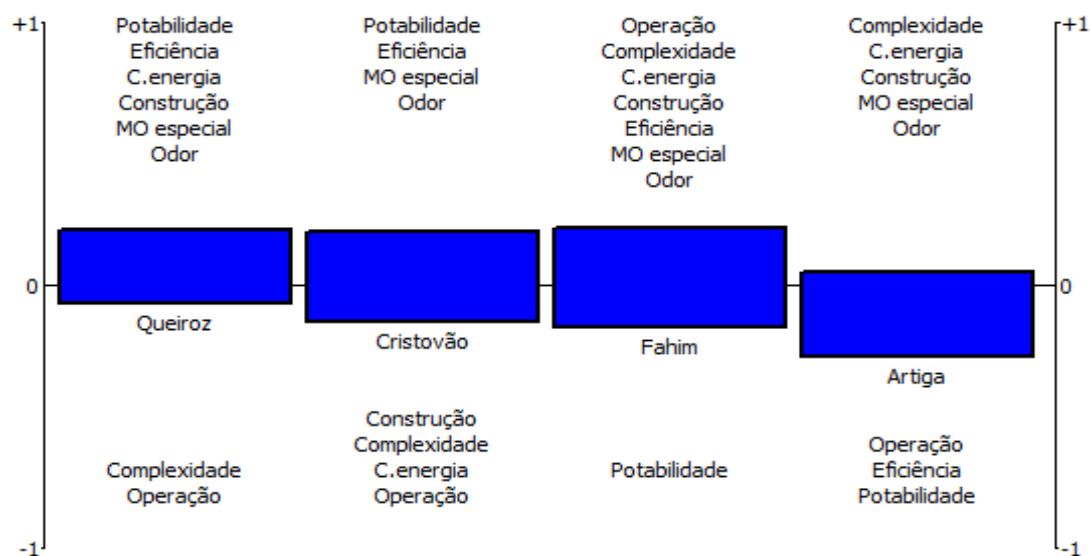
Tabela 12 – Valores absolutos de consistência dos critérios adotados e ranking das alternativas propostas para potabilidade.

Rank	Alternativa	Peso Critério	Peso Critério +	Peso Critério -
1	Bioreator; Coagulação/floculação/sedimentação; Microfiltração por membranas (Queiroz et al., 2013)	0,1302	0,1948	0,0646
2	Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV (Cristovão et al., 2015)	0,0516	0,1877	0,1362
3	Coagulação/Floculação com FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0,0466	0,2013	0,1547
4	Bioreator e Ultrafiltração por membranas (Artiga et al., 2008)	-0,2283	0,0385	0,2668

Contudo, os sistemas propostos por Fahim et al. (2001) e Artiga et al. (2008) - Bio+Memb - não garantem a potabilidade do efluente tratado, sendo este um fator limitante para o reuso do efluente final. Deste modo, estas alternativas devem ser consideradas apenas para o reuso dos efluentes E4 (barreira sanitária na entrada da produção) e E6 (lavagem dos monoblocos).

A razão da alternativa proposta por Queiroz et al. (2013) (Bio+Coag/floc/sed+Memb) ter tido o melhor desempenho global, justifica-se pelo melhor atendimento aos critérios de maior relevância, tendo um comportamento indesejado apenas no critério COMP (Figura 2). Porém, cabe destacar que a alternativa Coag/Floc (Fahim et al., 2001) só teve um desempenho insatisfatório no critério PO, o que inviabilizou a sua utilização para o reciclo na indústria de processamento de pescado.

Figura 2 – Comportamento das alternativas de tratamento de efluentes em função dos critérios adotados.

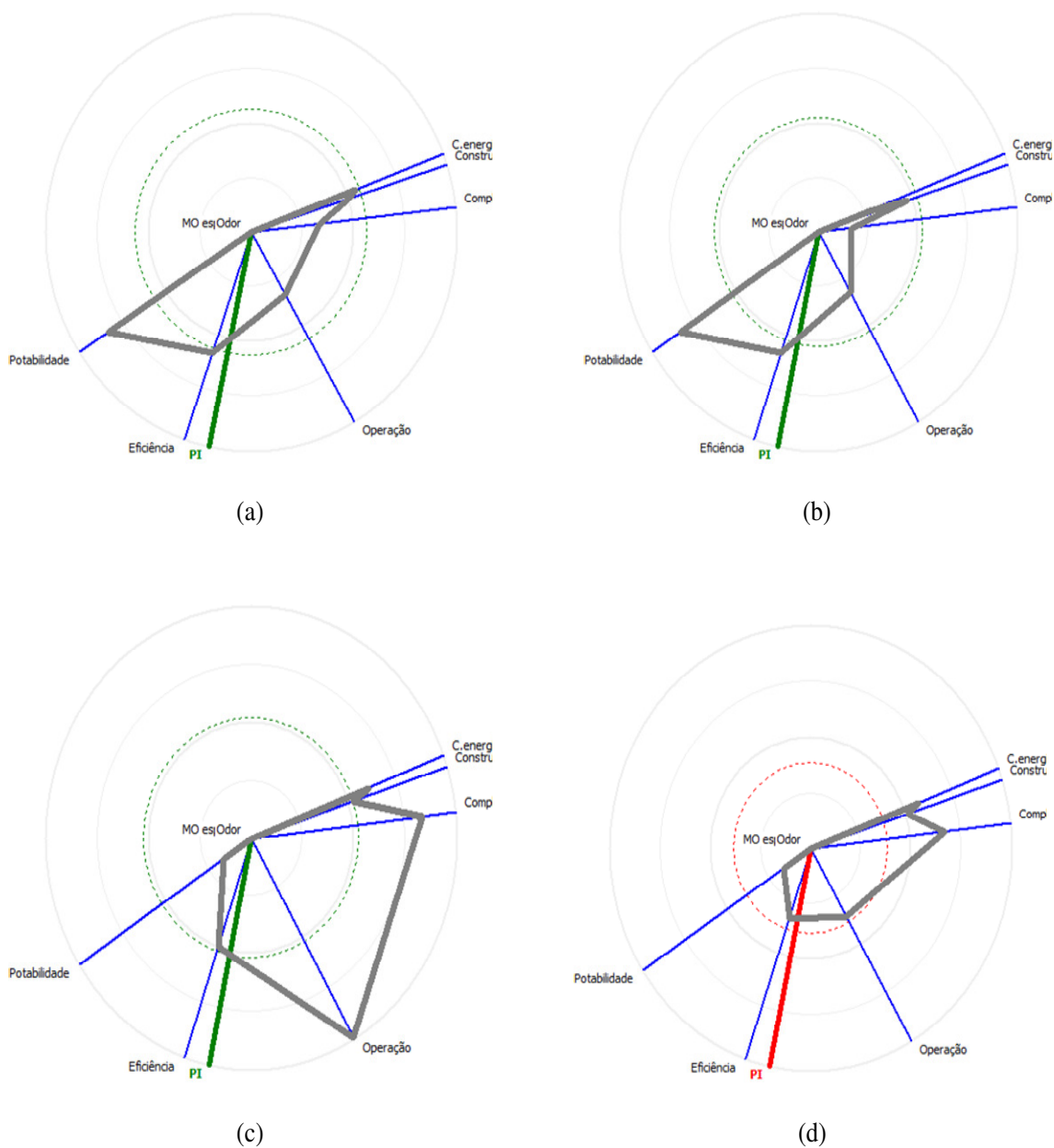


Como forma de melhor visualizar a influência dos critérios e dos pesos adotados na formação da hierarquização das alternativas de sistemas de tratamento, foram elaborados gráficos de redes.

Na Figura 3 é possível observar que os critérios que mais pesaram positivamente para o desempenho das alternativas propostas por Queiroz et al. (2013) e Cristovão et al. (2015) foram os de PO e CRP. Já para Fahim et al. (2001) foram os critérios CO&M, COMP e CRP, e para Artiga et al. (2008) os critérios COMP, CE e CC.

Todavia, deve-se destacar que a decisão para a implementação de sistemas de reuso também deve levar em consideração a escala a ser aplicada, visto que plantas industriais de grande porte podem gerar benefícios tanto ambientais quanto econômicos, mesmo quando utilizados sistemas de custos de implantação mais elevados, uma vez que estes permitem a redução do efluente a ser descartado e o consumo de água, diminuindo assim os custos associados.

Figura 3 – Gráficos em rede com os comportamentos das alternativas de Queiroz et al. (2013) - Bio+Coag/floc/sed+Memb (a), Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot+Coag/floc+LodoAt+Filtr+OsmRev+UV (b), Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (c) e Artiga et al. (2008) - Bio+Memb (d), com os respectivos eixos de decisão.



Os gráficos em rede também demonstram que os critérios que mais influenciaram nos eixos decisórios foram os de eficiência de remoção de poluentes (CRP) e de potabilidade (PO).

4.4.2.2 Escolha de Sistema de Tratamento para o Reuso na Refrigeração Industrial

A água utilizada para a refrigeração nas indústrias está entre as categorias de maior consumo dentro de uma planta industrial. As exigências de qualidade da água para estes fins são mais brandas, possibilitando a utilização de sistemas de tratamento com menos estágios e possibilidades mais simples de combinação (CHEN et al., 2012; HANSEN et al., 2016).

Quando o cenário de reuso prioriza as atividades menos restritivas, os requisitos de potabilidade não precisam ser considerados. Com isso, a valoração dos pesos deve apresentar uma redistribuição de importância, priorizando-se assim os critérios CC, CO&M e CRP.

Como alternativas de sistemas de tratamento de efluentes para a indústria de processamento de pescado e delimitações dos critérios adotados, foram seguidas as mesmas premissas da seção de potabilidade.

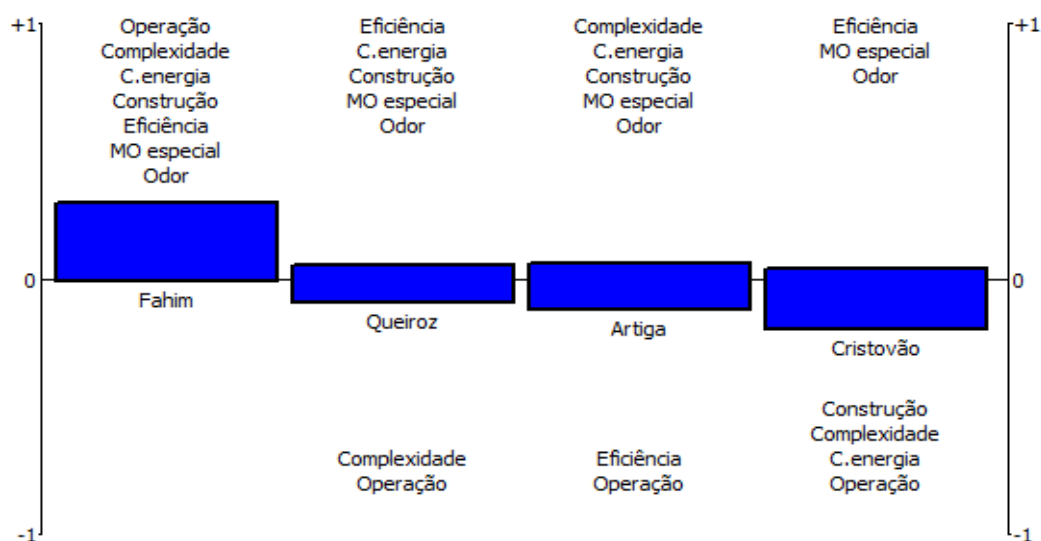
Após o processamento dos dados pelo programa de AMC utilizado, pode-se afirmar que a alternativa que melhor atende aos critérios elencados, para a ponderação de importância adotada é a do sistema de tratamento de efluentes proposto por Fahim et al. (2001), seguido dos sistemas propostos por Queiroz et al. (2013), Artiga et al. (2008) e Cristovão et al. (2015) (Tabela 13).

Tabela 13 – Valores absolutos de consistências dos critérios adotados e ranking das alternativas propostas para reuso em refrigeração industrial.

Rank	Alternativa	Peso Critério	Peso Critério +	Peso Critério -
1	Coagulação/Floculação com FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0,2834	0,2834	0,0000
2	Bioreator; Coagulação/floculação/sedimentação; Microfiltração por membranas (Queiroz et al., 2013)	-0,0555	0,0353	0,0908
3	Bioreator e Ultrafiltração por membranas (Artiga et al., 2008)	-0,0571	0,0559	0,1130
4	Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV (Cristovão et al., 2015)	-0,1708	0,0245	0,1953

A razão da alternativa Coag/Floc (Fahim et al., 2001) ter tido o melhor desempenho global, justifica-se pelo melhor atendimento aos critérios de maior relevância, apresentando também um comportamento adequado em todos os critérios (Figura 4).

Figura 4 – Comportamento das alternativas de tratamento de efluentes em função dos critérios adotados.

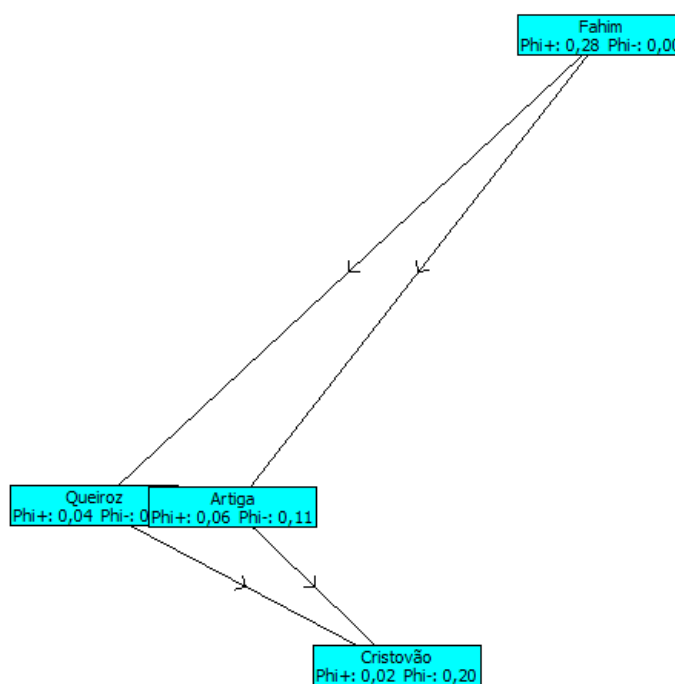


No entanto, conforme a Tabela 14 e a Figura 5, as alternativas propostas por Queiroz et al. (2013) e Artiga et al. (2008) não apresentam diferença estatística significativa podendo optar-se por aquela que apresenta a melhor relação custo-benefício.

Tabela 14 – Valores de desempenho da pontuação agregada das alternativas propostas para reuso em refrigeração industrial.

Rank	Alternativa	Input	Output	Relação O/I	Pontuação
1	Coagulação/Floculação com FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0,2834	0,2834	1,7908	96,79
2	Bioreator; Coagulação/floculação/sedimentação; Microfiltração por membranas (Queiroz et al., 2013)	-0,0555	0,0555	0,8948	48,37
3	Bioreator e Ultrafiltração por membranas (Artiga et al., 2008)	-0,0571	0,0571	0,8920	48,21
4	Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV (Cristovão et al., 2015)	-0,1708	0,1708	0,7082	38,28

Figura 5 – Diagrama de distribuição das alternativas de tratamento de efluentes.

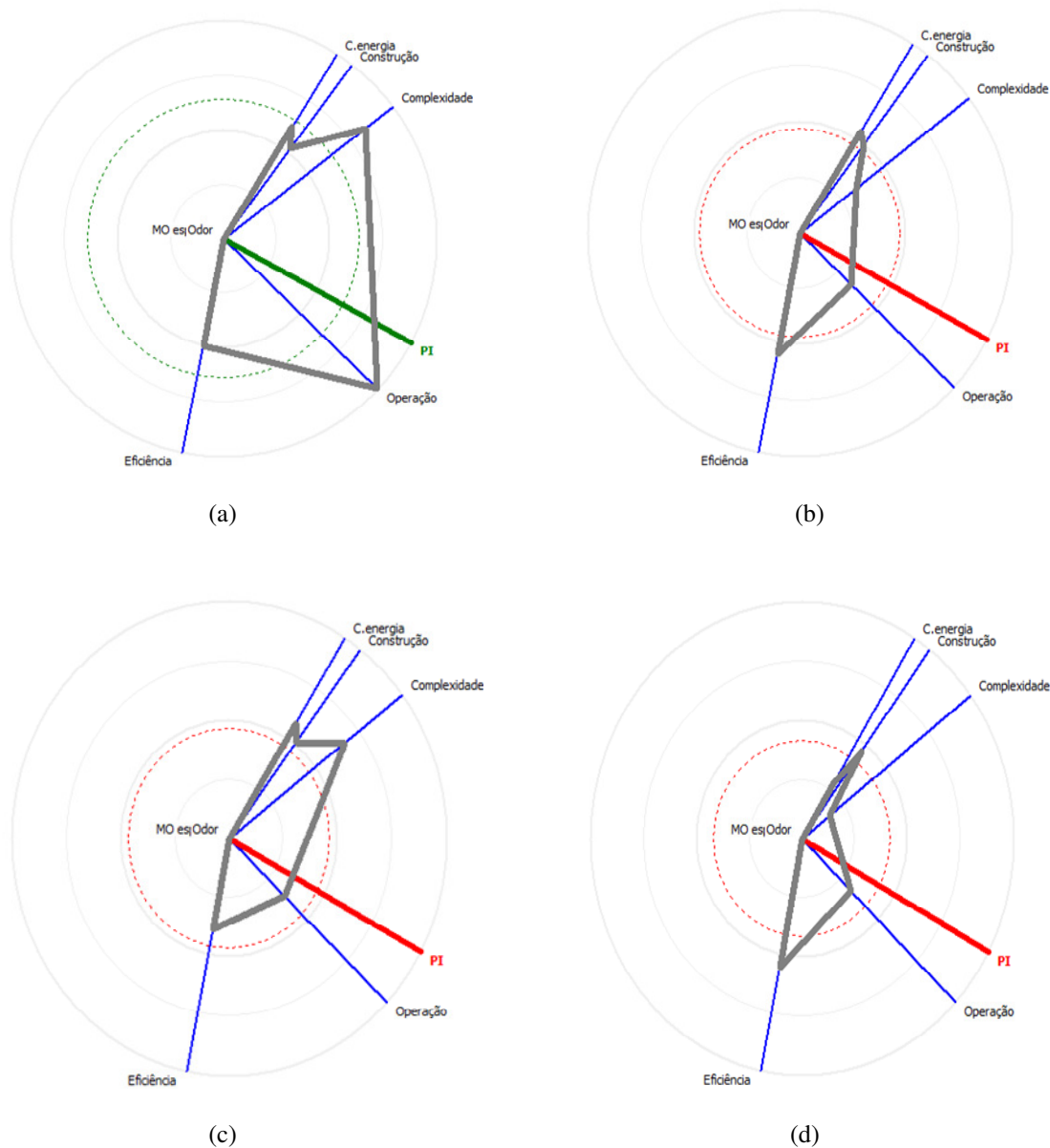


Ao se analisar os gráficos de redes da Figura 6 é possível observar que os critérios que mais pesaram positivamente para o desempenho da alternativa proposta por Fahim et al. (2001) foram os de CO&M, COMP e CE. Já para Queiroz et al. (2013) foram os critérios CRP e CE; para Artiga et al. (2008) foram os critérios COMP, CE e CC; e para e Cristovão et al. (2015) foi o critério de CRP.

Os gráficos em rede também demonstram que os critérios que mais influenciaram nos eixos decisórios foram os de custo de operação e manutenção (CO&M) e de complexidade (COMP).

Contudo, deve-se ressaltar que, apesar do sistema proposto por Fahim et al. (2001) apresentar índices de remoção de sólidos suspensos totais acima de 95%, pode-se requerer, em alguns casos, a utilização conjunta de tecnologias de tratamento com utilização de separação por membranas, em função da variabilidade sazonal das características do efluente. A utilização destes sistemas é apropriada para remover os altos índices de salinidade deste tipo de efluente, permitindo assim uma grande redução da carga orgânica (KUCA & SZANIAWSKA, 2009). Neste contexto, a alternativa proposta por Queiroz et al. (2013) pode se tornar mais adequada para o reuso em sistemas de refrigeração industrial, principalmente nos casos de plantas industriais com vários tipos de processamento.

Figura 6 – Gráficos em rede com os comportamentos das alternativas de Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (a); Queiroz et al. (2013) - Bio+Coag/floc/sed+Memb (b); Artiga et al. (2008) - Bio+Memb (c) e Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot+Coag/floc+LodoAt+Filtr+OsmRev+UV e Coag/Floc (d), com os respectivos eixos de decisão.



Não obstante, cabe destacar que os critérios econômicos influenciaram negativamente o desempenho da alternativa proposta por Cristovão et al. (2015), confirmando que, nem sempre, o sistema que apresenta a tecnologia mais avançada deverá ser o selecionado para todas as opções de cenários avaliados.

4.4.2.3 Escolha de Sistemas de Tratamento para o Reuso para Instalações Sanitárias

Para o cenário de reuso em instalações hidro-sanitárias na própria indústria de processamento de pescado, também pode-se suprimir o critério de potabilidade, uma vez que a atividade é menos restritiva. Com isso, para a valoração dos pesos, foi realizada uma redistribuição de importância, priorizando-se os critérios CC, CO&M e CRP.

Após o processamento dos dados pelo programa de AMC utilizado, pode-se afirmar que a alternativa que melhor atende aos critérios elencados, para a ponderação de importância adotada é a do sistema de tratamento de efluentes proposto por Fahim et al. (2001), seguido dos sistemas propostos por Artiga et al. (2008), Queiroz et al. (2013) e Cristovão et al. (2015) (Tabela 15).

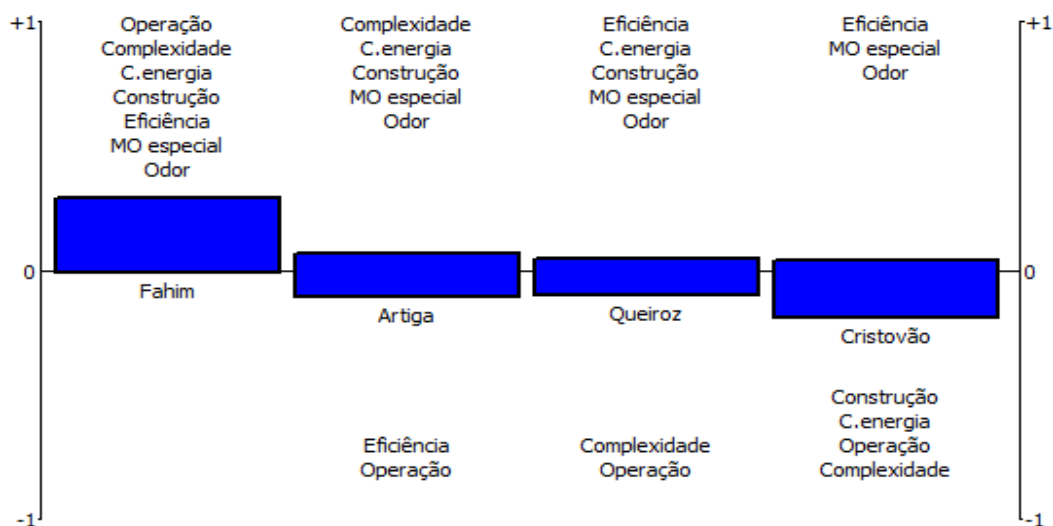
Tabela 15 – Valores absolutos de consistências dos critérios adotados e ranking das alternativas propostas para reuso em instalações hidro-sanitárias.

