

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA
CAMPUS DE ARAÇATUBA

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDUSTRIALIZAÇÃO
DE PESCADO COM SISTEMA DE ULTRAFILTRAÇÃO**

Helenice Aparecida Pires
Tecnóloga em Biocombustíveis

ARAÇATUBA - SP
2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

CAMPUS DE ARAÇATUBA

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDUSTRIALIZAÇÃO
DE PESCADO COM SISTEMA DE ULTRAFILTRAÇÃO**

Helenice Aparecida Pires

Orientadora: Prof^a. Dr^a Elisa Helena Giglio Ponsano

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária – Unesp, Campus de Araçatuba, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência Animal (Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal).

ARAÇATUBA - SP

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da FMVA / UNESP

F866o	Pires, Helenice Aparecida Tratamento de efluente da industrialização de pescado com sistema de ultrafiltração / Helenice Aparecida Pires. – Araçatuba: [s.n.], 2017. 48 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2017 Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Elisa Helena Giglio Ponsano 1. Demanda bioquímica de oxigênio 2. Óleos e graxas 3. Proteínas. I.Título. CDD 639.3
-------	---

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Tratamento de efluente da industrialização de pescado com sistema de ultrafiltração

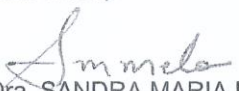
AUTORA: HELENICE APARECIDA PIRES

ORIENTADORA: ELISA HELENA GIGLIO PONSANO

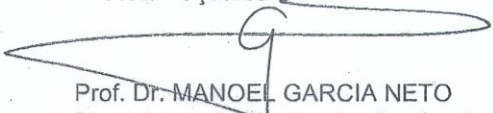
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIA ANIMAL, área: Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. ELISA HELENA GIGLIO PONSANO

Departamento de Apoio, Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/Unesp


Profa. Dra. SANDRA MARIA DE MELO

Departamento de Biocombustíveis / ~~Faculdade de Tecnologia~~ Professor Fernando de Amaral de Almeida Prado - Fatec/Araçatuba


Prof. Dr. MANOEL GARCIA NETO

Departamento de Apoio, Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/Unesp

Araçatuba, 22 de agosto de 2017.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

HELENICE APARECIDA PIRES – nascida em 06 de outubro de 1989 no município de Araçatuba – SP. Coursou o ensino fundamental na E.E. Joaquim Abarca no município de Tupã - SP e o ensino médio na E. E. José Arantes Terra no município de Araçatuba – SP. Ingressou no curso de Tecnologia em Biocombustíveis da Faculdade de Tecnologia (Fatec) Araçatuba - Prof. Fernando Amaral de Almeida Prado, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza em 2012 e formou-se no ano de 2015. Durante a graduação foi membro da congregação como representante discente no ano de 2014. Realizou estágio em Tecnologia de Produtos de Origem Animal no ano de 2014. Em 2015, iniciou o curso de pós-graduação em Ciência Animal na FMV/UNESP de Araçatuba, na área de Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal. Trabalhou junto com a EMBRAPA Pesca e Aquicultura na pesquisa “Gerenciamento hídrico aplicado a entrepostos de pescado” no ano de 2015. Foi bolsista CAPES no ano de 2015.

Dedicatória

A Deus,

A minha irmã/mãe Roseli por ter acreditado em mim, ao meu filho Juan e meu esposo Everaldo por fazerem parte deste momento e aceitarem minha ausência nos momentos em que estudos exigiram.

AGRADECIMENTOS

CAPES – (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior) pela bolsa de mestrado concedida.

Indústria Geneseas, por acreditar no nosso trabalho e nos fornecer a matéria prima utilizada nesse projeto de mestrado. Em especial à Viviane e ao Gerlúcio.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (processo Nº 2015/25853 - 1), pelo auxílio financeiro dado a esse projeto de dissertação de mestrado.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Curso de Medicina Veterinária, por todo apoio e estrutura disponibilizada.

Biblioteca – UNESP – Araçatuba - SP. Em especial à Isabel, pela revisão dos dados bibliográficos e pelas orientações técnicas.

Laboratório de Análises de Alimentos – UNESP – Araçatuba - SP e aos companheiros que passaram entre 2014 - 2017.

Banca examinadora por toda colaboração para aprimorar a divulgação deste trabalho.

Pós