Rank	Alternativa	Peso Critério	Peso Critério +	Peso Critério -
1	Coagulação/Floculação com FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0,2619	0,2619	0,0000
2	Bioreator e Ultrafiltração por membranas (Artiga et al., 2008)	-0,0493	0,0548	0,1041
3	Bioreator; Coagulação/floculação/sedimentação; Microfiltração por membranas (Queiroz et al., 2013)	-0,0611	0,0302	0,0913
4	Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV (Cristovão et al., 2015)	-0,1515	0,0243	0,1758

A alternativa Coag/Floc (Fahim et al., 2001) teve o melhor desempenho global, justificando-se pelo melhor atendimento aos critérios de maior relevância, sendo apresentada valoração positiva para todos os critérios analisados (Figura 7). Além disso, os processos de coagulação/floculação já são comumente utilizados na maioria das indústrias de processamento de pescado (CRISTOVÃO et al., 2015), devido a elevada

capacidade de redução de partículas suspensas e coloidais, facilitando assim a sua especificação para o reuso em instalações sanitárias.

Figura 7 – Comportamento das alternativas de tratamento de efluentes em função dos critérios adotados.



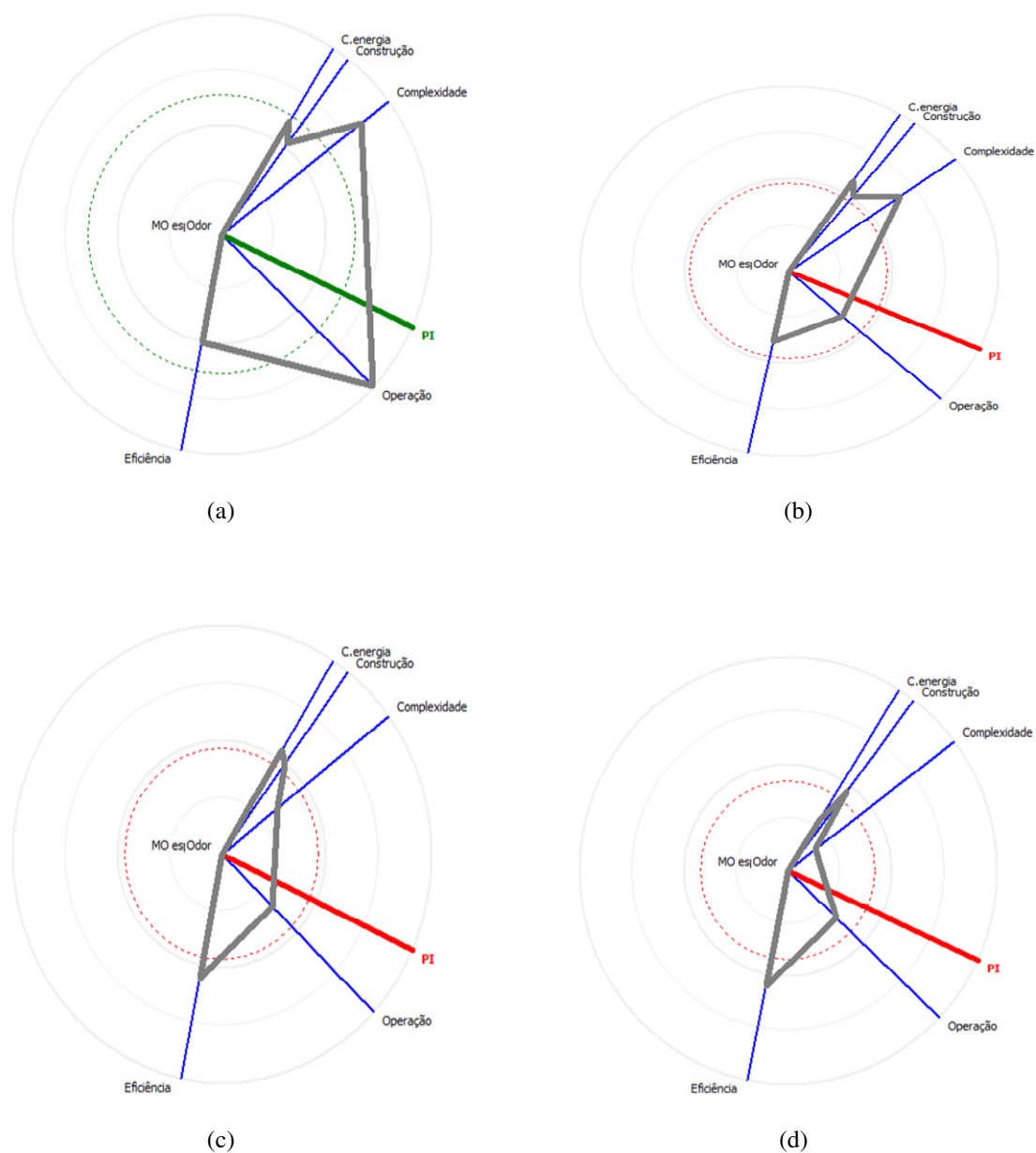
Para o reuso em instalações sanitárias, observa-se uma inversão no comportamento dos sistemas propostos por Artiga et al. (2008) e Queiroz et al. (2013), em comparação com o cenário de reuso para sistemas de refrigeração industrial, conforme a Tabela 16. Isto porque, os critérios econômicos pesaram mais para a elaboração do ranking.

Tabela 16 – Valores de desempenho da pontuação agregada das alternativas propostas para reuso em instalações hidro-sanitárias.

Rank	Alternativa	Input	Output	Relação O/I	Pontuação
1	Coagulação/Floculação com FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0,2619	0,2619	1,7097	92,41
2	Bioreator e Ultrafiltração por membranas (Artiga et al., 2008)	-0,0493	0,0493	0,9060	48,97
3	Bioreator; Coagulação/floculação/sedimentação; Microfiltração por membranas (Queiroz et al., 2013)	-0,0611	0,0611	0,8849	47,83
4	Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV (Cristovão et al., 2015)	-0,1515	0,1515	0,7368	39,83

De acordo com os gráficos de redes da Figura 8, os critérios que mais influenciaram de forma positiva para o desempenho da alternativa proposta por Fahim et al. (2001) foram os de CO&M e COMP. Já para Artiga et al. (2008) foram os critérios COMP e CE; para Queiroz et al. (2013) foram os critérios CRP e CE; e para e Cristovão et al. (2015) foi o critério de CRP.

Figura 8 – Gráficos em rede com os comportamentos das alternativas de Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (a); Artiga et al. (2008) - Bio+Memb (b); Queiroz et al. (2013) - Bio+Coag/floc/sed+Memb (c) e Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot+Coag/floc+LodoAt+Filtr+OsmRev+UV e Coag/Floc (d), com os respectivos eixos de decisão.



Não obstante, a proposição de reuso neste cenário apresenta um grande potencial na área industrial, uma vez que os sistemas de melhor desempenho foram os que apresentam menores custos e complexidade. Atualmente, no Brasil, a Lei N° 13.647

(BRASIL, 2018) estabelece a obrigatoriedade da instalação de equipamentos para evitar o desperdício de água em banheiros destinados ao público, sejam localizados em prédios públicos ou privados.

4.4.2.4 Escolha de Sistemas de Tratamento para o Reuso em Limpeza de Pisos e Calçadas

Seguindo os cenários que não necessitam da avaliação do critério de Potabilidade, o reuso na limpeza de pisos e calçadas nas instalações industriais também utilizou uma redistribuição da valoração dos pesos, onde priorizou-se os critérios CC, CE, CO&M e CRP.

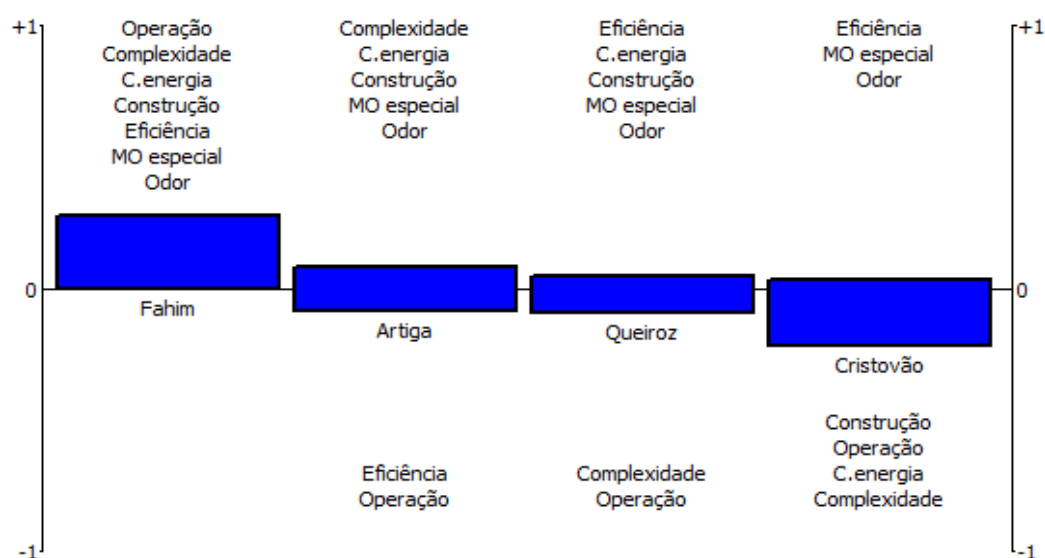
Após o processamento dos dados pelo programa de AMC utilizado, pode-se afirmar que a alternativa que melhor atende aos critérios elencados, para a ponderação de importância adotada é a do sistema de tratamento de efluentes proposto por Fahim et al. (2001), seguido dos sistemas propostos por Artiga et al. (2008), Queiroz et al. (2013) e Cristovão et al. (2015) (Tabela 17).

Tabela 17 – Valores absolutos de consistências dos critérios adotados e ranking das alternativas propostas para reuso na lavagem de pisos e calçadas.

Rank	Alternativa	Peso Critério	Peso Critério +	Peso Critério -
1	Coagulação/Floculação com FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0,2889	0,2889	0,0000
2	Bioreator e Ultrafiltração por membranas (Artiga et al., 2008)	-0,0495	0,0586	0,1082
3	Bioreator; Coagulação/floculação/sedimentação; Microfiltração por membranas (Queiroz et al., 2013)	-0,0721	0,0291	0,1012
4	Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV (Cristovão et al., 2015)	-0,1672	0,0230	0,1902

A alternativa Coag/Floc (Fahim et al., 2001) teve o melhor desempenho global, justificando-se pelo melhor atendimento aos critérios de maior relevância, sendo apresentada valoração positiva para todos os critérios analisados (Figura 9).

Figura 9 – Comportamento das alternativas de tratamento de efluentes em função dos critérios adotados.



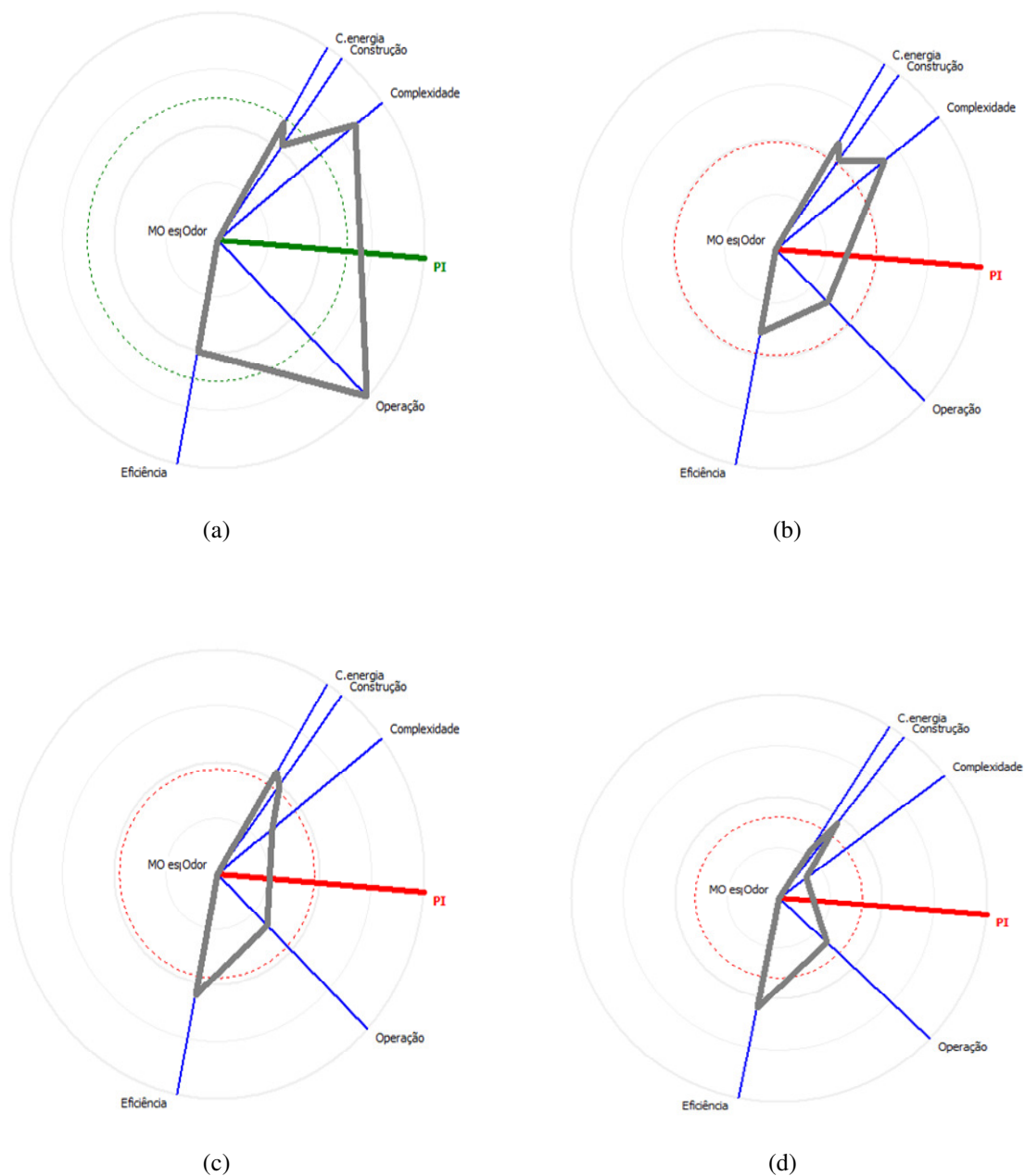
Para o reuso em lavagem de pisos e calçadas, observa-se um comportamento similar ao cenário de reuso em instalações sanitárias, conforme a Tabela 18. Ressalta-se que para o este caso o sistema de Fahim et al. (2001) obteve a maior pontuação de todos os cenários, com pontuação de 97,96, devido a pouca restrição imposta para este tipo de reuso.

Tabela 18 – Valores absolutos de consistências dos critérios adotados e ranking das alternativas propostas para reuso na lavagem de pisos e calçadas.

Rank	Alternativa	Input	Output	Relação O/I	Pontuação
1	Coagulação/Floculação com FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0,2889	0,2889	1,8125	97,96
2	Bioreator e Ultrafiltração por membranas (Artiga et al., 2008)	-0,0495	0,0495	0,9056	48,95
3	Bioreator; Coagulação/floculação/sedimentação; Microfiltração por membranas (Queiroz et al., 2013)	-0,0721	0,0721	0,8655	46,78
4	Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV (Cristovão et al., 2015)	-0,1672	0,1672	0,7135	38,56

De acordo com os gráficos de redes da Figura 10, os critérios que mais influenciaram de forma positiva para o desempenho da alternativa proposta por Fahim et al. (2001) foram os de CO&M e COMP, uma vez que este é o tipo de reuso com critérios menos restritivos. Mais uma vez os critérios econômicos influenciaram negativamente o desempenho das alternativas propostas por Queiroz et al. (2013) e Cristovão et al. (2015), uma vez que sistemas mais simples de tratamentos podem ser utilizados para o reuso em lavagem de pisos e calçadas.

Figura 10 – Gráficos em rede com os comportamentos das alternativas de Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (a); Artiga et al. (2008) - Bio+Memb (b); Queiroz et al. (2013) - Bio+Coag/floc/sed+Memb (c) e Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot+Coag/floc+LodoAt+Filtr+OsmRev+UV e Coag/Floc (d), com os respectivos eixos de decisão.



4.5 Conclusões

Para o reuso e reciclo em indústrias do processamento de pescado, com necessidade de atendimento de requisitos de potabilidade, recomenda-se a utilização de uma combinação de processos com a utilização de técnicas avançadas de tratamento, com a necessidade de utilização de tecnologias de desinfecção, como é o caso do sistema composto pelos processos de Sedimentação/flotação; coagulação/floculação; tratamento biológico por processo de lodos ativados; filtração por filtro de areia; osmose reversa e desinfecção por UV.

Contudo, para o reuso em atividades menos restritivas, verifica-se que nem sempre o sistema que apresenta a tecnologia mais avançada será o que apresentará o melhor desempenho para todos os tipos de cenários, uma vez que os critérios relacionados aos aspectos econômicos podem apresentar maior influência na tomada de decisão. Além disso, para os tipos de reuso não potáveis propostos, as pontuações de classificação apresentaram resultados estatisticamente semelhantes para a maioria dos sistemas, possibilitando uma análise de custo-benefício mais abrangente e um grande potencial de reutilização dos efluentes na própria indústria.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento do projeto (processo: 407728 / 2012-0) e pela bolsa de produtividade (Processo 312697/2014-7).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-RAOUF, N.; AL-HOMAIDAN, A. A.; IBRAHEEN, I. B. M. Microalgae and wastewater treatment. **Saudi Journal of Biological Sciences**, [S.I.], n. 19, p. 257–275, 2012.

ALCALDE-SANZ, L.; GAWLIK, B. M. Water reuse in europe relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. **Publications Office of the European Union**, Luxemburgo, 48 p., 2014.

ALEXANDRE, V. M. F. et al. Performance of anaerobic bioreactor treating fish-processing plant wastewater pre-hydrolyzed with a solid enzyme pool. **Renewable Energy**, [S.I.], n. 36, p. 3439-3444, 2011.

ALMEIDA, C. M. V. B. et al. Identifying improvements in water management of bus-washing stations in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.I.], n. 54, p. 821-831, 2010.

ANGELAKIS, A.; GIKAS, P. Water reuse: overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. **Water Utility Journal**, [S.I.], n. 8, p. 67–78, 2014.

ANH, P. et al. Towards eco-agro industrial clusters in aquatic production: the case of shrimp processing industry in Vietnam. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], n. 19, p. 2107–2118, 2011.

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington D.C: **American Public Health Association**; 21st ed., 2005.

ARTIGA, P. et al. Use of a hybrid membrane bioreactor for the treatment of saline wastewater from a fish canning factory. **Desalination**, [S.I.], n. 221, p. 518–525, 2008.

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, 60p., 1997.

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**. Springer, 2011. p. 295-306, Vol. 14.

BEINAT, E. Multi-criteria analysis for environmental management. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, n. 10, p. 51-61, 2001.

BOTTERO, M.; COMINO, E.; RIGGIO, V. Application of the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process for the assessment of different wastewater treatment systems. **Environmental Modelling & Software**, [S.I.], n. 26, p. 1211-1224, 2011.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank project: The PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, p. 228-238, 1986.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS Nº 2914, 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**, Brasília, 12 dez. 2011.

BRITES, C., R. C. **Abordagem multiobjetivo na seleção de sistemas de reúso de água em irrigação paisagística no Distrito Federal**. 2008. 262 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília 2008.

CHEN, Z.; NGO, H.; GUO, W. A critical review on sustainability assessment of recycled water schemes. **Science of the Total Environment**, [S.I.], n. 426, p. 13-31, 2012.

CHOWDHURY, P.; VIRARAGHAVAN, T.; SRINIVASAN, A. Biological treatment processes for fish processing wastewater - A review. **Bioresource Technology**, [S.I.], n. 101, p. 439-449, 2010.

CODEX ALIMENTARIUS. Codex Alimentarius Commission: Codex Committee on Food Hygiene. **Proposed Draft Guidelines for the Hygienic Reuse of Processing Water in Food Plants**. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, 34th Session, Bangkok, Thailand, 2001.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Chemical and biological treatment of a fish canning wastewater. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics**, [S.I.], v. 2, n. 4, p. 237–242, 2012.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Chemical oxidation of fish canning wastewater by fenton's reagent. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S.I.], n. 2, p. 2372–2376, 2014.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Fish canning industry wastewater treatment for water reuse – a case study. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], n. 87, p. 603–612, 2015.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA). **Guidelines for Water Reuse**. EPA/600/R-12/618. Washington, D.C., 643 p., 2012. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>> Acesso em: 12 ago. 2014.

ESPAÑA. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 1.620, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. **Boletín Oficial del Estado**, Madrid, 8 diciembre 2007. Disponível em: <<http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/.../A50639-50661.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2015. /2007

FAHIM, F.A., et al. Evaluation of some methods for fish canning wastewater treatment. **Water Air Soil Pollut**, n.127, p. 205–226, 2001.

GARRIDO-BASERBA, M. et al. Implementation of a knowledge-based methodology in a decision support system for the design of suitable wastewater treatment process flow diagrams. **Journal of Environmental Management**, [S.I.], n. 112, p. 384–391, 2012.

GORIGOITÍA, A. P. **Aplicação de biorreator com membranas no tratamento de efluentes de aterro industrial**. 2011. 172 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

GREECE. Common Ministerial Decision - CMD. Measures, Limits and Procedures for Reuse of Treated Wastewater; No. 145116; **Ministry of Environment, Energy and Climate Change**: Athens, Greece, 2011 (in Greek).

HIDALGO, D. et al. Development of a multi-function software decision support tool for the promotion of the safe reuse of treated urban wastewater. **Desalination**, [S.I.], n. 215, p. 90–103, 2007.

HUILIÑIR, C. et al. Simultaneous nitrate and organic matter removal from salmon industry wastewater: the effect of C/N ratio, nitrate concentration and organic load rate on batch and continuous process. **Journal of Environmental Management**, [S.I.], n. 101, p. 82-91, 2012.

JANNUZZI, P.; MIRANDA, W.; SILVA, D. Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações. **Revista Informática Pública**, ano 11, n. 1, p. 69– 87, 2009.

LAHDELMA, R.; SALMINEN, P.; HOKKANEN, J. **Using Multicriteria Methods in Environmental Planning and Management**. Springer, New York, 2000.

LERMONTOV, A. et al. Análise econômica da dessalinização de água do mar por osmose inversa visando abastecimento público no estado do Rio de Janeiro. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, Porto Alegre-RS. **Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária E Ambiental**. ABES, 2011.

LEUNG et al. Integration of seawater and grey water reuse to maximize alternative water resource for coastal areas: the case of the Hong Kong International Airport. **Water Science & Technology**, [S.I.], n. 65, p. 410-417, 2012.

KALBAR, P.; KARMAKAR, S; ASOLEKAR, S. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. **Journal of Environmental Management**, [S.I.], n. 113, p. 158-169, 2012a.

KALBAR, P.; KARMAKAR, S; ASOLEKAR, S. Technology assessment for wastewater treatment using multiple-attribute decision-making. **Technology in Society**, [S.I.], n. 34, p. 295-302, 2012b.

KIKER, G. et al. Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. **Integrated Environmental Assessment and Management**, n. 1, p. 95-108, 2005.

MALINOWSKI, A. **Aplicação de Metodologia para a Estruturação de Diretrizes para o Planejamento do Reúso de Água no meio Urbano**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MARTINS, G. C. A. **Custos com tratamento de efluentes industriais na fabricação de bancos automotivos**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility - A case study. **International Biodeterioration and Biodegradation**, n. 85, p. 563-570, 2013.

NAJAFPOUR, G.D.; ZINATIZADEH, A.A.L.; LEE, L.K., Performance of a three-stage aerobic RBC reactor in food canning wastewater treatment. **Biochemistry Engineering Journal**, n. 30, p. 297–302, 2006.

NEW SOUTH WALES GOVERNMENT (NSW). **NSW Water reuse guideline For food businesses**. NSW Food Authority, Sydney, 2008.

NORTON, T.; MISIEWICZ, P. Ozone for water treatment and its potential for process water reuse in the food industry. In: O'Donnell, C. et al. (Ed.). **Ozone in Food Processing**. 1. ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2012. p. 177-200, cap. 11.

OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P. et al. Takig advantage of storm and waste water retention basins as part of water use minimization in industrial sites. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.I.], n. 55, p. 316-324, 2011.

QUEIROZ, M. I. et al. Fish processing wastewater as a platform of the microalgal biorefineries. **Biosystems Engineering**, [S.I.], n.115, p. 195-22, 2013.

RADCLIFFE, J. Water recycling in Australia – during and after the drought. **Environmental Science: Water Research & Technology**, [S.I.], 1v., n. 5, p. 554–562, 2015.

RIAÑO,B.; MOLINUEVO, B; GARCÍA-GONZALES, M. C. Treatment of fish processing wastewater with microalgae-containing micorbiota. **Bioresource Technology**. [S.I.], n. 102, p.10829-10833, 2011.

RIBEIRO, F. H. M.; NAVAL, L. P. Technologies for Wastewater Treatment from the Fish Processing Industry: reuse alternatives. **Journal of Cleaner Production**, 2016. **RBCIAMB** n. 46, p.130-144, 2017.

SADR, S. et al. Appraisal of membrane processes for technology selection in centralized wastewater reuse scenarios. **Sustaintable Environmental Research**, [S.I.], n. 23, p. 69-78, 2013.

SIMATE, G. S. et al. The treatment of brewery wastewaste for reuse: State of the art. **Desalination**, [S.I.], n.273, p. 235-247, 2011.

SOUZA, M. A. **Eficiência do processo de ultrafiltração seguido de biodigestão anaeróbia no tratamento de efluente de frigorífico de tilápia**. 2010.77 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista, São Paulo 2010.

YI, L.; JIAO, W.; CHEN, X.; CHEN, W. An overview of reclaimed water reuse in China. **Journal of Environmental Sciences**, [S.I.], 23v., p. 1585–1593, 2011.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DO PROCESSAMENTO DO PESCADO

Quando o foco principal é o uso racional dos recursos hídricos nos processos industriais, os métodos de racionalização e reaproveitamento tornam-se importantes ferramentas de suporte para a consolidação de cenários de plantas industriais com o mínimo consumo de água, propiciando o emprego contínuo de medidas de melhoria tecnológica, econômica e ambiental.

Dentre as possibilidades de reuso, o ramo industrial aparece como o terceiro maior contribuinte para o consumo de água reciclada, principalmente onde incluem águas de refrigeração, de alimentação de caldeira e dos processos industriais (CHEN et al., 2012).

Semelhante à maioria das indústrias alimentícias de transformação, as operações de processamento de pescado produzem grande quantidade de águas residuais (SOUZA, 2010; ANH et al., 2011; QUEIROZ et al., 2013), contendo alta carga orgânica e altos níveis de salinidade (CRISTOVÃO et al., 2014a). Estes contaminantes orgânicos se apresentam nas formas solúveis, coloidais e particulados (CHOWDHURY et al., 2010), incluindo proteínas, nutrientes, óleos e gorduras (MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013). Como consequência destas características, tem-se o aumento nas quantidades de sólidos totais em suspensão, da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) (CHOWDHURY et al., 2010; CRISTOVÃO et al., 2012).

Sabendo-se que as etapas de processamento da indústria de pescado podem variar de acordo com o porte, a sazonalidade e a produtividade de cada unidade industrial (ANH et al., 2011), a caracterização precisa dos efluentes, incluindo os volumes diários, taxas de fluxo e carga poluente associada, é de fundamental importância para um projeto eficaz de sistemas de tratamento. Segundo Ghaly et al. (2013), a maioria das indústrias de entrepostos de pescado processam o peixe usando as seguintes etapas: classificação do pescado, remoção de lodo superficial, descamação,

lavagem, retirada da cabeça, evisceração, corte das barbatanas, corte em bifés, filetagem, separação dos ossos, embalagem, rotulagem e distribuição.

A determinação dos requisitos de desempenho dos sistemas de tratamento depende de uma avaliação precisa da qualidade das águas residuais a serem tratadas (EPA, 2002; BARCELÓ et al., 2011; MALATO et al., 2011). Além disso, no caso dos efluentes do processamento de pescado, a correta caracterização também se torna importante para a proteção do ecossistema e para a sustentabilidade da indústria pesqueira (ISLAM et al, 2004).

Outrossim, para um bom desempenho de certos processos de tratamento é necessário limitar a variação dos efluentes, o que pode ser conseguido com a utilização de programas de monitoramento para coleta de efluentes em diferentes pontos, antes de serem lançadas na estação de tratamento (CRISTOVÃO et al., 2016).

A separação dos efluentes em categorias (através de processos de segregação) também pode melhorar o desempenho dos sistemas (BARROS et al., 2009) em função do nível de remoção a ser conseguido. A combinação das correntes mais similares em termos de características físico-químicas e microbiológicas, permite um tratamento ideal para cada tipo de efluente, proporcionando maior economia de energia, maior eficiência e menor custo de descarte (LUIZ et al., 2012), além de facilitar a destinação dos mesmos para diferentes tipos de reuso e/ou reciclo.

Desta forma, o conhecimento das características das cargas de poluentes dos efluentes destas indústrias torna-se um importante subsídio para a especificação do seu sistema de tratamento, uma vez que as características dos efluentes destas plantas industriais variam de acordo com o processo de produção utilizado.

Com intuito de obter um conjunto representativo de informações sobre as características do efluente, foram coletadas amostras de efluentes em uma indústria de processamento de pescado na região norte do Brasil, com periodicidade mensal, por um período de 11 meses. Os pontos de coleta foram determinados em função dos fluxos de consumo de água e geração de efluentes em cada etapa do processamento: E1 - saída do cilindro de lavagem do pescado; E2 - saída da mesa de evisceração; E3 - lavagem do piso interno e dos equipamentos; E4 - barreira sanitária na entrada da produção; E5 - saída final da produção; E6 - lavagem dos monoblocos de condicionamento do pescado. Os dados obtidos pela análise de 22 parâmetros em 132 amostras de efluentes das diferentes etapas do processamento são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Caracterização dos efluentes da indústria processamento de pescado analisada após tratamento estatístico (os valores são referentes aos resultados do delineamento aplicando a ANOVA, com grau de significância de 5%).

Parâmetro	E1	E2	E3	E4	E5	E6
pH	7,2 - 8,7	5,59 - 8,9	6,1 - 8,8	6,87 - 9,2	5,5 - 8,5	7,0 - 9,2
SST (mg.L ⁻¹)	375,6	1026,8	444,8	59,3	673,13	97,9
SDTotais (mg.L ⁻¹)	1136	1606	1090	312	990	344
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	668,8	841,8	391	49,9	742,5	79,3
DQO (mg/L)	1382,2	1680,5	720,5	111,7	1591,7	167,6
O. D. (mg/L)	5,5	5	5,1	4,8	4,9	4,93
Ntotal (mg.L ⁻¹)	55,6	66,1	43,7	9,8	46,5	7,3
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1,56	4,56	1,45	0,124	3,8	0,218
Ptotal (mg.L ⁻¹)	5,0	9,0	14,9	0,23	46,4	0,72
Coliformes Totais (NMP/100mL)	123	680	245	90	1000	49,2
Coliformes Termotolerantes (NPM/100mL)	60	640	177	5	900,7	42,8
Óleos e Graxas (mg/L)	0,17	1,1	0,58	0,135	0,69	0,02
Cloretos Totais (mg.L ⁻¹)	74,5	46,8	22,7	13,9	40,2	27,6
Turbidez (uT)	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
Dureza (mg/L)	3,6	1,3	3	4,22	3,1	4,7
Sulfato (mg/L)	1,3	2,6	2,6	1,83	2,3	3
Fluoreto (mg/L)	0,1	0,17	0,34	0,5	0,75	0,9
Ferro (mg/L)	0,251	0,369	0,117	0,038	0,393	0,038
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

Quando se considera os parâmetros utilizados nas principais normativas de reuso, os resultados da caracterização dos efluentes (Tabela 19) mostraram-se condizentes com os encontrados na literatura (RIAÑO et al., 2011; QUEIROZ et al., 2013; MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013; CRISTOVÃO et al., 2015), exceção feita ao pH e aos óleos e graxas, que apresentaram uma maior variação.

Todavia, os resultados obtidos também mostram que as características dos desses efluentes não são uniformes, ao contrário, apresentam alta variabilidade, apesar de todas as amostras terem sido coletadas na mesma indústria.

Desta forma, fez-se necessária a realização de uma análise estatística, tendo a significância de cada termo julgado estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA), com nível de confiança de 95%, o que significa que aqueles efeitos cujo p-valor é inferior a 0,05 não são estatisticamente significativos na variável de saída. Com isso, estes termos podem ser subseqüentemente eliminados do polinômio, obtendo um modelo onde os termos são significativos.

Ao observar os resultados da análise estatística (Anexo I) é possível considerar o agrupamento de algumas correntes para fins de tratamento e reuso, uma vez que existe similaridade das características destes pares, sendo estatisticamente iguais. De maneira que se vislumbra a possibilidade de segregação dos efluentes permitindo uma maior gama de aplicações de reuso, além de economia de água e energia.

Ao se avaliar os efluentes E4 (barreira sanitária na entrada da produção) e E6 (lavagem dos monoblocos), pode-se perceber que os mesmos possuem a menor quantidade de substâncias poluentes, e, por não apresentarem diferença significativa das suas características, poderiam ser agrupados e submetidos a um mesmo sistema de tratamento. Analogamente, os efluentes E2 (mesa de evisceração) e E5 (saída final da produção) também poderiam ser agrupados para a submissão de um único sistema de tratamento, todavia, com maior eficiência de remoção, por apresentarem as maiores quantidades de poluentes. Outro agrupamento possível é o dos efluentes E1 (cilindro de lavagem do pescado) e E3 (lavagem do piso interno e equipamentos), os quais apresentaram valores intermediários de quantidade de poluentes.

Um aspecto a ser ressaltado é o de que, neste contexto, a indústria pode optar pela utilização de uma tecnologia de menor custo para o tratamento de seus efluentes quando a opção de reuso adotada for menos restritiva, conforme preconiza alguns regulamentos sobre o reuso de água (como o regulamento americano (EPA, 2012) e a

NBR 13.969 (ABNT, 1997)); ou então, pela utilização de tecnologias mais avançadas (como a osmose reversa e os tratamentos de desinfecção), quando o objetivo seja a potabilidade para o reciclo.

Considerando que o custo de remoção de sólidos suspensos ou dissolvidos dos efluentes líquidos (por sedimentação, coagulação, filtração) pode chegar a mais da metade do custo total de depuração dos efluentes de indústrias do processamento do pescado (Cristovão et al., 2015), a separação ou o agrupamento destes pode influir diretamente na escolha das tecnologias a serem utilizadas para o tratamento e reutilização.

Com exceção do pH, nenhum dos efluentes brutos atendem as normativas para o reuso industrial referenciadas na Tabela 4. No entanto, os efluentes E4 e E6 atendem parcialmente estas normativas (SDTotais, Ntotal, Ptotal e Cloretos totais) sendo que, apenas o SST, DBO5 e turbidez não estão de acordo para o reuso industrial sem contato com alimentos e pessoas e o parâmetro de Coliformes Totais não atende a Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) e Decisão Ministerial Conjunta da Grécia JMD 145116 (GREECE, 2011).

Contudo, para que os efluentes E4 e E6 atendam as normativas para o reuso industrial de água não potável, pode-se utilizar sistemas convencionais de tratamento biológico ou o sistema de Coagulação/Floculação com FeCl₃, proposto por Fahim et al. (2001) para o tratamento de efluentes do processamento de pescado, uma vez que estas tecnologias são capazes de reduzir os parâmetros de SST, DBO e turbidez de forma eficaz.

Não obstante, para que os efluentes E1, E2, E3 e E5 atendam aos parâmetros necessários para o reuso industrial e para a potabilidade, sistemas conjuntos de tratamentos avançados são necessários.

REFERÊNCIAS

ANH, P.; DIEU, T.; MOL, A.; KROEZE, C.; BUSH, S., 2011. Towards eco-agro industrial clusters in aquatic production: the case of shrimp processing industry in Vietnam. *Journal of Cleaner Production*, n. 19, p. 2107–2118.

BARCELÓ, D.; PETROVIC, M.; ALEMANY, J., 2011. 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*. Springer, p. 295-306, Vol. 14.

BARROS, M. C. et al. Identification of best available techniques in the seafood industry: a case study. *Journal of Cleaner Production*, [S.I.], n. 17, p. 391–399, 2009.

BRAZIL. Ministry of Health. 2011. Portaria n. 2.914, Provides for procedures for the control and monitoring of water quality for human consumption and drinking water standard. *Official Journal of the Union*, Brasília.

BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL STANDARDS (ABNT). 1997. NBR 13.969 - Septic tanks - Complementary treatment units and final disposal of liquid effluents - Design, construction and operation. Rio de Janeiro, 60p.

CHEN, Z.; NGO, H.; GUO, W. A., 2012. Critical review on sustainability assessment of recycled water schemes. *Science of the Total Environment*, n. 426, p. 13-31.

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

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Chemical and biological treatment of a fish canning wastewater. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, [S.I.], v. 2, n. 4, p. 237–242, 2012.

CRISTÓVÃO, R. O. et al. Chemical oxidation of fish canning wastewater by fenton's reagent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, [S.I.], n. 2, p. 2372–2376, 2014a.

CRISTÓVÃO, R. O.; BOTELHO, C.; MARTINS, R.; LOUREIRO, J.; BOAVENTURA, R., 2015. Fish canning industry wastewater treatment for water reuse – a case study. *Journal of Cleaner Production*, [S.I.], n. 87, p. 603–612.

CRISTÓVÃO, R. O. et al., 2016. Fish canning industry wastewater variability assessment using multivariate statistical methods. *Process Safety and Environmental Protection*, [S.I.], n. 102, p. 263–276.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA), 2012. Guidelines for Water Reuse. EPA/600/R-12/618. Washington, D.C., 643 p. <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>. (accessed 12. 08. 2014).

ESPAÑA. Ministerio de la Presidencia. 2007. Real Decreto 1.620, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. *Boletín Oficial del Estado*, Madrid. <http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/.../A50639-50661.pdf>. (accessed 10. 04. 2015).

GHALY, A. E. et al. Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: a critical review. *Microbial and Biochemical Technology*. [S.I.], v. 5, p.107-129, 2013.

GREECE. Common Ministerial Decision - CMD. 2011. Measures, Limits and Procedures for Reuse of Treated Wastewater; No. 145116; Ministry of Environment, Energy and Climate Change: Athens, Greece (in Greek).

ISLAM, S.; KHAN, S; TANAKA, M. Waste loading in shrimp and fish processing effluents: potential source of hazards to the coastal and nearshore environments. *Marine Pollution Bulletin*, n. 49, p. 103–110, 2004.

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*. InTech, 2012. p. 3-24, cap. 1.

MALATO, S. et al. Technologies for Advanced Wastewater Treatment in the Mediterranean Region. In: Barceló, D.; Petrovic, M. (Ed.). *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, 2011. p. 1-28, Vol. 14.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K., 2013. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility - A case study. *International Biodeterioration and Biodegradation*, n. 85, p. 563-570.

NEW SOUTH WALES GOVERNMENT (NSW). 2008. NSW Water reuse guideline for food businesses. NSW Food Authority, Sydney.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente, do Ordenamento, do Território e do Desenvolvimento Regional. 2007. Decreto-Lei n.º 306. *Diário da República*, 1.ª série — N.º 164. <https://dre.pt/pesquisa/-/search/640931/details/maximized>. (accessed 31. 03. 2016).

QUEIROZ, M. I.; HORNES, M.; MANETTI, A.; ZEPKA, L.; JACOB-LOPES, L., 2013. Fish processing wastewater as a platform of the microalgal biorefineries. *Biosystems Engineering*, n.115, p. 195-22.

RIAÑO, B.; MOLINUEVO, B.; GARCÍA-GONZALES, M. C. Treatment of fish processing wastewater with microalgae-containing microbiota. *Bioresource Technology*. [S.I.], n. 102, p.10829-10833, 2011.

SOUZA, M. A. Eficiência do processo de ultrafiltração seguido de biodigestão anaeróbia no tratamento de efluente de frigorífico de tilápia. 2010.77 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista, São Paulo 2010.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÃO GERAL

Em função das peculiaridades apresentadas pelos efluentes da indústria do processamento do pescado, o primeiro passo para a escolha das tecnologias a serem utilizadas para a implantação de um sistema de tratamento é a definição do destino das águas tratadas.

Como demonstraram os resultados, é possível concluir que as indústrias de processamento de pescado possuem potencial para redução da utilização de água e da geração de efluentes através da utilização de tecnologias adequadas de tratamento e das práticas de reuso.

Sistemas compostos pela combinação de processos físicos e químicos ou biológicos têm sido utilizados de forma adequada para o lançamento de efluentes em corpos hídricos e reuso para finalidades menos restritivas, como irrigação, recarga de aquíferos e instalações hidro-sanitárias.

Já para o reuso industrial sem o requisito de potabilidade, devem ser adicionadas nestes sistemas tecnologias de tratamento de nível terciário, com o intuito de atender níveis de remoção mais restritivos, como os dos regulamentos dos EUA, Espanha e Grécia.

Para o reuso e reciclo em indústrias do processamento de pescado, com necessidade de atendimento de requisitos de potabilidade, recomenda-se a utilização de uma combinação de processos com a utilização de técnicas avançadas de tratamento, com a necessidade de utilização de tecnologias de desinfecção.

No caso da indústria analisada, o maior potencial de reuso é verificado nos efluentes E4 (barreira sanitária na entrada da produção) e E6 (lavagem dos monoblocos), por apresentarem uma menor quantidade de poluentes e, conseqüentemente, um menor custo para atender as normativas de reuso.

Para o reuso e reciclo em indústrias do processamento de pescado, com necessidade de atendimento de requisitos de potabilidade, recomenda-se a utilização de uma combinação de processos com a utilização de técnicas avançadas de tratamento,

com a necessidade de utilização de tecnologias de desinfecção, como indicado por Queiroz et al. (2013) e Cristovão et al. (2015).

Os resultados obtidos demonstram que a AMC pode ser utilizada como uma ferramenta importante para obter correlações entre muitas variáveis, além de possibilitar o agrupamento de amostras em grandes conjuntos de dados. Diante disso, foi possível realizar a análise de grupos de efluentes e de parâmetros, através de agrupamentos por similaridade.

Também foi possível demonstrar que os critérios relacionados aos aspectos econômicos apresentaram maior influência na tomada de decisão para a escolha do sistema de tratamento de efluentes a ser utilizado, principalmente quando não há a necessidade de atender os requisitos de potabilidade.

Não obstante, a escolha do sistema de tratamento a ser utilizado com vistas ao reuso, capaz de garantir a rentabilidade e sustentabilidade do projeto, não passa por processo decisório simples, em função do número de alternativas possíveis e de critérios a serem avaliados (tais como os econômicos, técnicos, ambientais e sociais).

À luz do que foi exposto, a presente avaliação pode ser utilizada como uma ferramenta para estabelecer diretrizes para programas de monitoramento da qualidade de efluentes de indústrias de processamento de pescados e para a escolha do processo de tratamento a ser utilizado, podendo evitar medições redundantes e permitindo minimizar os custos associados.

APÊNDICE I

Artigo em Inglês do CAPÍTULO III

TECHNOLOGIES FOR WASTEWATER TREATMENT FROM THE FISH PROCESSING INDUSTRY: REUSE ALTERNATIVES¹

RIBEIRO, Fábio Henrique de Melo^a; NAVAL, Liliana Pena^a.

^a Federal University of Tocantins (UFT). Av. NS 15, 109 Norte, Bloco 2, Sala 7, Lab. Saneamento Ambiental. Postal Code: 77001/090 | Palmas/Tocantins – Brazil.

fabioribeiro@uft.edu.br; liliana@uft.edu.br

ABSTRACT

For the fish processing industry, the treatment proposal for effluents encounters some difficulties, such as high concentration of organic matter and solids in suspension, and lack of uniformity in the composition. Considering this problem, the objective was to evaluate the removal efficiency for different effluent treatment technologies of the mentioned industry and the possibility of reuse. In order to do so performed a survey of effluent treatment systems, verifying the pH, removal rate for total suspended solids (TSS mgL⁻¹), biochemical oxygen demand BOD (mgL⁻¹), chemical oxygen demand COD (mgL⁻¹), total nitrogen TN (mgL⁻¹), total phosphorus TP (mgL⁻¹) and oils and greases (mgL⁻¹). The concentrations found were compared to the limit values imposed by the standards for industrial reuse. As a result, it has been found that the combination of multiple processes, using advanced treatment techniques, is appropriate, especially where the purpose is to reuse and/or recycle.

Key words: fish processing, industrial reuse, wastewater treatment

¹ The paper entitled "TECHNOLOGIES FOR WASTEWATER TREATMENT FROM THE FISH PROCESSING INDUSTRY: REUSE ALTERNATIVES" was published in Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB), n.46, dez 2017, p. 130-144. ISSN 2176-9478. DOI: 10.5327/Z2176-947820170196.

RESUMO

Para a indústria de processamento de pescado, a proposição de tratamento para os efluentes encontra algumas dificuldades, como elevada concentração de matéria orgânica e de sólidos em suspensão, e falta de uniformidade na composição. Considerando esta problemática, se objetivou avaliar a eficiência de remoção para diferentes tecnologias de tratamento de efluentes da referida indústria e a possibilidade de reuso. Para tanto, realizou-se um levantamento de sistemas de tratamento de efluentes verificando-se o pH e a taxa de remoção alcançada para total de sólidos em suspensão (TSS mgL^{-1}), demanda bioquímica de oxigênio DBO (mgL^{-1}), demanda química de oxigênio COD (mgL^{-1}), Óleos e graxas (mgL^{-1}), fósforo total TP (mgL^{-1}) e nitrogênio total TN (mgL^{-1}). As concentrações encontradas foram comparadas aos valores limites, impostos pelas normas para reuso industrial. Como resultado foi verificado que a combinação de múltiplos processos, com a utilização de técnicas avançadas de tratamento, mostra-se apropriada, principalmente quando a finalidade for o reuso e/ou reciclo.

Palavras chaves: reuso industrial, sustentabilidade, tratamento de efluente.

3.6 Introduction

The exponential growth of the world population, with consequent increase in the demand for food, causes direct reflexes in the markets of the fish industry, which undergo a constant expansion process (FAO, 2010; Sato et al., 2013). In recent years, world fish production has reached a total supply of 167.2 million tonnes in 2014, a record high so far, leading to a consumption of 20 kg per capita, covering commercialization in the form of fresh, frozen fish, smoked and preserved (FAO, 2016). Analyzing the participation of developing countries in total fish exports, there has been an upward and continuous trend of these activities in recent decades, surpassing in some

cases the representativeness of other agricultural commodities such as rice and coffee (FAO, 2016).

As in all production processes, the fish processing industry uses a large volume of water (on average 11 m³ per ton of processed fish and 15 m³ per ton in the case of shrimp processing) both before and during the process; Especially in the washing, cleaning, storage and refrigeration stages (Arvanitoyannisi and Kassaveti, 2008, Chowdhury et al., 2010, Anh et al., 2011, Muthukumaran and Baskaran, 2013, Cristovão et al., 2015). Due to this high water consumption and its respective generation of effluent, alternatives for volume reduction and quality improvement should be fostered, either by adopting technologies and procedures that reduce the amount of water used, or by reuse of the same during the processes.

The exponential growth of the world population, with consequent increase in the demand for food, causes direct reflexes in the markets of the fish industry, which undergo a constant expansion process (FAO, 2010; Sato et al., 2013). However, Norton and Misiewicz (2012) point out those measures to reduce water consumption may have little overall effect if they are not used in conjunction with treatment technologies, aiming at reuse in industrial plant operations. It should also be considered that for the reuse of recovered water, the key question is still to select the appropriate treatment technology to meet the quality requirements, according to the specific category of reuse, at a low cost (Yi et al. , 2011) of deployment and operation. The commitment to the application of these concepts is a fundamental requirement to achieve industrial practices compatible with the preservation of the environment (José et al., 2013). It may also lead to a reduction in the direct and indirect costs of the processes through the management of water, energy and raw material used (Souza, 2010).

Therefore, the high organic and salt loads present in the effluents from the fish processing stages result in a higher quantity of total suspended solids, Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) (Chowdhury et al. 2010, Cristovão et al., 2012, Cristovão et al., 2014a), thus reducing the quality of the final effluent. These organic contaminants can be present in soluble, colloidal and particulate forms (Chowdhury et al., 2010), including proteins, nutrients, oils and fats (Muthukumaran and Baskaran, 2013). In the case of solid residues produced, these are mainly scales, meat, bones, cartilage and viscera (Jamieson et al., 2010; Anh et al., 2011). Nevertheless, among the various products from the fish industry, those that

present effluents with the presence of more recalcitrant pollutants and metals are those from the production of oil and fish meal, according to studies reported by Antelo et al. (2012).

However, Norton and Misiewicz (2012) point out those measures to reduce water consumption may have little overall effect if they are not used in conjunction with treatment technologies, aiming at reuse in industrial plant operations. It should also be considered that for the reuse of recovered water, the key question is still to select the appropriate treatment technology to meet the quality requirements, according to the specific category of reuse, at a low cost (Yi et al. , 2011) of deployment and operation. When effluents are destined for reuse, there may still be a need for additional treatments, with the integration of different processes, with the purpose of guaranteeing the quality and suitability for the intended use (Barceló et al., 2011; Alcalde-Sanz and Gawlik, 2014). In the case of effluents from fish processing, these guarantees become more rigid, due to the specific criteria of the meat industry, mainly for direct recycling in the processes of preparation, handling and packaging of food, in which the use of drinking water is needed (Chowdhury et al., 2010, Norton and Misiewicz, 2012).

However, there is a possibility that drinking water may be replaced by treated effluents in some food industry processes, provided it does not compromise public health (Codex Alimentarius Commission, 2001). In this context, this work aims to identify more suitable technologies for the treatment of effluents from the fish processing industry, and to evaluate the possibility of reuse and/or recycling of these effluents in these industries, taking into account the restrictions and legal limits for the food sector.

3.7 Methodology

This study comprised the analysis of different effluent treatment technologies, including conventional and advanced systems, to remove the following parameters: total suspended solids (TSS mgL^{-1}), biochemical oxygen demand BOD (mgL^{-1}), chemical oxygen demand COD (mgL^{-1}), total nitrogen TN(mgL^{-1}), total phosphorus TP (mgL^{-1}) and oils and greases (mgL^{-1}). Considering treatments i) physical, ii) chemical and iii) biological:

(i) Physical: sedimentation; sedimentation/decanting; floating; sedimentation and fad; filtration in membranes (microfiltration, ultrafiltration); activated charcoal; ultraviolet radiation; microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration; membrane separation; reverse osmosis.

(ii) Chemicals: coagulation/flocculation; chemical flocculation; ozonation; adsorption, and advanced oxidation processes.

iii) Biological: activated sludge; filtration/anaerobic biofilter; anaerobic biofilter; bioreactors; aerobic reactor e photo-bioreactors.

In order to evaluate the potential for reuse or recycle of the treated effluent by one or more of the described technologies, the data from the physical, chemical and biological characterization of effluents were compared to the quality requirements determined by the regulations dealing with the reuse and/or industrial recycling, with Royal Decree 1.620 (España, 2007), Ministerial Decree of Greece (JMD 145.116/2011), North American guidelines (EPA, 2012) and Brazilian regulations NBR 13.969 (ABNT, 1997) (Table 1). The use of these specific regulations came about because they deal with industrial reuse.

Table 1 - Required quality of reuse water, to be used in industry, established by Brazil, Spain, USA and Greece.

Parameter	Limit concentrations adopted by the Regulations
pH	6 – 9 EPA (2012) 6.5 – 8.4 Spain, (2007) 6.5 – 8.5 JMD (2011) 6 – 8 ABNT (2007)
TSS (mgL ⁻¹)	≤ 10 mg/L (80% of samples) JMD (2011) ≤ 35 mg/L España (2007) ≤ 5 mg/L EPA (2012)
BOD (mgL ⁻¹)	≤ 30 mg/L EPA (2012) ≤ 10 mg/L (80% of samples) JMD (2011)
COD (mgL ⁻¹)	*
TN(mgL ⁻¹)	30 mg/L (JMD (2011))
TP (mgL ⁻¹)	1-2 mg/L (JMD (2011))
Oils and Greases (mgL ⁻¹)	*

Total Suspended Solids (SST), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Nitrogen (NT), Total Phosphorus (PT), Ammoniacal Nitrogen (N. Ammoniacal)

* Parameters not indicated by the regulations adopted.

3.8 Results and Discussion

3.1 Characterization and Technologies for Treatment of Effluents from Fish Processing

The processing stages of the fish industry can vary according to the size, seasonality and productivity of each industrial unit, which directly implies changes in the characteristics of the generated effluents (Anh et al., 2011). According to Ghalyet et al., (2013), most fish processing industries process fish using the following steps: fish grading, surface sludge removal, peeling, washing, head removal, evisceration, finning, filleting, filleting, sorting packaging, labeling and distribution.

Other factors to be considered in production and that will influence the characteristics of the effluents are the type of fish to be processed, the water supply system used, the volume of effluent generated and the concentrations of biochemical demand for oxygen and suspended solids (Barros et al., 2009, Chowdhury et al., 2010, Alexandre et al., 2011, Cristovão et al., 2012).

Regarding the type of fish, Arvanitoyannis and Kassaveti (2008) report variations in the quantity of effluents from the fish filleting process, where the volume generated for white fish was between 5 and 11m³ and for oily fish, between 5 and 8m³ for each ton of processed fish. These authors also cite variations in the concentration of pollutants, depending on the type of fish, in which white fish presented values of 35 kg for BOD and 50 kg for COD, while for oily fish the values were 50 kg for BOD and 85 kg For COD. The presence of high concentrations of organic matter, salts, oils and greases, pH, and ammonia can directly affect the efficiency of effluent treatment systems in the fish processing industry, especially when using biological treatments (Sunny & Mathai, 2013).

The occurrence of these variations in operating conditions makes it difficult to plan a single treatment unit capable of meeting the requirements for all types of effluents produced in this type of industry (Souza et al. 2014a). Therefore, the characterization of the effluents, including the daily volume, flow rates and associated pollutant load, is fundamental for an efficient design of the treatment systems. The determination of the performance requirements of the treatment systems depends directly on a detailed evaluation of the quality of the effluents to be treated (Barato et al., 2011; Malato et al., 2011).

The relationship between the characteristics and the selection of the most appropriate technologies for the treatment of effluents plays a fundamental role in establishing the possibilities of discharge, reuse or recycling. In some cases, due to effluent specificities, additional treatment processes may be required for the removal of recalcitrant contaminants (Luiz et al., 2012) and for inactivation and removal of pathogenic microorganisms. Depending on the parameters listed for the determination of effluent quality, fish processing units, and desired levels of removal, technologies involving physical, chemical and biological systems may be used (MEPU, 2005; Muthukumar and Baskaran, 2013). Considering the segregation of effluent streams and the availability of treatment technologies, it is possible to adapt from simpler processes to the combination of multiple processes to achieve the requirements for direct discharge or reuse of these effluents.

3.2 Treatment Processes

Since the use of primary physical or physicochemical processes in the treatment of effluents with high suspended solids contents is technically adequate, the use of natural sedimentation or centrifugation technologies, aided by the addition of coagulants and/or flocculants (Table 2), can be used in the removal of these materials contained in effluents from the fish processing industry (Cristovão et al., 2012).

Coagulation/flocculation processes with FeCl_3 (Table 2) for the treatment of fish canned effluents were used by Fahim et al. (2001), resulting in removal rates of 95.4% total solids, 92% oils and greases, 89.3% BOD and 87.5% COD (Table 2). Already, Cristovão et al. (Table 2), using the sedimentation and coagulation/ chemical flocculation treatments for fish processing effluents, obtained total solids removal rates and oils and greases of 86% and 99.7%, respectively. These levels of removal give the effluent characteristics adequate to be submitted to secondary treatment processes, in order to reduce the concentration of organic components at appropriate levels for subsequent discharge (Cristovão et al., 2014b).

However, one factor to be considered in the use of these treatment methods is the generation of sludge (Kuca and Szaniawska, 2009), which could be a disadvantage in the adoption of these processes. It should also be considered that the use of

sedimentation, as a single treatment process, could imply the non-removal of the majority of suspended solids, which contribute to the organic load (Table 2) (Muthukumaran and Baskaran, 2013).

Considering the high levels of oils and greases in the effluents of this industrial branch (Islam, et al., 2004, Muthukumaran and Baskaran, 2013), preliminary treatment will always be necessary and, for this purpose, (Table 2), which has the potential to effectively remove oils, greases and other sedimentary contaminants present effluents.

When combined sedimentation processes and FAD (Table 2) for the treatment of fish processing effluents (Jamieson et al., 2010), the reduction of 95% for the total suspended solids of 60% for COD, and 50% for nitrogen. However, it should be taken into account that the organic matter dissolved in the effluent is difficult to remove, and the treatment employing only FAD is not suitable for the removal of high concentrations of these contaminants.

In order to achieve higher levels of removal, the effluents can also undergo secondary treatment processes, and in the case of the food industries, they are conventionally submitted to biological treatments (anaerobic or aerobic) combined with other processes, due to the high organic matter and nutrients (Arvanitoyannis et al., 2008; Chowdhury et al., 2010). These same treatments can also be used to remove the suspended solids remaining from the primary treatment (Muthukumaran and Baskaran, 2013). As a result of the microbiological activity, this process leads to a decrease in COD and BOD, which can reach removal levels of up to 98% (Najafpour et al., 2006; Artiga et al., 2008).

Although aerobic processes are traditionally used in the treatment of industrial effluents, anaerobic systems are more suitable for the treatment of fish processing effluents. This is because these systems are capable of converting organic pollutants, characteristic of these types of effluents, into a small amount of sludge and a large amount of biogas, at a significantly lower cost when compared to aerobic systems (Chowdhury et al., 2010 Steinel and Margane, 2011, Sunny and Mathai, 2013). In this context, Muthukumaran and Baskaran (2013) concluded that the use of a system consisting of a filtration unit and an anaerobic biofilter (Table 1) would be suitable for the secondary effluent treatment of fish processing industries due to their capacity to removal of BOD and COD. Another anaerobic system that can be used for this purpose is bioreactors supplied with prehydrolysed effluents (Table 2). Adopting this

technology, Alexandre et al. (2011) achieved COD removals of up to 90.9%, as well as a reduction in the amount of oils and greases almost ten times when compared to the reference bioreactor (without enzymatic pre-hydrolysis).

Also using anaerobic biological processes combined with enzymatic hydrolysis, Duarte et al. (2015) achieved COD removals of 97.5%, after 68h, indicating that these conditions can be adopted for the industrial scale. The application of these enzymes has grown because of the ability to catalyze a wide variety of reactions, including the hydrolysis of oils and greases in effluent from the fish processing industry (Alexandre et al., 2011). Thus, enzymatic pretreatment facilitates the sedimentation of the sludge and increases the efficiency of the biological treatment, avoiding the accumulation of fats in the same (Duarte et al., 2015).

When it comes to nutrient removal, when using an aerobic reactor (Table 2) to analyze the efficiency in the conversion of ammoniacal nitrogen to nitrate in effluent from fish slaughterhouses, Andrade et al. (2010) demonstrated that this treatment technology was efficient. The percentage of conversion to nitrate reached 86%, when under conditions of ammoniacal nitrogen concentration of 70 mg L⁻¹ and with air flow of 2 L.min⁻¹. Riaño et al. (2011) point out that microalgae-based process can also be applied in the treatment of effluents from fish processing using photo-bioreactors (Table 2); these authors were able to achieve NT removal of 95% and For PT of 74%, in addition to the reduction of carbon dioxide emissions.

On the microorganisms, although these biological treatment processes manage to remove between 95% - 99%, the presence of remaining pathogenic organisms renders water unsuitable for direct reuse (Cristovão et al., 2015a). Therefore, it is necessary to use disinfection to inactivate their action when present in the effluents (José et al., 2013).

However, when activities require more rigors, such as effluent reuse and recycling systems, it is also recommended to use tertiary treatment techniques. In this sense, microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis technologies (Table 2) present an important advantage when compared to conventional purification processes (Pérez-Galvéz et al., 2011). It is also worth mentioning the use of membrane separation treatment technologies (Table 1), which allow the generation of effluent with low organic load that can be reused (Kuca and Szaniawska, 2009). In addition, this

process allows recovering part of the solid material to be used as raw material in other processes, instead of transforming it into sludge (Pérez-Galvéz et al., 2011).

Arévalo et al. (2012) carried out a comparative study between microfiltration and ultrafiltration processes (Table 2) for the treatment of effluents for reuse purposes. The results showed that effluents treated by ultrafiltration presented higher quality and met the requirements of the Spanish legislation (Spain, 2007) regarding parameters for unrestricted reuse (TSS, turbidity, *Escherichia coli* and intestinal nematodes).

Another process studied in order to reduce the organic load of the waste from the fish processing industry was purification by means of low pressure separation with ceramic membranes (Table 2). The results demonstrated a high capacity of reduction of the organic matter by the process of ultrafiltration, especially of microbiological contaminants. Moreover, according to Bhattacharya et al. (2013), the use of ceramic membranes has the advantage of high shelf life, good chemical resistance, high working temperature, and can be sterilized.

In general, conventional effluent treatment techniques are not sufficient to obtain an effluent with characteristics suitable for reuse when it is necessary to meet criteria or guidelines that establish specific quality restrictions (MEDAWARE, 2005). In these cases, the use of advanced treatment procedures for the removal of high concentrations of pollutants or recalcitrant compounds is required (UNEP, 2005; Mittal, 2006). This level of treatment is also indicated when the presence of dissolved and dissolved solids, including salts and organic products, is identified in the effluents, (Steinel & Margane, 2011).

In order to meet more stringent quality criteria, the advanced oxidation processes (POAs) (Table 2) are presented as an excellent alternative (Luiz et al., 2012; José et al., 2013). POAs are able to simultaneously remove organic matter and nitrate, however, there are many parameters that must also be taken into account, such as the concentration of organic compounds and the free oxygen content in the environment, but the efficacy of these treatments depends mainly on whether the oxidant is selective or not, on the presence of oxidative traps and on the oxidant dosage used (Luiz et al., 2012).

However, adsorption (Table 2) is recognized as one of the most efficient and promising techniques for the elimination of multiple compounds. This process is recognized as a surface phenomenon by attracting varied fluid compounds (gas or

liquid) to the surface of a solid adsorbent, and promoting bonds through physical or chemical adhesion. As an example of application, Activated Carbon (AC) has been used in the treatment of effluents because it has a large porous surface area, which provides stronger adsorption forces (Arvanitoyannis et al., 2008).

It can be noted the efficiency of this mechanism in the removal of pollutants from the manufacture of oils derived from fish. Antelo et al. (2012) cites studies with removal values that can reach 99%. Accompanied by these factors, activated carbon also has controllable pore structure, thermostability, low acid/base reactivity and a wide removal capacity for various types of organic and inorganic pollutants dissolved in aqueous medium.

Also, techniques that use membrane systems for the separation of ions from the solutions, based on Reverse Osmosis (OR) (Table 2), are indicated for the removal of salts and dissolved minerals, as well as for the removal of pathogens. This type of treatment is usually used in conjunction with a conventional treatment, and can overcome the deficiencies of these methods (Bhattacharya et al. 2013) or together with other advanced treatment processes, as mentioned above, for the production of high quality effluents, Which can be reused or discharged into the water bodies (Mehta, 2015).

In addition to the removal of carbonaceous and nitrogenous material, the disinfection processes guarantee the efficiency of the reduction or inactivation of pathogenic organisms, minimizing environmental and health risks. Among the oxidants used for disinfection, chlorine is one of the most widely used chemicals (Medaware, 2005; Cristovão et al., 2015a), as it is a very effective disinfectant for most microorganisms; 99% of bacteria and viruses can be successfully removed by this treatment (Malato et al., 2011). This efficacy can be influenced by the presence of suspended solids, organic matter and ammonia in the water, and depends on the water temperature, pH, the degree of the mixture and the time of contact (Medaware, 2005). To the disinfection, ozonation (Table 2) can also be used as a strong oxidant (Arvanitoyannis et al., 2008; Malato et al., 2011), and may be more effective than chlorine in destroying viruses and bacteria. Ozone has been shown to be suitable for the transformation of high organic pollutants into inorganic carbon. It has an efficacy in color removal, contributing to the maintenance of dissolved oxygen content (Medaware, 2005), and may increase the biodegradability of effluents by removing refractory or

toxic compounds from microorganisms (Arvanitoyannis et al., 2008). However, for tertiary treatment it is necessary to know in detail which organic contaminants are present in the effluents, to validate the use of simple ozonization or if the use of POAs would be more effective (Luiz et al., 2012). Another treatment option that can be used for this purpose is the Ultraviolet (UV) disinfection (Table 2), in increasing use in industrial plants. This is justified by the high efficiency in the elimination of most viruses, bacteria and protozoa, besides the ease of operation (Malato et al., 2011). The treatments using this type of radiation are especially used in processes to obtain water for reuse (Mittal, 2006).

Other treatments at the tertiary level are indicated to perform a treatment of effluents from fish processing, capable of producing water for reuse in the industry. Cristovão et al. (2015a) suggest a sequence of processes, as follows: sedimentation/flotation; Coagulation/ flocculation; Biological treatment by activated sludge process; Filtering by sand filter; Reverse osmosis and UV disinfection. As a final result of the treatment systems the removal of 99.9% of dissolved organic carbon, 99.8% of oils and greases, and 98.4% of total suspended solids, 99.1% of conductivity, above 96 % of anions and cations and 100% of heterotrophic bacteria.

Studies conducted by Cristovão et al. (2014a) demonstrated that combined biological treatment and advanced oxidation processes by the fenton reagent for effluents from the processing of canned fish achieved a reduction of organic carbon of 64.4%, reaching a minimum value of 20 mgL^{-1} . There was also a decrease in COD values (minimum value of 90 mgL^{-1}), being below the limits of the legislation of Portugal for direct discharge in the water bodies or sewage systems.

Table 2 - Example of conventional and advanced processes and operations used for the treatment of fish processing effluents.

Treatment	Conventional	References	Advanced	References
Physical	Sedimentation	Cristovão et al., (2012);	Microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration	Pérez-Galvéz et al., (2011); Arévalo et al. (2012)
	Sedimentation / Decanting Floating	Cristovão et al., (2012);		
	Sedimentation and FAD	Cristovão et al., (2014b); Jamieson et al., (2010); Muthukumaran e Baskaran (2013); Mittal (2006); Pérez-Galvéz et al., (2011).	Membrane Separation	Drost et al., (2014); Bhattacharya et al. (2013)
	Filtration in Membranes (microfiltration, ultrafiltration)	Kuca e Szaniawska, (2009)	Reverse osmosis	Kuca & Szaniawska, (2009).
	Activated charcoal	Arvanitoyannis et al., (2008)		
	Ultraviolet Radiation	Malato et al., (2011)		
Chemical	Coagulation / Flocculation	Fahim et al. (2001); Cristovão et al., (2012)	Adsorption	Arvanitoyannis et al., (2008)
	Chemical Flocculation	Arvanitoyannis et al., (2008)	Advanced Oxidation Processes	Luiz et al., (2012); José et al., (2013).
	Ozonation			
Biological	Activated Sludge	Cristovão et al. (2015a)		
	Filtration / anaerobic biofilter	Muthukumaran e Baskaran (2013)		
	Anaerobic Biofilter Bioreactors	Muthukumaran e Baskaran (2013)		
	Aerobic Reactor	Alexandre et al. (2011)		
	Photo-bioreactors	Andrade et al. (2010) Riaño et al. (2011)		

The fact that the fish processing industries generate a large volume of effluents containing high salts, organic matter and oils and greases, makes their treatment complex and makes it difficult to comply with the emission limits for industrial effluents. Allied to this, the great variation in the composition of these effluents, due to the different processes of production and types of fish, increases the difficulty of the treatment. For example, significant differences can be observed for the concentrations in a single parameter, the pH ranging from 5.5 to 7.6; for SST, concentrations of 324 to 9407 mgL⁻¹ were found; for BOD, concentrations between 463 and 19.200 mgL⁻¹ were

determined, and for COD 825 to 21.821 mgL⁻¹. The nutrients also followed the same trend, NT, from 21 to 471 mgL⁻¹ and PT from 2.7 to 291 mgL⁻¹, as well as oils and greases, which had concentrations between 78 and 3.656 mgL⁻¹ (Table 3).

It is suggested that separation of effluents into categories (using segregation processes) can improve the performance of treatment systems depending on the level of removal to be achieved. The combination of the most similar chains in terms of physico-chemical and microbiological characteristics, allows an ideal treatment for each type of effluent, providing greater energy savings, higher efficiency and lower cost of disposal. To facilitate the destination of the same to different types of reuse and/or recycling especially in cases related to industries, where the restrictions are determined according to the application of treated effluent.

Another problem to be faced when using water reuse systems in meat products industries is the limitation imposed by the regulations (Table 3). Reuse in these industries is generally restricted to direct or indirect reuse for operations where water does not come into contact with the product being processed or, in some situations, with the person handling it (Ferraciolli, 2017).

An example of this problem is the US regulations, which, although they provide for various types of effluent reuse applications, present recycling restrictions in the food processing industry. In this case, water reuse is governed according to the criteria of each state and presents limits for microbiological and physical-chemical parameters for reuse in cooling towers, irrigation, sanitary discharges, aquifer recovery, among others (EPA, 2012) (Table 3). However, some countries have advanced in the elaboration of norms for the food industry, as is the case of Spain and Greece, which already have reuse criteria for food processing and cleaning waters (Table 3), more stringent monitoring (Mayor-Sanz & Gawlik, 2014).

In the case of Spain, Royal Decree 140 (Spain, 2003) establishes sanitary criteria for the quality of water for human consumption, providing that drinking water must be clean and safe, not containing any type of micro-organism, parasite or substance, in quantities or concentrations which constitute a risk to human health, in addition to meeting specific requirements for microbiological, chemical and radioactive parameters (Spain, 2003). The Joint Ministerial Decision of Greece n°. 14.5116 (JMD, 2011) establishes the measures, limits (Table 5) and procedures for the reuse of treated effluents. In the case of Brazil, the regulation used is technical norm NBR 13.969

(ABNT, 1997) (Table 3), which, although not specific for effluent reuse, presents the wastewater concentration limits for reuse. Four classes of reuse water and their respective quality standards were defined.

Table 3 - Physical-chemical characteristics of final effluents from the fish processing industry and admitted concentrations for industrial reuse.

Parameter	Characteristics	Reference	Concentrations limits adopted by the Regulations
pH	7.2 – 7.6	Palenzuela-Rollon et al. (2002);	6 – 9 EPA (2012)
	6.0 – 7.0	Najafpour et al. (2006);	6.5 – 8.4 Spain, (2007)
	6.85	Alouiet al (2009);	6.5 – 8.5 JMD (2011)
	6.13 – 7.14	Cristovão et al. (2015);	6 – 8 ABNT (2007)
	5.5 – 7.2	Alexande et al. (2011);	
	6.3 – 7.0	Cristovão et al. (2012);	
	7.67	Muthukumaran e Baskaran (2013);	
	6.7 – 7.1	Riaño et al. (2011)	
TSS (mgL ⁻¹)	2.000	Najafpour et al. (2006);	≤ 10 mg/L (80% of samples)
	324 - 3.150	Cristovão et al. (2015);	JMD (2011)
	324 – 9.407	Cristovão et al. (2012);	≤ 35 mg/L España (2007)
	615 – 657	Muthukumaran e Baskaran (2013)	≤ 5 mg/L EPA (2012)
BOD (mgL ⁻¹)	5.100	Najafpour et al. (2006);	≤ 30 mg/L EPA (2012)
	1.600	Aloui et al (2009);	≤ 10 mg/L (80% of samples)
	463 – 4.569	Cristovão et al. (2015);	JMD (2011)
	1.129 – 19.200	Cristovão et al. (2012);	
COD (mgL ⁻¹)	2500 – 3500	Muthukumaran & Baskaran (2013)	
	2.718	Palenzuela-Rollon et al. (2002);	
	6.000 – 9.000	Najafpour et al. (2006);	
	3.400	Aloui et al (2009);	
	1.147 – 8.313	Cristovão et al. (2015);	
	1.313 – 12.333	Alexande et al. (2011);	
	1.967 – 21.821	Cristovão et al. (2012);	
	1.518	Muthukumaran e Baskaran (2013);	
TN(mgL ⁻¹)	3.238 – 3.745	Riaño et al. (2011)	
	825 – 1.978		
	21 – 471	Cristovão et al. (2015);	30 mg/L (JMD (2011))
	98 - 211	Cristovão et al. (2012);	
	112	Muthukumaran & Baskaran (2013);	
TP (mgL ⁻¹)	341 – 352	Riaño et al. (2011)	
	46 – 50		
	13 – 47	Cristovão et al. (2015);	1-2 mg/L (JMD (2011))
	16,6 - 67	Cristovão et al. (2012);	
	197 – 291	Muthukumaran & Baskaran (2013);	
Oils and Greases (mgL ⁻¹)	2.7 – 10.7	Riaño et al. (2011)	
	232	Palenzuela-Rollon et al. (2002);	*
	156 – 2.808	Cristovão et al. (2015);	
	78 – 3.656	Alexande et al. (2011);	
	409 – 2.841	Cristovão et al. (2012);	

Total Suspended Solids (SST), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Nitrogen (NT), Total Phosphorus (PT), Ammoniacal Nitrogen (N. Ammoniacal)

* Parameters not indicated by the regulations adopted.

Therefore, in order to choose the most appropriate technologies for the treatment of effluents from the fish processing industry, it is necessary to define the intended destination, either for discharge into the water sources or for the application in reuse and/or recycling systems. Based on related legislation, the available technologies can be related to the levels of removal required. The removal efficiency for some parameters of effluent treatment technologies from the fish processing industry are presented in Table 4.

It is worth mentioning the treatment made up of the following units: sedimentation, flotation/coagulation/flocculation, activated sludge, sand filter, reverse osmosis and UV disinfection proposed by Cristovão et al. (2015a) (Table 4), for the parameters dissolved organic carbon, oils and greases, SST, anions and cations, and heterotrophic bacteria.

Although the removal rates did not reach 100%, or the treatment unit had not been tested for several parameters, other treatment technologies were promising, such as the system used by Cristovão et al. (2012), composed of sedimentation units and coagulation/flocculation (Table 4); The system used by Cristovão et al. (2014a) (Table 4), or those that adopted a single treatment unit, such as the rotary bioreactor (Table 4), with a removal capacity of 98% COD (Najafpour et al., 2006); Even if the study did not present data for other parameters, obtaining such removal rate for organic matter is significant. Microfiltration with ceramic membranes (Table 4) (Kuca & Szaniawska, 2009); The Photo-bioreactor (Table 4) studied by Riaño et al. (2011), the activated sludge system (Table 4), Cristovão et al. (2015b).

The treatment technologies used allowed high levels of removal to be achieved. However, it is necessary to consider the variation in the concentrations of the compounds present in these effluents, depending on the species of fish processed, forms of processing and quantity processed. (Anh et al., 2011; Chowdhury et al., 2010; Cristovão et al., 2012). The use of a standard treatment system, capable of meeting the needs of the fish processing industries, is becoming less viable since the variability of the industrial activities and the types of effluents generated are as a limiting factor when designing projects. This problem can be evidenced when analyzing effluent treatment technologies for reuse and/or recycling in the fish industry, where most of the studies are concentrated in experiments confined to laboratory environments, using the pilot

scale analyzes, while few cases present data on economic and technical feasibility with full scale application.

Table 4 - Levels of removal of effluent pollutants from the fish processing industries according to the treatment technologies used.

Treatment	Parameters	Removal	Reference
Sedimentation and Coagulation/ Flocculation	TSS	86%	Cristovão et al. (2012)
	Oils and Greases	99.7%	
Sedimentation and FAD	TSS	95%	Jamieson et al. (2010)
	COD	60%	
	TN	50%	
Coagulation/Flocculation with FeCl ₃	TSS	95.4%	Fahim et al. (2001)
	BOD	89.3%	
	COD	87,5%	
	Oils and Greases	92%	
Photo-bioreactor	COD	71%	Riaño et al. (2011)
		95%	
	NT PT	74.1%	
Rotary Bioreactor	COD	98%	Najafpour et al. (2006)
Discontinuous Mixed Reactor and Compact Filter Reactor	TN	99.9%	Huiliñir et al. (2012)
	Dissolved Organic Carbon	88%	
Activated Sludge	Dissolved Organic Carbon	88%	Cristovão et al. (2015b)
Microfiltration with ceramic membranes	BOD	72%	Kuca & Szaniawska (2009)
	COD	60%	
	Oils and Greases	73%	
Ultrafiltration with ceramic membranes	COD	86%	Pérez-Gálvez (2011)
	Proteins	77%	
Bioreactor and Ultrafiltration by membranes	COD	92%	Artiga et al. (2008)
Microfiltration and Membrane Nanofiltration	Oils and Greases	69%	Afonso e Bórquez (2002)
	Volatile Solids	64%	
	Total solids	22%	
	Proteins	66%	
Biological treatment and advanced oxidation by reagent Fenton	Total Organic Carbon	64.4%	Cristovão et al. (2014a)
	Dissolved Organic Carbon	99.9%	
Sedimentation/flotation; Coagulation/ flocculation; Biological treatment by activated sludge process; Filtering by sand filter; Reverse osmosis and UV disinfection.	Oils and Greases	99.8%	Cristovão et al. (2015a)
	TSS	98.4%	
	Anions and Cations	96%	
	Heterotrophic Bacteria	100%	

3.9 Final Considerations

The identification and design of prevention, recycling and reuse measures associated to the adequate treatment of waste and closed industrial systems, presenting itself as an important tool for management, the possibility of reuse of effluents is among the most important issues, when the objective is to promote the sustainability linked to the industry, because the consequences of failures in waste management affect social, environmental and economic aspects.

Due to the peculiarities presented by the effluents of the industry under study (fish processing), the use of systems composed by the combination of physical and chemical or biological processes has been used in an appropriate way for the discharge of effluents into water bodies and reuse for less restrictive purposes such as irrigation, Recharge of aquifers and hydro-sanitary facilities.

For industrial reuse without the requisite potability, tertiary level treatment technologies should be added to these systems, such as those intended to meet more stringent levels of removal, such as those recommended by the US, Spain and Greece regulations.

For the reuse and recycling in fish processing industries, with the need to meet drinking requirements, it is recommended to use a combination of processes with the use of advanced treatment techniques, with the need to use disinfection technologies.

3.10 Acknowledgments

The authors thank the National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ) for the project financing (process: 407728 / 2012-0) and for the productivity grant (Process 312697 / 2014-7).

3.11 Referências

ABDEL-RAOUF, N.; AL-HOMAIDAN, A. A.; IBRAHEEN, I. B. M. Microalgae and wastewater treatment. **Saudi Journal of Biological Sciences**, [S.I.], n. 19, p. 257–275, 2012.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Tanque sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes- Projeto, construção e operação – NBR 13969. Rio de Janeiro, 1997.

AFONSO, M. D.; BÓRQUEZ, R. Nanofiltration of wastewaters from the fish meal industry. **Desalination**, [S.I.], n. 151, p. 131–138, 2002.

ALCALDE SANZ, L; GAWLIK, B. M. Water Reuse in Europe - Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. (2014) Disponível em: <<https://ec.europa.eu/jrc>>. Acesso em: 10 outubro de 2015.

ALEXANDRE, V. M. F. et al. Performance of anaerobic bioreactor treating fish-processing plant wastewater pre-hydrolyzed with a solid enzyme pool. **Renewable Energy**, [S.I.], n. 36, p. 3439-3444, 2011.

ANDRADE, L. et al. Influência de nitrogênio amoniacal e vazão de ar no processo de nitrificação, etapa de tratamento de efluente de abatedouro de peixe. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.160-167, 2010.

ANH, P. et al. Towards eco-agro industrial clusters in aquatic production: the case of shrimp processing industry in Vietnam. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], n. 19, p. 2107–2118, 2011.

ANTELO, L. T. et al. Fish discards management: Pollution levels and best available removal techniques. **Marine Pollution Bulletin**, [S.I.], n. 64, p. 1277–1290, 2012.

ARÉVALO, J. et al. Wastewater reuse after treatment by MBR. Microfiltration or ultrafiltration? **Desalination**, [S.I.], n. 299, p. 22–27, 2012.

ARTIGA, P. et al. Use of a hybrid membrane bioreactor for the treatment of saline wastewater from a fish canning factory. **Desalination**, [S.I.], n. 221, p. 518–525, 2008.

ARVANITOYANNIS, I. S.; KASSAVETI, A.; LADAS, D. Food Waste Treatment Methodologies. In: Arvanitoyannis, I. S.(Ed.). **Waste Management for the Food Industries**. 1ª ed., Elsevier Inc, 2008.p. 345-410, cap. 6.

ARVANITOYANNIS, I. S.; KASSAVETI, A. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 43, p. 726–745, 2008.

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**. Springer, 2011. p. 295-306, Vol. 14.

BARROS, M. C. et al. Identification of best available techniques in the seafood industry: a case study. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], n. 17, p. 391–399, 2009.

BHATTACHARYA, P. et al. Combination technology of ceramic microfiltration and reverse osmosis for tannery wastewater recovery. **Water Resources and Industry**, [S.I.], n. 3, p. 48-62, 2013.

CHOWDHURY, P.; VIRARAGHAVAN, T.; SRINIVASAN, A. Biological treatment processes for fish processing wastewater- A review. **Bioresource Technology**, [S.I.], n. 101, p. 439-449, 2010.

CODEX ALIMENTARIUS. Codex Alimentarius Commission: Codex Committee on Food Hygiene. Proposed Draft Guidelines for the Hygienic Reuse of Processing Water in Food Plants. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, 34th Session, Bangkok, Thailand, 2001.

CRISTÓVÃO, R. O., Botelho, C. M. S, Martins, R. J. E., Boaventura, R. A. R. Chemical and biological treatment of a fish canning wastewater. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics**, [S.I.], v. 2, n. 4, p. 237–242, 2012.

CRISTÓVÃO, R. O., Gonçalves, C., Botelho, C. M. S., Martins, R. J. E., Boaventura, R. A. R. Chemical oxidation of fish canning wastewater by fenton's reagent. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S.I.], n. 2, p. 2372–2376, 2014a.

CRISTÓVÃO, R. ; BOTELHO, C. M.; MARTINS, R. J. E., LOUREIRO, J. M.; BOAVENTURA, R. A. R. (2014b). Primary treatment optimization of a fish canning wastewater from a Portuguese plant. **Water Resources and Industry**, v. 6, 51–63.

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 – a case study. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], n. 87, p. 603–612, 2015.

DUARTE J. G., SILVA, L. L. S., FREIRE, D. M., CAMMAROTA, M. C. GUTARRA, M. L. E. Enzymatic hydrolysis and anaerobic biological treatment of fish industry effluent: Evaluation of the mesophilic and thermophilic conditions. **Renewable Energy**, n.83, p. 455-462, 2015.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA). **Guidelines for Water Reuse**. EPA/600/R-12/618. Washington, D.C., 643 p., 2012. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>. > Acesso em: 12 ago. 2014.

ESPAÑA. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 140, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. **Boletín Oficial del Estado**, Madrid, 8 diciembre 2003. Disponible em: <<http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/.../A50639-50661.pdf>> Acceso em: 10 abr. 2016.

ESPAÑA. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 1.620, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. **Boletín Oficial del Estado**, Madrid, 8 diciembre 2007. Disponible em: <<http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/.../A50639-50661.pdf>> Acceso em: 10 abr. 2015. /2017

FAHIM, F.A., et al. Evaluation of some methods for fish canning wastewater treatment. **Water Air Soil Pollut**, n.127, p. 205–226, 2001.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **GLOBE FISH Highlights**. [S.I.], 56 p., 2013. Disponible em: < <http://www.globefish.org/homepage.html>> Acceso em: 10 ago. 2016.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Year book Fishery and Aquaculture Statistics 2014**. Rome, 105p, 2016. Disponible em: < http://www.fao.org/fishery/static/Yearbook/YB2014_CD_Master/booklet/i5716t.pdf> Acceso em: 20 ago. 2016.

FERRACIOLLI, L.M.R.V.D; LUIZ, D. ; NAVAL, L.P. Potential for reuse of effluent from fish-processing industries. **Revista Ambiente e Água** [online]. vol.12, n.5, pp.730-742. ISSN 1980-993X. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2045>. 2017.

GHALY, A.E.; RAMAKRISHNAN, V.V.; BROOKS, M.S.; BUDGE, S.M.; DAVE, D. Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review. **J Microb Biochem Technol** 5: 107-129, 2013.

ISLAM, S.; KHAN, S; TANAKA, M. Waste loading in shrimp and fish processing effluents: potential source of hazards to the coastal and nearshore environments. **Marine Pollution Bulletin**, n. 49, p. 103–110, 2004.

JAMIESON, B. L.; GONÇALVES, A. A.; GAGNON, G. Evaluation of treatment options for Atlantic Canadian seafood processing plant effluent. **Canadian Journal of Civil Engineering**, n. 37, p. 167-178, 2010.

JOINT MINISTERIAL DECREE (JMD) 145116/2011: Definition of measures, conditions and procedure for wastewater reuse. Greek Government Gazette 354B, 8/3/2011.

JOSÉ, H. J., MOREIRA, R. F. P. M., LUIZ, D. B., VIRMOND, E., GENENA, A. K., ANDERSEN, S. L. F., SENA, R. F., SCHRÖDER, 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**. InTech, January 1, 2013. p. 701-733, cap. 30.

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

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**. InTech, 2012.p. 3-24, cap.1.

MALATO, S. et al. Technologies for Advanced Wastewater Treatment in the Mediterranean Region. In: Barceló, D.; Petrovic, M. (Ed.). **The Handbook of Environmental Chemistry**. Springer, 2011.p. 1-28, Vol. 14.

MEDAWARE. **Development of Tools and Guidelines for the Promotion of the Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse in the Agricultural Production in the Mediterranean Countries.Task 5: Technical Guidelines on Wastewater Utilisation**. European Commission, Euro-Mediterranean Partnership, MEDA Water, 170p., 2005. Disponível em: <<http://www.medawaterrmsu.org/Projects/MEDAWARE.htm>> Acesso em: 17 out. 2015.

MEHTA, K. P. Design of Reverse Osmosis System for reuse of wastewater from Common Effluent Treatment Plant. **International Research Journal of Engineering and Technology**, vol. 2, n. 4, p. 983-991, 2015.

MITTAL, G. S. Treatment of wastewater from abattoirs before land application—a review. **Bioresource Technology**, n. 97, p. 1119–1135, 2006.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility- A case study. **International Biodeterioration and Biodegradation**, n. 85, p. 563-570, 2013.

NAJAFPOUR, G.D.; ZINATIZADEH, A.A.L.; LEE, L.K., Performance of a three-stage aerobic RBC reactor in food canning wastewater treatment. **Biochemistry Engineering Journal**, n. 30, p. 297–302, 2006.

NORTON, T.; MISIEWICZ, P. Ozone for water treatment and its potential for process water reuse in the food industry. In: O'Donnell, C. et al. (Ed.). **Ozone in Food Processing**. 1. ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2012.p. 177-200, cap. 11.

RIAÑO, B.; MOLINUEVO, B; GARCÍA-GONZALES, M. C. Treatment of fish processing wastewater with microalgae-containing micorbiota. **Bioresource Technology**. [S.I.], n. 102, p.10829-10833, 2011.

SOUZA, M. A. **Eficiência do processo de ultrafiltração seguido de biodigestão anaeróbia no tratamento de efluente de frigorífico de tilápia**. 2010.77 f. Tese (Doutorado em Aquicultura)– Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista, São Paulo 2010.

STEINEL, A.; MARGANE, A. **Best management practice guideline for wastewater facilities in karstic areas of Lebanon**. Project 2008.2162.9: Protection of Jeita Spring. Ballouneh, 147 p., 2011. Disponível em: <http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/TZ/Libanon/techn_rep_2.pdf?__blob=publicationFile&v=4> Acesso em: 12 out. 2015.

SUNNY, N; MATHAI, L. Physicochemical process for fish processing wastewater. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, [S.I.], vol. 2, n. 4, p. 901-905, 2013.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Water and Wastewater Reuse - An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management**. Osaka, 48 p., 2005. Disponível em: <http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=3596> Acesso em: 22 out. 2015.

PALENZUELA-ROLLON, A., ZEEMAN, G., LUBBERDING, H. J., LETTINGA, G., ALAERTS, G.J. Treatment of fish processing wastewater in a one ortwaste pup flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Water Science Technology**, n. 45, p. 207–212, 2002.

YI, L.; JIAO, W.; CHEN, X.; CHEN, W. An overview of reclaimed water reuse in China. **Journal of Environmental Sciences**, [S.I.], 23v., p. 1585–1593, 2011.

APÊNDICE II

Artigo em Inglês do CAPÍTULO IV

REUSE ALTERNATIVES OF EFFLUENTS FROM THE FISH PROCESSING INDUSTRY THROUGH MULTICRITERIA ANALYSIS²

RIBEIRO, Fábio Henrique de Melo^a; NAVAL, Liliana Pena^a.

^a Federal University of Tocantins (UFT). Av. NS 15, 109 Norte, Bloco 2, Sala 7, Lab. Saneamento Ambiental. Postal Code: 77001/090 | Palmas/Tocantins – Brazil.

fabioribeiro@uft.edu.br; liliana@uft.edu.br

ABSTRACT

The fish processing industry is characterized by the high volume of water used in the production stages and the consequent increase in the generation of effluents. As a way to promote a more sustainable model, reuse is promising to reduce the consumption of this natural resource, in addition to reducing operating costs. However, in order to propose a reuse system one must choose the appropriate treatment technology, taking into account the characteristics of the generated effluents and the normative requirements for this purpose. Considering these prerogatives, this work aimed to evaluate alternatives to effluent treatment systems generated by fish processing industries capable of meeting technical, environmental and economic criteria, in order to comply with industrial reuse regulations. We adopted Multi Criteria Analysis (AMC), with the help of the PROMETHEE tool, to weigh the quantitative and qualitative aspects that influence decision-making. The results showed that it is possible to group effluents with similar characteristics, allowing increasing the alternatives of reuse and adaptation of the costs and the complexity of the system according to the needs of each industrial plant.

Palavras-chave: fish industry; multi criteria analysis; reuse; wastewater treatment.

² The submission entitled " 4. REUSE ALTERNATIVES OF EFFLUENTS FROM THE FISH PROCESSING INDUSTRY THROUGH MULTICRITERIA ANALYSIS " has been received and will now be peer reviewed for possible publication in JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION. ISSN 0959-6526.

1. Introduction

The recovery of treated effluents is one of the economically more viable and sustainable alternatives for the preservation of water resources (LEUNG et al., 2012). Adopting adequate management of these resources can save up to 30% on total water consumption (Angelakis & Gikas (2014). Specifically, in the case of the fish processing industry, where water is used in abundance at various stages of production, the adoption of measures to reduce waste and effluent production is necessary (ANH et al., 2011, MUTHUKUMARAN & BASKARAN, 2013, CRISTOVÃO et al., 2015).

In these circumstances, the reuse and recycling systems is promising to achieve these objectives and is important for achieving sustainable management (EPA, 2012). However, the main challenge is still in the selection of the best technology available, able to meet the established environmental requirements. Several factors are involved in the decision-making process, however, the available data do not cover all the criteria listed (KALBAR et al., 2012b). Thus, the starting point for the construction of a decision matrix for the choice of effluent treatment technologies involves defining the possibilities of the reuse types to be used, which are intrinsically linked to the quality of the wastewater generated.

Nevertheless, the selection of effluents for reuse, treatment technologies for this purpose and the possibilities of application is a complex task, requires a decision to be made in accordance with a series of criteria and objectives, which are most of the time, competitors (BRITES, 2008; KALBAR et al., 2012a). Among the criteria adopted for the selection of treatment systems, the key question is still the selection of the appropriate technology to meet the quality requirements at a low cost (YI et al., 2011), according to the specific category of reused. When it comes to decision-making processes for solving environmental problems, decision-making becomes even more challenging, since judgments of environmental, social, economic and political value should be considered (LAHDELMA et al., 2000; HIDALGO et al., 2007; GARRIDO-BASERBA et al., 2012).

In relation to effluents from fish processing, there is still a need for additional treatments, with the integration of different processes, especially when the purpose is quality assurance and adequacy for the intended reuse (BARCELÓ et al., 2011; SIMATE et al., 2011; ALCALDE-SANZ & GAWLIK, 2014). Also, due to the specific

criteria of the meat industry, the requirements become more rigid, especially for direct recycling in the food preparation, handling and packaging processes, where the use of potable water is necessary (CHOWDHURY et al. 2010; NORTON & MISIEWICZ, 2012). However, there is a possibility of replacing drinking water with effluent treated in some food industry processes, provided it does not compromise public health (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2001).

In this context, as a way of subsidizing problem-solving procedures, methodological tools have been developed to support the decision-making of complex situations. Among these, the Multi Criteria Analysis (AMC) methods are being used effectively in environmental management projects, such as selection of technologies for water and effluent treatment, desalination and water resources management (Kant et al., 2005).

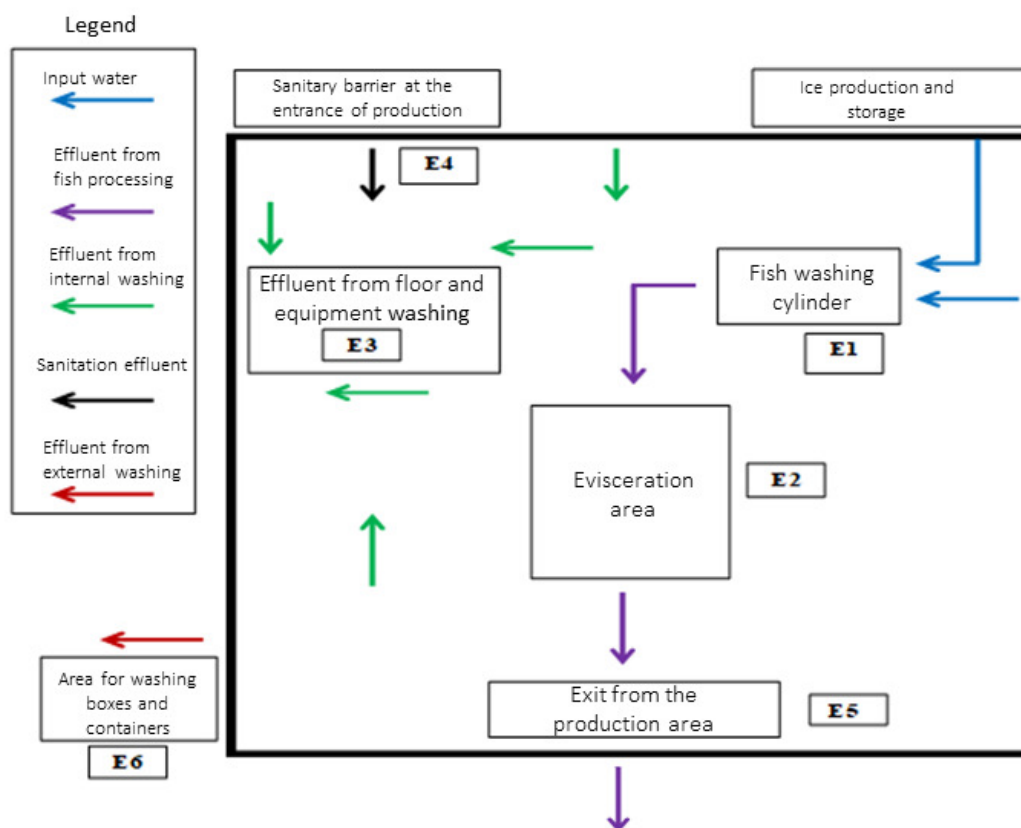
With the objective of selecting the most suitable effluent treatment technologies for reuse, in the fish processing industries, both in less restrictive activities and in processes that require potability conditions. This work evaluated the influence of technical, economic and environmental aspects, in the decision making of the managers of this industrial sector, so that the proposed solution can satisfactorily meet the criteria adopted.

2. Material and Methods

2.1. Characterization of Fish Processing Effluents

The samples of the studied effluent were collected in a fish processing industry in the northern region of Brazil, with a monthly frequency, for a period of 11 months. The effluent generation flow was used to determine the sampling points, considering the processing stages (Figure 1): E1 - exit of the fish-washing cylinder; E2 - leaving the evisceration table; E3 - washing of internal floor and equipment; E4 - sanitary barrier at the entrance of production; E5 - final production output; E6 - washing of fish holding monoblocs.

Figure 1. Industrial processes used in the industry under study with representation of effluent flow.



The physico-chemical characterization of the effluent (Table 1) was performed using the APHA/AWWA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) for physical, chemical and microbiological parameters. A portable pH and conductivity meter, both of the Oakton brand (model 600 series), was used to determine pH and conductivity. The dissolved oxygen was measured using an oximeter (Hanna Instruments brand (model HI 9000 series)) and turbidity with a turbidimeter (Tecnopon brand (model TB 1000)). Nutrients, metals and hardness were determined using a spectrophotometer (HACH brand (model DR 6000)). For the determination of the total coliforms the colorimetric method (Collilert) was adopted. Total suspended solids and total dissolved solids were determined by gravimetric techniques and the oils and greases by solvent extraction. BOD₅ was determined by the 5-day dilution and incubation method at 20 ° C, and COD was determined by the reflux technique with potassium dichromate.

Table 1. Characterization of the effluents generated in the fish processing industry under study (values refer to the results of the design applying the ANOVA, with significance level of 5%).

Parameter	E1	E2	E3	E4	E5	E6
pH	7.2 – 8.7	5.59 – 8.9	6.1 – 8.8	6.87 – 9.2	5.5 – 8.5	7.0 – 9.2
SST (mg.L ⁻¹)	375.6	1026.8	444.8	59.3	673.13	97.9
SDTales (mg.L ⁻¹)	1136	1606	1090	312	990	344
BOD5 (mg.L ⁻¹)	668.8	841.8	391	49.9	742.5	79.3
COD (mg.L ⁻¹)	1382.2	1680.5	720.5	111.7	1591.7	167.6
O. D. (mg.L ⁻¹)	5.5	5.0	5.1	4.8	4.9	4.9
Ntotal (mg.L ⁻¹)	55.6	66.1	43.7	9.8	46.5	7.3
Ammonia Nitrogen (mg.L ⁻¹)	1.6	4.6	1.5	0.1	3.8	0.2
Ptotal (mg.L ⁻¹)	5.0	9.0	14.9	0.23	46.4	0.72
Oils and Greases (mg.L ⁻¹)	0.17	1.1	0.58	0.135	0.69	0.02
Total Chlorides (mg.L ⁻¹)	74.5	46.8	22.7	13.9	40.2	27.6
Turbidity (UT)	34.2	87.4	40.6	17.1	64.9	9.8
Conductivity (µS/L)	57	32.5	31.5	34.7	64.5	29.2
Hardness (mg.L ⁻¹)	3.6	1.3	3.0	4.2	3.1	4.7
Sulfate (mg.L ⁻¹)	1.3	2.6	2.6	1.83	2.3	3.0
Fluoride (mg.L ⁻¹)	0.1	0.17	0.34	0.5	0.75	0.9
Iron (mg.L ⁻¹)	0.25	0.37	0.12	0.04	0.39	0.04
Aluminum (mg.L ⁻¹)	0.038	0.048	0.010	0.015	0.035	0.005
Zinc (mg.L ⁻¹)	0.06	0.24	0.14	0.13	0.03	0.14
Chromium (mg.L ⁻¹)	0.12	0.251	0.196	0.055	0.15	0.007
Total Coliforms (NMP / 100mL)	123	680	245	90	1000	49.2
Thermotolerant Coliforms (NPM / 100mL)	60	640	177	5	900.7	42.8

Legends: E1 - exit of the fish-washing cylinder; E2 - leaving the evisceration table; E3 - washing of internal floor and equipment; E4 - sanitary barrier at the entrance of production; E5 - final production output; E6 - washing of fish holding monoblocs.

For the statistical treatment, the following tools were used: normality test; a completely randomized design with analysis of variance (ANOVA) and tests of comparison of means. Six treatments with 11 replicates were analyzed with the assistance of the programs Assistat version 7.7 (2015). To evaluate the statistical significance of the correlations, the values were compared to a critical coefficient with a significance level of 5%.

2.2. Multi Criteria Analysis

In order to construct the reuse scenarios, treatment systems used for effluent from the fish industry were used, based on the study conducted by Ribeiro & Naval (2017) (Table 2), adopting as criteria for selection the levels of removal that met the regulations for reuse of effluents in industry. Four different scenarios of reuse of treated effluents were also accepted in the industry: i) reuse in the hydrosanitary installations; (ii) floor washing; (iii) cooling and heating systems; and iv) in fish processing activities.

As tools for the AMC, the programs Visual PROMETHEE 1.4 (2013), implementation software of both the PROMETHEE method and the GAIA method were tested; and the ELECTRE III-IV v. 1.3 (1994), implementation software for the ELECTRE III and IV methods. Taking into account that the results did not present differences in the classification of treatment systems for reuse, only the data provided by the PROMETHEE and GAIA methods were analyzed in detail, due to the better interface generated and greater possibility of correlations.

Table 2. Levels of removal of effluent pollutants from the fish processing industries according to the treatment technologies used.

Treatment	Parameters	Removal	Reference
Coagulation / Flocculation with FeCl ₃	SST	95.4%	Fahim et al. (2001)
	BOD	89.3%	
	COD	87.5%	
	Oils and Greases	92%	
Rotary Bioreator	COD	98%	Najafpour et al. (2006)
Discontinuous mixed reactor and Compact filter reactor	Ntotal	99.9%	Huiliñir et al. (2012)
	Dissolved Organic Carbon	88%	
Bioreator and Ultrafiltration by membranes	COD	92%	Artiga et al. (2008)
Bioreator; Coagulation/flocculation / sedimentation; Microfiltration by membranes	COD	100%	Queiroz et al. (2013)
	Dissolved Solids	100%	
	Ntotal	93%	
	Ptotal	100%	
Sedimentation/flotation; coagulation/flocculation; biological treatment by activated sludge process; sand filter filtration; reverse osmosis and UV disinfection	Dissolved Organic Carbon	99.9%	Cristovão et al. (2015)
	Oils and Greases	99.8%	
	SST	98.4%	
	Anions and Cations	96%	
	Heterotrophic Bacteria	100%	

Total Suspended Solids (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Nitrogen (Total), Total Phosphorus (Ptotal).

Reference: Ribeiro & Naval (2017).

The criteria identified for choosing the most appropriate technology for the treatment of effluents from the fish processing industries were delineated considering the economic, technological and environmental aspects (Table 3).

Table 3. Criteria used for decision-making.

Aspect	Criteria
Economic	Construction Cost (CC)
	Cost of Operation and Maintenance (CO & M)
Technological	Pollutant Removal Capability (CRP)
	System Complexity (COMP)
	Skilled labor (MOE)
Environmental	Potability (PO)
	Power Consumption (CE)
	Odors (OD)

As the objective was to choose an efficient treatment system with the appropriate cost-benefit ratio, it was defined that the criteria of greater economic and environmental impact should have importance and greater weight in the analysis (similarly to the studies of Bottero et al., (2011)), such as potability, implementation costs and removal efficiency. While operating and maintenance costs should be of intermediate importance, followed by other criteria in order of importance (Table 4). In cases where the criterion of potability was not necessary in decision-making, its weight was redistributed, prioritizing the criteria of cost and efficiency of removal.

To test the adopted weights and ensure that their choices would not direct the results of treatment system classifications, random number sequences were used for each scenario, generated from random.org, where randomness is obtained by noise atmospheric. The use of these sequences in the PROMETHEE 1.4 program (2013) showed that the intrinsic difficulties, usually generated by the use of subjective variables, do not compromise the final result in the classification process of the alternatives, allowing the correlations between the variables and the components.

Statistically test the weights adopted and to ensure that their choices would not direct the results of treatment system classifications, random number sequences generated at random.org (random.org, 2018) was used, where randomness is obtained by atmospheric noise. The use of these sequences in the PROMETHEE 1.4 program (2013) showed that the intrinsic difficulties, usually generated by the use of subjective

variables, do not compromise the final result in the classification process of the alternatives, allowing the correlations between the variables and the components.

Table 4. Weights assigned to the criteria adopted in the different effluent reuse scenarios of the fish processing industry.

CC	CO&M	CRP	COMP	MOE	CE	OD	PO
Reuse System for Potable Water							
19.03	14.29	19.82	5.08	4.86	8.47	5.24	23.21
Reuse System for Industrial Refrigeration							
24.42	19.83	22.06	7.41	8.28	12.94	5.06	-
Reuse System for Sanitary Facilities							
20.56	17.08	21.67	10.90	10.12	7.09	12.58	-
Reuse System for Floor and Sidewalk Cleaning							
21.12	19.30	20.69	11.07	7.72	7.31	12.83	-

Legends: CC: Construction Cost; CO&M: Cost Operation; CRP: Removal of Pollutants; COMP: System Complexity; MOE: Skilled labor; CE: Power Consumption; OD: odor and PO: Potability.

The nominal values adopted for the criteria (quantitative and qualitative) in this work were adopted under the premises described by Garrido-Baserba (2012) whose methodology is based on knowledge, in which expert interviews, the compendium of specialized literature and the experiences of are incorporated into the different levels of abstraction.

Thus, for the CC, CO & M and CE criteria, references were adopted Gorigoitia (2011), Martins (2013), Lermontov et al. (2011) and Cristovão et al. (2015); for the CRP criteria, the values in Table 1 were adopted; and for the COMP, MOE and OD criteria was used from the authors' experience.

2.3. Evaluation of Reuse Potential and/or Effluent Recycling

As reference parameters for analysis of the results of the main effluent characteristics for reuse and or recycle possibilities. The following recommendations were considered (Table 5): EPA (2012); Royal Decree 1.620 of Spain (SPAIN, 2007); Decree-Law 306 of Portugal (PORTUGAL, 2007); Joint Ministerial Decision of Greece JMD 145116 (GREECE, 2011); Australian Regulation (NSW / FA, 2008); NBR 13,969 (ABNT, 1997) and Ordinance n° 2914/2011 of the Ministry of Health (BRAZIL, 2011).

Table 5. Limit values of the parameters for industrial reuse of treated effluents, according to the main national and international regulations on the subject.

Parameters	EPA	Spain	Portugal	Greece	Australia	Brazil	Brazil - Potability
Physic-chemical parameters							
pH	6.0 - 9.0	6.0 - 8.5	6.5 - 9.0	NA	6.5 - 8.5	6.0 - 8.0	6.0 - 9.0
SST(mg.L ⁻¹)	30	5.0 - 35	NA	2.0 – 35	NA	NA	NA
DST(mg.L ⁻¹)	NA	NA	NA	2.000	NA	NA	1.000
BOD ₅ (mg.L ⁻¹)	30	NA	NA	10 – 25	<10	NA	NA
Ntotal (mg.L ⁻¹)	NA	NA	50	30	NA	NA	NA
Ptotal (mg.L ⁻¹)	NA	NA	-	1 – 2	NA	NA	NA
TChlorides (mg.L ⁻¹)	NA	NA	250	350	NA	NA	250
Turbidity (UT)	2- 2.5	1-15	4	2-*	<5	<5	5
Microbiological Parameters							
T. Coliforms (NMP/100mL)	200	NA	0	2	NA	<200	Absence
Intest. nematodes (eggs / L)	NA	0.1	NA	NA	NA	NA	NA
<i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	NA	0 -10 ⁴	0	250 -10 ⁵	ND	NA	NA

Sources: EPA (2012); Royal Decree 1.620 of Spain (SPAIN, 2007); Decree-Law 306 of Portugal (PORTUGAL, 2007); Joint Ministerial Decision 14.5116 (GREECE, 2011); Australian Regulation (NSW / FA, 2008); NBR 13969 (ABNT, 1997); Ordinance MS N° 2.914 (BRAZIL, 2011). *unlimited; NA: not applicable; ND: not detectable

3. Results and Discussion

3.1 Analysis of the Technologies for the Treatment of Effluents of the Fish Processing Industry

Regarding effluent treatment, the industry may choose to use a lower cost technology when the reuse option adopted is less restrictive, as recommended by some regulations on water reuse (such as the US regulation (EPA, 2012) and NBR 13,969 (ABNT, 1997); or by the use of more advanced technologies (such as reverse osmosis and disinfection treatments), when the aim is to be recyclable (Cristovão, 2015). By optimizing the way in which the industries treat effluents, a reduction in plant operating costs can be achieved, as well as minimizing the generation and volume of effluents, without sacrificing value or product quality (EPA, 2013).

Regarding compliance with the regulations for industrial reuse (Table 2), with the exception of pH, none of the raw effluents analyzed fall within the recommended limits. However, in order for them to comply with the regulations for industrial reuse and potability, joint systems of advanced treatments are necessary (Table 6), since these technologies are capable of reducing the concentration of pollutants to the requirements of the regulations.

Table 6. Effluent treatment systems of the fish processing industries adopted as a possibility of drinking reuse.

Treatment	Parameters	Removal	References
Coagulation / Flocculation with FeCl ₃ (Coag / Floc)	SST	95.4%	Fahim et al. (2001)
	BOD	89.3%	
	COD	87.5%	
	Oils and Greases	92%	
Bioreator and Ultrafiltration by membranes (Bio + Memb)	COD	92%	Artiga et al. (2008)
Bioreator; Coagulation / flocculation / sedimentation; Microfiltration by membranes (Bio + Coag / floc / sed + Memb)	COD	100%	Queiroz et al. (2013)
	Dissolved Solids	100%	
	N _{total}	93%	
	P _{total}	100%	
Sedimentation / flotation; coagulation / flocculation; biological treatment by activated sludge process; sand filter filtration; reverse osmosis and UV disinfection (Sed / Flot + Coag / floc + LodoAt + Filtr + OsmRev + UV)	Dissolved Organic Carbon	99.9%	Cristovão et al. (2015)
	Oils and Greases	99.8%	
	SST	98.4%	
	Anions and Cations	96%	
	Heterotrophic Bacteria	100%	

Total Suspended Solids (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Nitrogen (Total), Total Phosphorus (P_{total}).

3.2 Multi Criteria Analysis in the Choice of Effluent Treatment Systems for Industrial Reuse

Considering the treatment systems to obtain the potability, from the results of characterization of the effluents and the requirements of the criterion PO (Ordinance MS N° 2.914 (BRAZIL, 2011)), the potential of reuse of the effluents of the processing industries can be evaluated more restrictive activities, such as the preparation, handling and packaging of fish.

However, the choice of treatment technologies that best fit the reality of each industry does not depend exclusively on the level of removal to be achieved, since technical, economic and environmental criteria also influence decision-making. In this way AMC can subsidize the choice of technology that satisfies as many criteria as possible (objective and subjective), considering competing aspects in the decision of the managers of these types of establishments.

Nevertheless, for the reuse scenario in the fish processing activities, the criterion of potability was considered to be the one of greater relative importance, with a higher weight rating than the others, due to the restrictive aspect for this application. The other criteria followed the logic proposed by Bottero et al. (2011). Among the alternatives of effluent treatment systems for the fish processing industry (Table 2), the technologies with the highest levels of removal (Table 6) were chosen, capable of producing higher quality reuse waters.

For the CC, CO & M and CE criteria, the references Gorigoitia (2011), Martins (2013), Lermontov et al. (2011) and Cristovão et al. (2015); for the CRP criterion, the values in Table 6 were adopted; and for the COMP, MOE and OD criteria, the authors' experience was used.

After the processing of the data by the AMC program used, it can be affirmed that the alternative that best meets the criteria listed for the importance weight adopted is the Bio + Coag / floc / sed + Memb effluent treatment system, proposed by Queiroz et al. (2013), followed by Sed / Flot + Coag / floc + LodoAt + Filtr + OsmRev + UV system proposed by Cristovão et al. (2015), (Table 7).

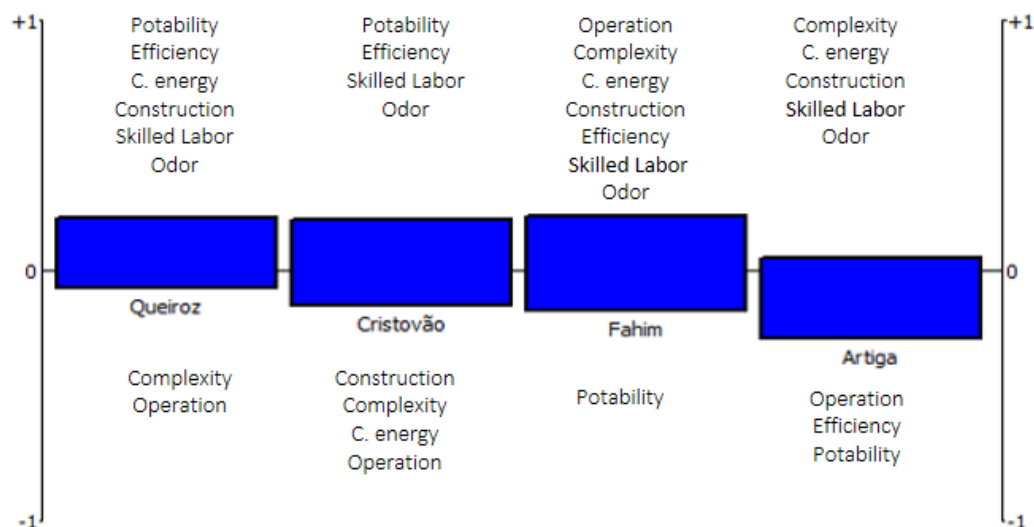
Table 7. Absolute values of consistency of the adopted criteria and classification of the alternatives proposed for potability.

Classification	Alternative	Weight Criterion	Criterion +	Criterion -
1	Bioreator; Coagulation / flocculation / sedimentation; Microfiltration by membranes (Queiroz et al., 2013)	0.1302	0.1948	0.0646
2	Sedimentation / flotation; coagulation / flocculation; biological treatment by activated sludge process; sand filter filtration; reverse osmosis and UV disinfection (Cristovão et al., 2015)	0.0516	0.1877	0.1362
3	Coagulation / Flocculation with FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0.0466	0.2013	0.1547
4	Bioreator and Ultrafiltration by membranes (Artiga et al., 2008)	-0.2283	0.0385	0.2668

However, the systems proposed by Fahim et al. (2001) and Artiga et al. (2008) - Bio + Memb - do not guarantee the potability of the treated effluent, which is a limiting factor for the reuse of the final effluent. Therefore, these alternatives should only be considered for the reuse of sanitary effluents at the entrance of production (E4) and washing of the monoblocs (E6).

The reason for the alternative proposed by Queiroz et al. (Bio + Coag /floc/sed + Memb) had the best overall performance; it is justified by the better attendance to the criteria of greater relevance, having an undesirable behavior only in the COMP criterion (Figure 2). However, it should be noted that the Coag/Floc alternative (Fahim et al., 2001) performed only poorly on the PO criterion, which made it unfeasible for recycling in the fish processing industry.

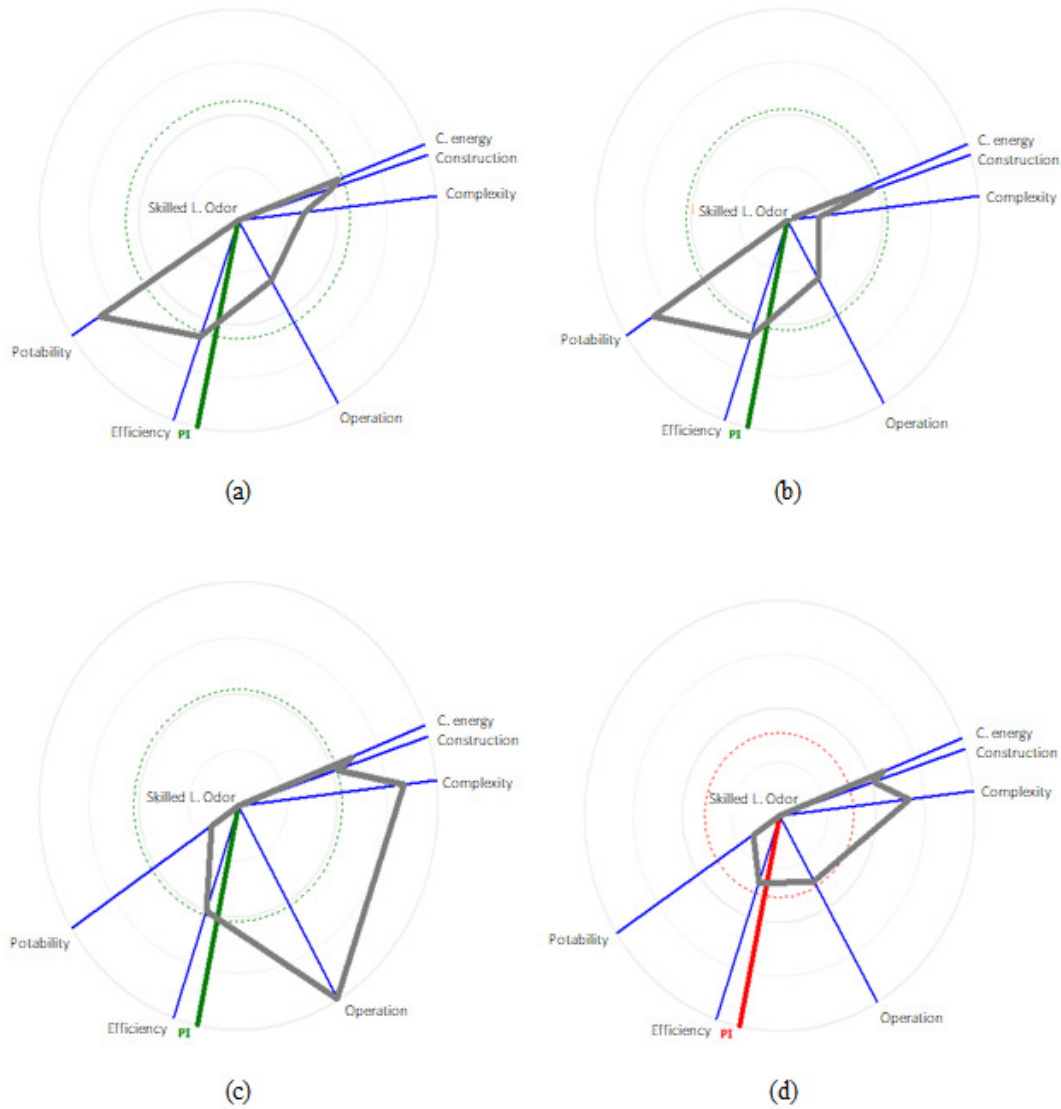
Figure 2. Behavior of effluent treatment alternatives according to the adopted criteria.



The criteria that most positively influenced the performance of the alternatives proposed by Queiroz et al. (2013) and Cristovão et al. (2015) were those of PO and Fahim et al. (2001) were the CO & M, COMP and CRP criteria, and for Artiga et al. (2008) the criteria COMP, CE and CC CRP (Figure 3). However, it should be emphasized that the decision to implement reuse systems should also take into account the scale to be applied, since large industrial plants can generate both environmental and economic benefits, even when using deployment cost systems since they allow the reduction of the effluent to be discarded and the consumption of water, thus reducing the associated costs.

The results show that the criteria that influenced most in the decision-making were those of pollutant removal efficiency (CRP) and potability (PO).

Figure 3. Behavior of the alternatives proposed by Queiroz et al. (2013) - Bio + Coag/floc/sed + Memb (a), Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot + Coag / floc + LodoAt + Filtr + OsmRev + UV (b), Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (c) and Artiga et al. (2008) - Bio + Memb (d), with the respective decision lines.



As for the possibility of reuse of water used for refrigeration in industries, this is among the categories of higher consumption within an industrial plant. The water quality requirements for these purposes are less restrictive, allowing the use of less complex treatment systems and simpler possibilities of combination (Chen et al., 2012; HANSEN et al., 2016). When the reuse scenario prioritizes less restrictive activities, potability requirements need not be considered. Therefore, the valuation of weights

must present a redistribution of importance, thus prioritizing the CC, CO & M and CRP criteria.

As alternatives to effluent treatment systems for the fish processing industry and delimitations of the adopted criteria, the same premises of the potability section were followed.

As for the possibility of reuse of water used for refrigeration in industries, this is among the categories of higher consumption within an industrial plant. The water quality requirements for these purposes are less restrictive, allowing the use of less complex treatment systems and simpler possibilities of combination (Chen et al., 2012; HANSEN et al., 2016). When the reuse scenario prioritizes less restrictive activities, potability requirements need not be considered. Therefore, the valuation of weights must present a redistribution of importance, thus prioritizing the CC, CO & M and CRP criteria. As alternatives to effluent treatment systems for the fish processing industry and delimitations of the adopted criteria, the same premises of the potability section were followed.

After the processing of the data by the AMC program used, it can be affirmed that the alternative that best meets the criteria listed, for the importance weight adopted is that of the effluent treatment system proposed by Fahim et al. (2001), followed by the systems proposed by Queiroz et al. (2013), Artiga et al. (2008) and Cristovão et al. (2015) (Table 8). However, the alternatives proposed by Queiroz et al. (2013) and Artiga et al. (2008) do not present a significant statistical difference, being able to opt for the one with the best cost-benefit ratio (Figure 5).

Table 8. Absolute values of consistency of the adopted criteria and classification of the alternatives proposed for reuse in industrial refrigeration.

Classification	Alternative	Weight Criterion	Criterion + Weight	Criterion -	Relationship O/I	Score
1	Coagulation/ Flocculation with FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0.2834	0.2834	0.0000	1.7908	96.79
2	Bioreator; Coagulation/fl occculation/sed imentation; Microfiltration by membranes (Queiroz et al., 2013)	-0.0555	0.0353	0.0908	0.8948	48.37
3	Bioreator and Ultrafiltration by membranes (Artiga et al., 2008)	-0.0571	0.0559	0.1130	0.8920	48.21
4	Sedimentation / flotation; coagulation / flocculation; biological treatment by activated sludge process; sand filter filtration; reverse osmosis and UV disinfection (Cristovão et al., 2015)	-0.1708	0.0245	0.1953	0.7082	38.28

The reason for the Coag/Floc alternative (Fahim et al., 2001) had the best overall performance, is given by the best meeting the most relevant criteria, also presenting an adequate behavior in all the criteria (Figure4).

Figure 4. Behavior of effluent treatment alternatives according to the adopted criteria.

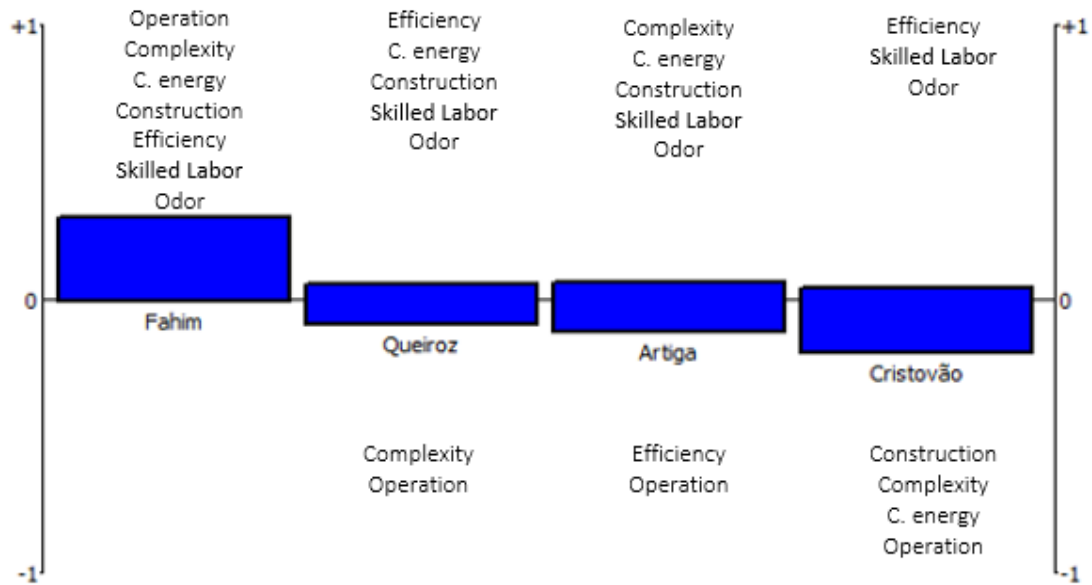
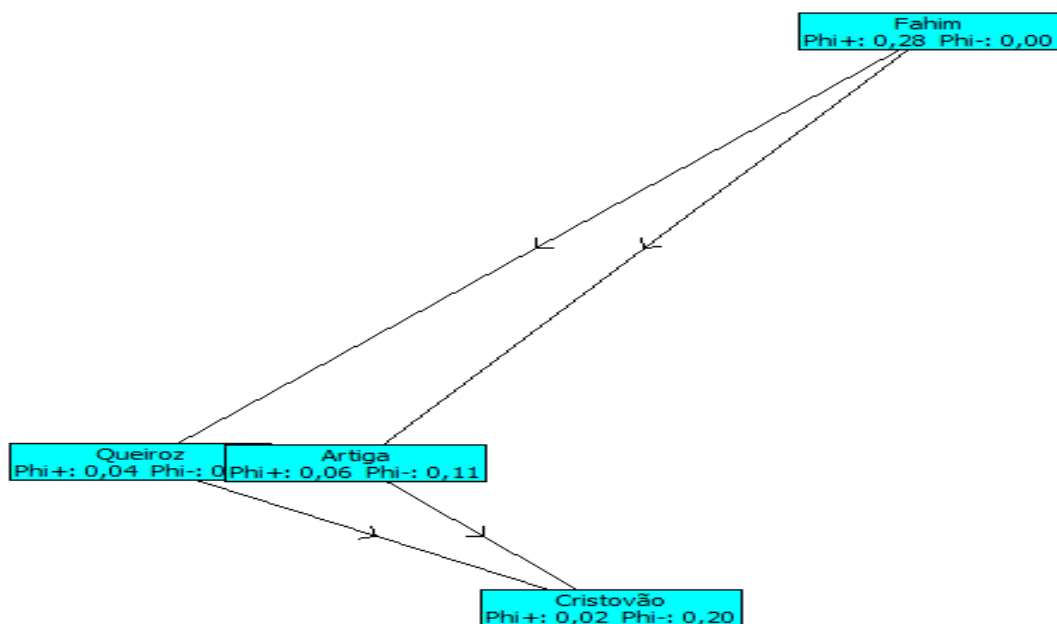


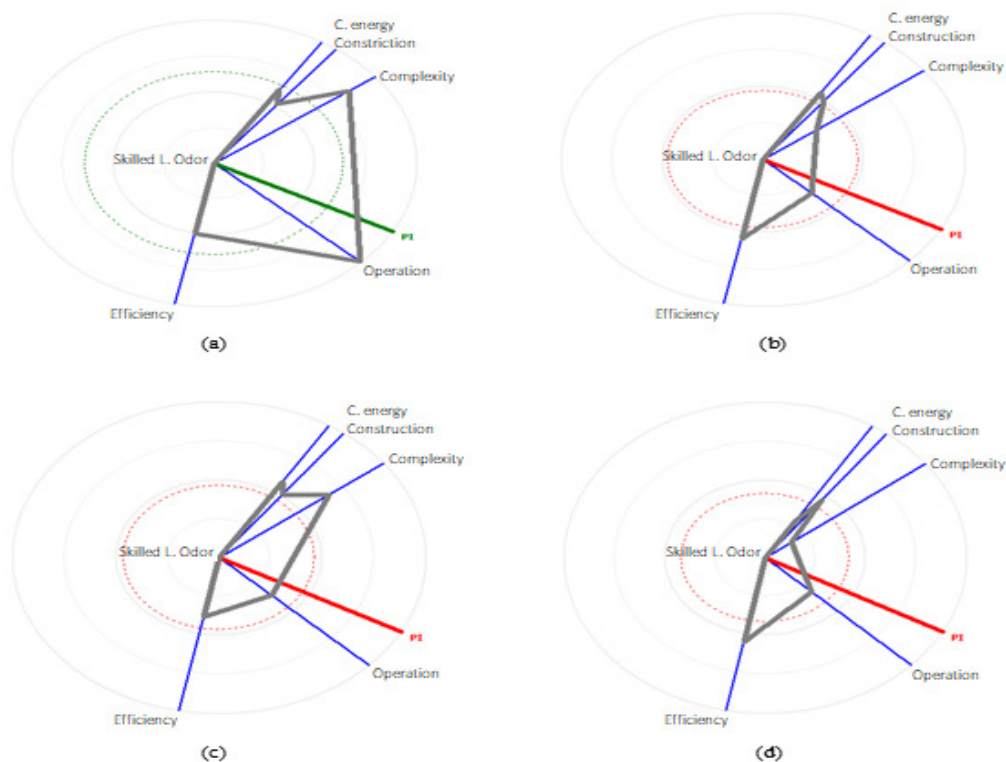
Figure 5. Diagram of distribution of the alternatives of effluent treatment proposed by Artiga (2008); Cristovão (2015) and Queiroz (2013).



The criteria that most positively influenced the performance of the alternative proposed by Fahim et al. (2001) were those of CO & M, COMP and CE. Already for Queiroz et al. (2013) were CRP and CE criteria; for Artiga et al. (2008) were the COMP, CE and CC criteria; and for e Cristovão et al. (2015) was the criterion of CRP. They also show that the criteria that most influenced the decision-making axes were the cost of operation and maintenance (CO & M) and complexity (COMP), (Figure 6).

However, it should be emphasized that, despite the system proposed by Fahim et al. (2001) present total suspended solids removal rates above 95%, it may be necessary in some cases to jointly use treatment technologies with the use of membrane separation, depending on the seasonal variability of effluent characteristics. The use of these systems is appropriate to remove the high salinity indices of this type of effluent, allowing a great reduction of the organic load (KUCA & SZANIAWSKA, 2009). In this context, the alternative proposed by Queiroz et al. (2013) may become more suitable for reuse in industrial refrigeration systems, especially in the case of industrial plants different types of processing.

Figure 6. Performance of the alternatives proposed by Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (a); Queiroz et al. (2013) - Bio + Coag/floc/sed + Memb (b); Artiga et al. (2008) - Bio + Memb (c) and Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot + Coag/floc + LodoAt + Filtr + OsmRev + UV and Coag / Floc (d), with the respective decision axes.



It should be noted that the economic criteria negatively influenced the performance of the alternative proposed by Cristovão et al. (2015), confirming that, not always, the system presenting the most advanced technology should be the one selected for all the scenarios options evaluated.

For the reuse scenario in hydro-sanitary facilities in the fish processing industry itself, the criterion of potability can also be suppressed, since the activity is less restrictive. Thus, for the valuation of weights, a redistribution of importance was performed, prioritizing the CC, CO & M and CRP criteria.

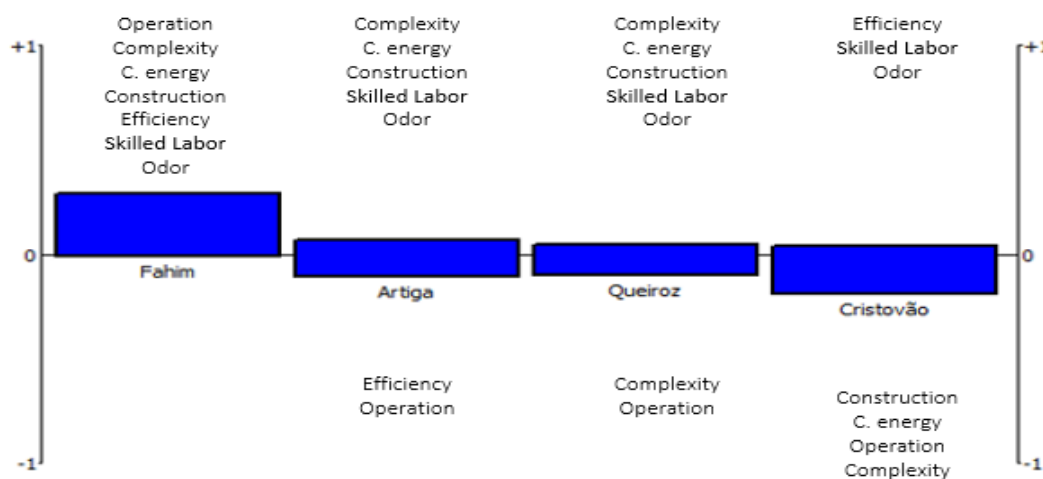
After processing the data by the AMC program used, it was verified that the alternative that best meets the criteria listed, for the importance weight adopted is that of the effluent treatment system proposed by Fahim et al. (2001), followed by the systems proposed by Artiga et al. (2008), Queiroz et al. (2013) and Cristovão et al. (2015) (Table 9). For the reuse in sanitary facilities, there is an inversion in the behavior of the systems proposed by Artiga et al. (2008) and Queiroz et al. (2013) compared to the reuse scenario for industrial refrigeration systems. This is because; the economic criteria weighed more for the elaboration of the classification.

The Coag/Floc alternative (Fahim et al., 2001) had the best overall performance, being justified by the best attendance to the most relevant criteria, presenting a positive evaluation for all the analyzed criteria (Figure 7). Due to the high capacity of reducing suspended and colloidal particles, thus facilitating their specification for reuse in sanitary installations, coagulation / flocculation processes are usually used in most fish processing industries (CRISTOVÃO et al., 2015).

Table 9. Absolute values of consistency of the adopted criteria and classification of the alternatives proposed for reuse in hydro-sanitary facilities.

Classification	Alternative	Weight Criterion	Criterion +	Criterion -	Relationship O/I	Score
1	Coagulation/ Flocculation with FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0.2619	0.2619	0.0000	1.7097	92.41
2	Bioreactor; Coagulation/ flocculation/ sedimentation; Microfiltration by membranes (Queiroz et al., 2013)	-0.0493	0.0548	0.1041	0.9060	48.97
3	Bioreactor and Ultrafiltration by membranes (Artiga et al., 2008)	-0.0611	0.0302	0.0913	0.8849	47.83
4	Sedimentation / flotation; coagulation / flocculation; biological treatment by activated sludge process; sand filter filtration; reverse osmosis and UV disinfection (Cristovão et al., 2015)	-0.1515	0.0243	0.1758	0.7368	39.83

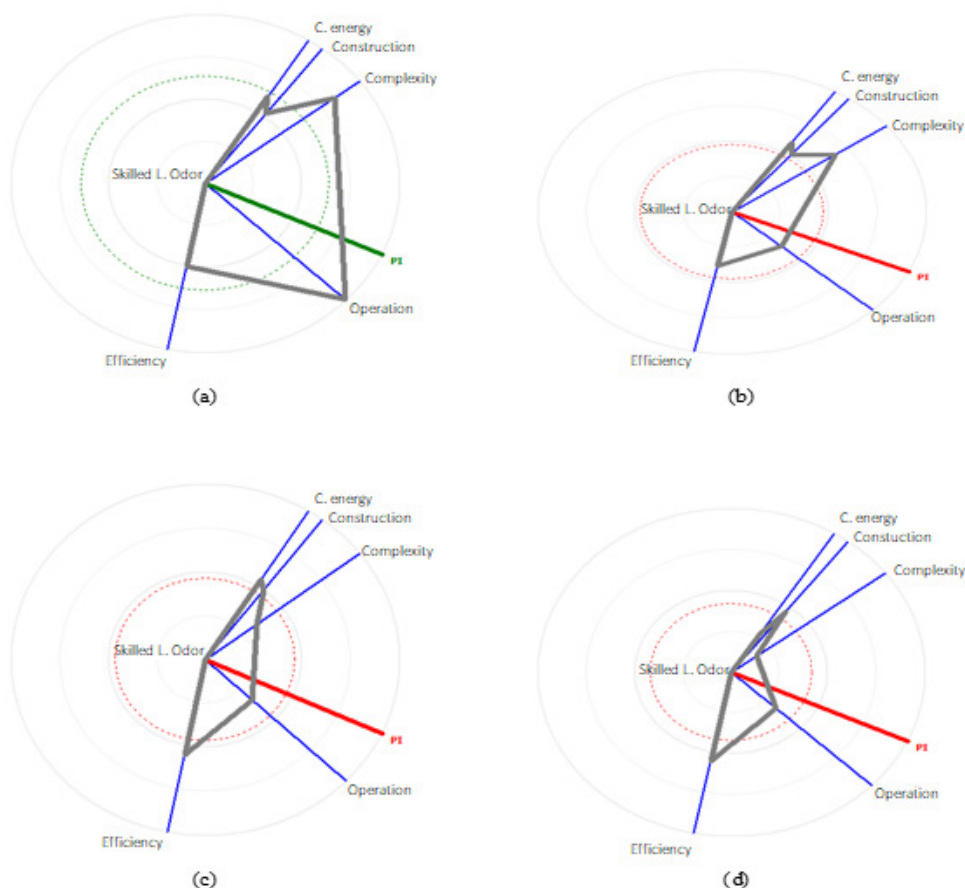
Figure 7. Behavior of the alternatives of treatment of effluents proposed by Artiga (2008); Cristovão (2013); Fahim (2001) and Queiroz (2013) according to the criteria adopted.



The criteria that most influenced positively to the performance of the alternative proposed by Fahim et al. (2001) were those of CO & M and COMP. Already for Artiga et al. (2008) were the COMP and CE criteria; for Queiroz et al. (2013) were CRP and CE criteria; and for e Cristovão et al. (2015) was the criterion of CRP (Figure 8).

However, the reuse proposition in this scenario presents a great potential in the industrial area, since the systems of better performance were those that presented lower costs and complexity. Currently in Brazil, Law No. 13,647 (BRAZIL, 2018) establishes the mandatory installation of equipment to avoid wasting water in bathrooms intended for the public, whether located in public or private buildings.

Figure 8 - Network graphs with the behaviors of the alternatives of Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (a); Artiga et al. (2008) - Bio + Memb (b); Queiroz et al. (2013) - Bio + Coag/ floc/sed + Memb (c) and Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot + Coag/floc + LodoAt + Filtr + OsmRev + UV and Coag/Floc (d), with the respective decision axes.



Considering the scenarios that do not require the evaluation of the potability criterion, the reuse in the cleaning of floors and sidewalks in the industrial facilities also

used a redistribution of the weights valuation, where the criteria CC, CE, CO & M and CRP were prioritized.

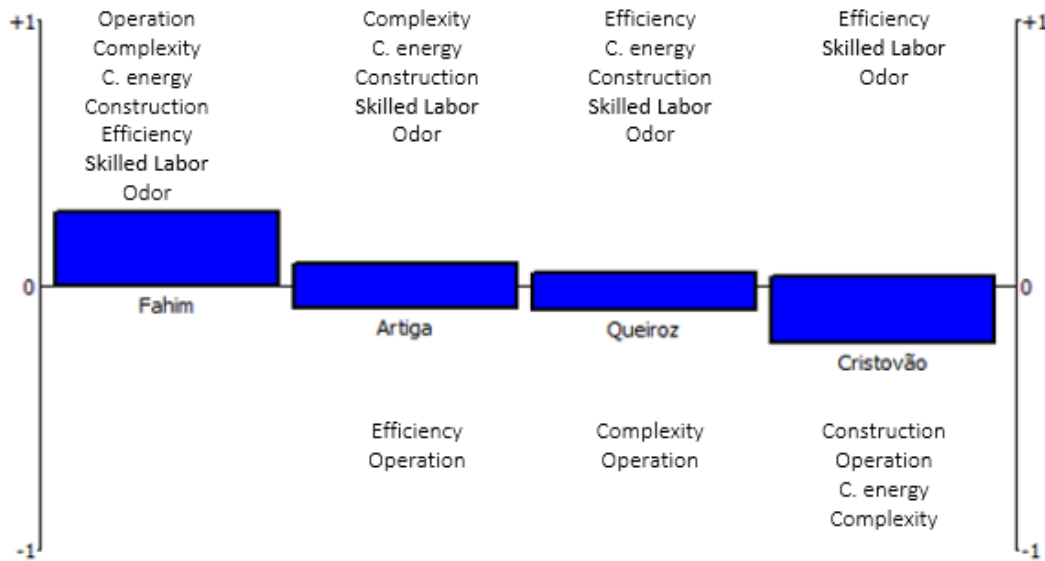
After the data processing by the AMC program used, it was determined that the alternative that best meets the criteria listed, for the importance weight adopted is that of the effluent treatment system proposed by Fahim et al. (2001), followed by the systems proposed by Artiga et al. (2008), Queiroz et al. (2013) and Cristovão et al. (2015) (Table 10). For the reuse in washing of floors and sidewalks, a similar behavior is observed to the scenario of reuse in sanitary facilities. It should be pointed out that for this case the system of Fahim et al. (2001) obtained the highest score of all scenarios, with a score of 97.96, given the little restriction imposed for this type of reuse.

Table 10. Absolute values of consistency of the adopted criteria and classification of the alternatives proposed for reuse in the washing of floors and sidewalks.

Classification	Alternative	Weight Criterion	Criterion +	Criterion -	Relationship O/I	Score
1	Coagulation/Flocculation with FeCl ₃ (Fahim et al., 2001)	0.2889	0.2889	0.0000	1.8125	97.96
2	Bioreator; Coagulation/flocculation/se- dimentation; Microfiltration by membranes (Queiroz et al., 2013)	-0.0495	0.0586	0.1082	0.9056	48.95
3	Bioreator and Ultrafiltration by membranes (Artiga et al., 2008)	-0.0721	0.0291	0.1012	0.8655	46.78
4	Sedimentation/flotation; coagulation/flocculation; biological treatment by activated sludge process; sand filter filtration; reverse osmosis and UV disinfection (Cristovão et al., 2015)	-0.1672	0.0230	0.1902	0.7135	38.56

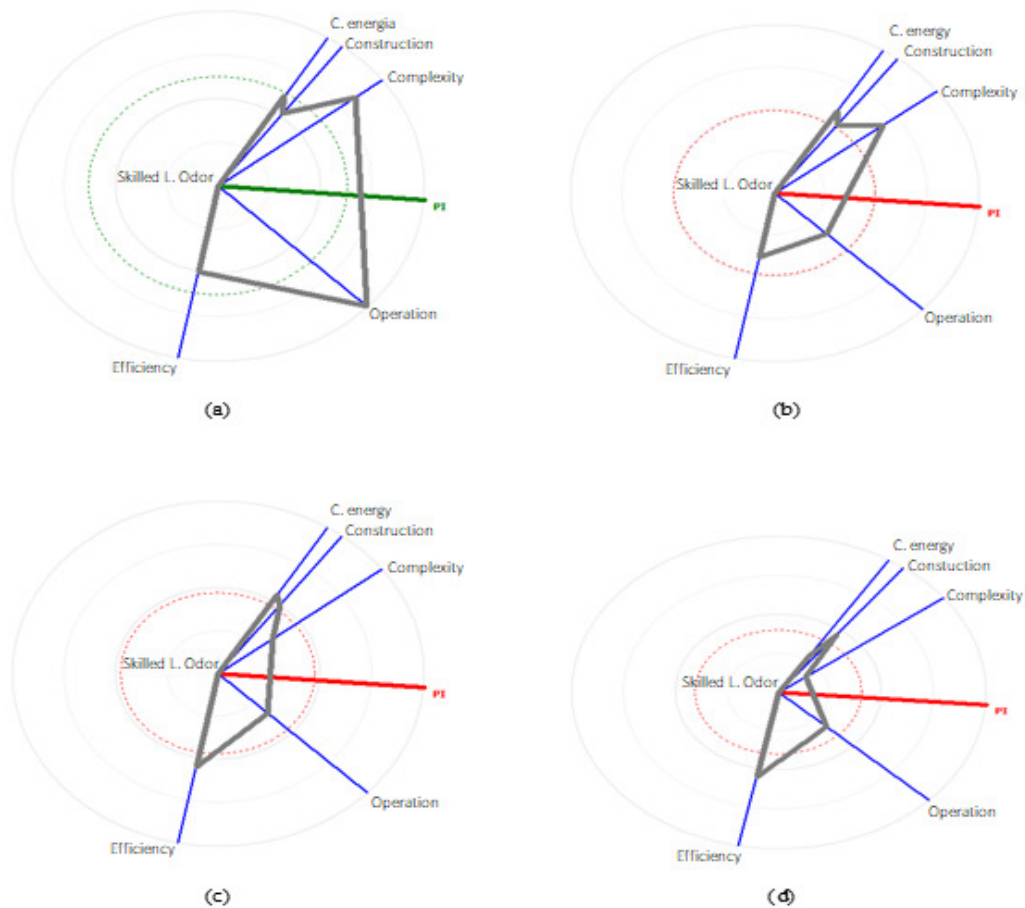
The Coag/Floc alternative (Fahim et al., 2001) had the best overall performance, being justified by the best attendance to the most relevant criteria, presenting a positive evaluation for all the criteria analyzed (Figure 9).

Figure 9. Behavior of effluent treatment alternatives according to the adopted criteria.



When analyzing reuse in floor and sidewalk washing (Figure 10), the criteria that most positively influenced the performance of the alternative proposed by Fahim et al. (2001) were those of CO & M and COMP, since this is the type of reuse with less restrictive criteria. Once again, the economic criteria negatively influenced the performance of the alternatives proposed by Queiroz et al. (2013) and Cristovão et al. (2015), since simpler systems of treatments can be used for reuse in floor and sidewalk washing.

Figure 10. Behaviors of the alternatives of Fahim et al. (2001) - Coag/Floc (a); Artiga et al. (2008) - Bio + Memb (b); Queiroz et al. (2013) - Bio + Coag/floc/sed + Memb (c) and Cristovão et al. (2015) - Sed/Flot + Coag/floc + LodoAt + Filtr + OsmRev + UV and Coag/ Floc (d), with the respective decision axes.



4. Conclusion

For the reuse and recycling in fish processing industries, with the need to meet potability requirements, it is recommended to use a combination of processes with the use of advanced treatment techniques, with the need to use disinfection technologies. As is the case of the system composed by the sedimentation/flotation processes; coagulation/flocculation; biological treatment by activated sludge process; sand filter filtration; reverse osmosis and UV disinfection.

For reuse in less restrictive activities, it is verified that the system with the most advanced technology is not always the one that will present the best performance for all types of scenarios, since the criteria related to the economic aspects can present greater influence in decision-making. In addition, for the non-potable reuse types proposed, the classification scores presented statistically similar results for most systems, allowing for a more comprehensive cost-benefit analysis and a high potential for effluent reuse in the industry itself.

5. Acknowledgments

The authors thank the National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ) for the project financing (process: 407728 / 2012-0) and for the productivity grant (Process 312697 / 2014-7).

6. References

ALCALDE-SANZ, L.; GAWLIK, B. M., 2014. Water reuse in europe relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. Publications Office of the European Union, Luxemburgo, 48 p.

ANGELAKIS, A.; GIKAS, P., 2014. Water reuse: overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. *Water Utility Journal*, n. 8, p. 67–78.

ANH, P.; DIEU, T.; MOL, A.; KROEZE, C.; BUSH, S., 2011. Towards eco-agro industrial clusters in aquatic production: the case of shrimp processing industry in Vietnam. *Journal of Cleaner Production*, n. 19, p. 2107–2118.

APHA, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington D.C: American Public Health Association; 21st ed.

ARTIGA, P.; GARCÍA-TORIELLO, G.; MENDEZ, R.; GARRIDO, J., 2008. Use of a hybrid membrane bioreactor for the treatment of saline wastewater from a fish-canning factory. *Desalination*, n. 221, p. 518–525.

BARCELÓ, D.; PETROVIC, M.; ALEMANY, J., 2011. 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*. Springer, p. 295-306, Vol. 14.

BEINAT, E., 2001. Multi-criteria analysis for environmental management. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, n. 10, p. 51-61.

BOTTERO, M.; COMINO, E.; RIGGIO, V., 2011. Application of the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process for the assessment of different wastewater treatment systems. *Environmental Modelling & Software*, n. 26, p. 1211-1224.

BRAZIL. Ministry of Health. 2011. Portaria n. 2.914, Provides for procedures for the control and monitoring of water quality for human consumption and drinking water standard. *Official Journal of the Union, Brasília*.

BRAZIL. Presidency of the Republic, Civil House. 2018. Law n. 13.647, Establishes the mandatory installation of equipment to avoid the waste of water in public bathrooms. *Official Journal of the Union, Brasília*.

BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL STANDARDS (ABNT). 1997. NBR 13.969 - Septic tanks - Complementary treatment units and final disposal of liquid effluents - Design, construction and operation. Rio de Janeiro, 60p.

BRITES, C., R. C., 2008. A multiobjective approach for selection of wastewater reuse in landscape irrigation in the federal district. 262 p. Thesis (Master degree) – Technology Department of Brasília University, Brasil.

CHEN, Z.; NGO, H.; GUO, W. A., 2012. Critical review on sustainability assessment of recycled water schemes. *Science of the Total Environment*, n. 426, p. 13-31.

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

CODEX ALIMENTARIUS, 2001. Codex Alimentarius Commission: Codex Committee on Food Hygiene. Proposed Draft Guidelines for the Hygienic Reuse of Processing Water in Food Plants. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, 34th Session, Bangkok, Thailand.

CRISTÓVÃO, R. O.; BOTELHO, C.; MARTINS, R.; LOUREIRO, J.; BOAVENTURA, R., 2015. Fish canning industry wastewater treatment for water reuse – a case study. *Journal of Cleaner Production*, [S.I.], n. 87, p. 603–612.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA), 2012. Guidelines for Water Reuse. EPA/600/R-12/618. Washington, D.C., 643 p. <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>. (accessed 12. 08. 2014).

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA), 2013. Emerging Technologies for Wastewater Treatment and In-Plant Wet Weather Management. EPA 832-R-12-011. Washington, D.C., 188 p.. <http://nepis.epa.gov/> (accessed 20. 04. 2016).

ESPAÑA. Ministerio de la Presidencia. 2007. Real Decreto 1.620, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Boletín Oficial del Estado, Madrid. <http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/.../A50639-50661.pdf>. (accessed 10. 04. 2015).

FAHIM, F.A.; FLEITA, D.; IBRAHIM, A.; EL-DARS, F., 2001. Evaluation of some methods for fish canning wastewater treatment. *Water Air Soil Pollut*, n.127, p. 205–226.

GARRIDO-BASERBA, M.; REIF, R.; HERNANDEZ, F.; POCH, M., 2012. Implementation of a knowledge-based methodology in a decision support system for the design of suitable wastewater treatment process flow diagrams. *Journal of Environmental Management*, [S.I.], n. 112, p. 384–391.

GORIGOITÍA, A. P., 2011. Application of bioreactor with membranes in the treatment of industrial landfill effluents. 172 p. Thesis (Master degree) - Technology Department, Federal University of Paraná, Curitiba.

GREECE. Common Ministerial Decision - CMD. 2011. Measures, Limits and Procedures for Reuse of Treated Wastewater; No. 145116; Ministry of Environment, Energy and Climate Change: Athens, Greece (in Greek).

HANSEN, E.; RODRIGUES, M. A.; AQUIM, P., 2016. Wastewater reuse in a cascade based system of a petrochemical industry for the replacement of losses in cooling towers. *Journal of Environmental Management*, n. 181, p. 157 - 162.

HIDALGO, D.; IRUSTA, R.; MARTINEZ, L.; FATTA, D.; PAPADOUPOLOS, A., 2007. Development of a multi-function software decision support tool for the promotion of the safe reuse of treated urban wastewater. *Desalination*, n. 215, p. 90–103.

HUILIÑIR, C.; HERNANDEZ, S.; ASPÉ, E.; ROECKEL, M., 2012. Simultaneous nitrate and organic matter removal from salmon industry wastewater: the effect of C/N ratio, nitrate concentration and organic load rate on batch and continuous process. *Journal of Environmental Management*, [S.I.], n. 101, p. 82-91.

LAHDELMA, R.; SALMINEN, P.; HOKKANEN, J., 2000. *Using Multi Criteria Methods in Environmental Planning and Management*. Springer, New York.

LERMONTOV, A., 2011. Economic analysis of seawater desalination by reverse osmosis aimed at public supply in the state of Rio de Janeiro. In: XXVI Brazilian Congress of Sanitary and Environmental Engineering, Porto Alegre-RS. Proceedings. ABES, Brazil.

LEUNG, R. W. K.; LI, D. C. H.; YU, W. K.; CHUI, H. K.; LEE, T. O.; VAN

LOOSDRECHT, M. C.; CHEN, G. H., 2012. Integration of seawater and grey water reuse to maximize alternative water resource for coastal areas: the case of the Hong Kong International Airport. *Water Science & Technology*, n. 65, p. 410-417.

KALBAR, P.; KARMAKAR, S; ASOLEKAR, S., 2012a. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. *Journal of Environmental Management*, n. 113, p. 158-169.

KALBAR, P.; KARMAKAR, S; ASOLEKAR, S., 2012b. Technology assessment for wastewater treatment using multiple-attribute decision-making. *Technology in Society*, n. 34, p. 295-302.

KIKER, G.; BRIDGES, T.; VARGHESE, A.; SEAGER, T; LINKOV, I., 2005. Application of Multi Criteria decision analysis in environmental decision-making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, n. 1, p. 95-108.

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

MARTINS, G. C. A., 2013. Costs with treatment of industrial effluents in the manufacture of automotive banks. 2013. 77 p. Thesis (Master degree) - Department of Health and Environmental Engineering of the Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K., 2013. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility - A case study. *International Biodeterioration and Biodegradation*, n. 85, p. 563-570.

NAJAFPOUR, G.D.; ZINATIZADEH, A.A.L.; LEE, L.K., 2006. Performance of a three-stage aerobic RBC reactor in food canning wastewater treatment. *Biochemistry Engineering Journal*, n. 30, p. 297–302.

NEW SOUTH WALES GOVERNMENT (NSW). 2008. NSW Water reuse guideline for food businesses. NSW Food Authority, Sydney.

NORTON, T.; MISIEWICZ, P., 2012. Ozone for water treatment and its potential for process water reuse in the food industry. In: O'Donnell, C. et al. (Ed.). *Ozone in Food Processing*. 1. ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltda., p. 177-200, cap. 11.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente, do Ordenamento, do Território e do Desenvolvimento Regional. 2007. Decreto-Lei n.º 306. *Diário da República*, 1.ª série — N.º 164. <https://dre.pt/pesquisa/-/search/640931/details/maximized>. (accessed 31. 03. 2016).

QUEIROZ, M. I.; HORNES, M.; MANETTI, A.; ZEPKA, L.; JACOB-LOPES, L., 2013. Fish processing wastewater as a platform of the microalgal biorefineries. *Biosystems Engineering*, n.115, p. 195-22.

RANDOM.ORG, 2018. <https://www.random.org/> (accessed 30.04.2018).

RIBEIRO, F. H. M.; NAVAL, L. P., 2017. Technologies for wastewater treatment from the fish processing industry: reuse alternatives. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)*, n.46, p. 130-144.

SIMATE, G. S.; CLUETT, J.; IYUKE, S.; MUSAPATIKA, E.; NDLOVU, S.; WALUNITA, L; ALVAREZ, A., 2011. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art. *Desalination*, n.273, p. 235-247.

YI, L.; JIAO, W.; CHEN, X.; CHEN, W., 2011. An overview of reclaimed water reuse in China. *Journal of Environmental Sciences*, 23v. p. 1585–1593. 1585–1593, 2011.

ANEXO I

Análise Estatística pelo Assistat 7.7

ASSISTAT Versão 7.7 beta (2015) - Homepage <http://www.assistat.com>

DBO

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	6447559.17996	1289511.83599	17.6779 **
Resíduo	60	4376686.36425	72944.77274	
Total	65	10824245.54421		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

Médias de tratamento

1	668.76640 ^{ab}	- Cilindro de lavagem
2	841.77450 ^a	- Eviceração
3	390.95180 ^{bc}	- Lavagem Piso
4	49.97454 ^d	- Higienização entrada
5	742.47270 ^a	- Saída da indústria
6	80.31454 ^{cd}	- Lavagem das caixas

ASSISTAT Versão 7.7 beta (2015) - Homepage <http://www.assistat.com>

=====

Sólidos Suspensos Totais

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	7310951.71583	1462190.34317	7.7734 **
Resíduo	60	11286067.54209	188101.12570	
Total	65	18597019.25792		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

Médias de tratamento

1	375.63640 ^{bc}	Cilindro de lavagem
2	1026.84500 ^a	Eviceração
3	444.81820 ^{bc}	Lavagem piso
4	59.30000 ^c	Higienização entrada
5	673.13000 ^{ab}	Saída da indústria
6	97.90000 ^c	Lavagem das caixas

=====

ASSISTAT Versão 7.7 beta (2015) - Homepage <http://www.assistat.com>

=====

Nitrogênio Total

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	32417.98665	6483.59733	4.9375 **
Resíduo	60	78788.45034	1313.14084	
Total	65	111206.43700		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Médias de tratamento

1	55.64618 ^a	Cilindro de lavagem
2	66.16637 ^a	Eviceração
3	43.69785 ^{ab}	Lavagem piso
4	9.76597 ^b	Higienização entrada
5	46.46112 ^{ab}	Saída da indústria
6	7.31894 ^b	Lavagem das caixas

=====

ASSISTAT Versão 7.7 beta (2015) - Homepage <http://www.assistat.com>

=====

Fósforo

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	16627.43521	3325.48704	6.1428 **
Resíduo	60	32481.96212	541.36604	
Total	65	49109.39734		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Médias de tratamento

1	5.03573 ^b	Cilindro de lavagem
2	9.01718 ^b	Eviceração
3	14.92791 ^b	Lavagem piso
4	0.23473 ^b	Higienização entrada
5	46.39727 ^a	Saída da indústria
6	0.72373 ^b	Lavagem das caixas

=====

ASSISTAT Versão 7.7 beta (2015) - Homepage <http://www.assistat.com>

=====

DQO

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	27493747.70069	5498749.54014	35.6488 **
Resíduo	60	9254856.48499	154247.60808	
Total	65	36748604.18569		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Médias de tratamento

1	1382.23500 ^a	Cilindro de lavagem
2	1680.46400 ^a	Eviceração
3	720.54550 ^b	Lavagem piso
4	111.69090 ^c	Higienização entrada
5	1591.74000 ^a	Saída da indústria
6	167.61000 ^c	Lavagem das caixas

Resumo das Análises

Locais de Coleta	DBO	SST	Ntotal	Ptotal	DQO
Cilindro de lavagem	841.77450 ^a	375.63640 ^{bc}	55.64618 ^a	5.03573 ^b	1382.23500 ^a
Eviceração	841.77450 ^a	1026.84500 ^a	66.16637 ^a	9.01718 ^b	1680.46400 ^a
Lavagem Piso	390.95180 ^{bc}	444.81820 ^{bc}	43.69785 ^{ab}	14.92791 ^b	720.54550 ^b
Higienização entrada planta	49.97454 ^d	59.30000 ^c	9.76597 ^b	0.23473 ^b	111.69090 ^c
Saída da planta industrial	742.47270 ^a	673.13000 ^{ab}	46.46112 ^{ab}	46.39727 ^a	1591.74000 ^a
Lavagem das caixas	80.31454 ^{cd}	97.90000 ^c	7.31894 ^b	0.72373 ^b	167.61000 ^c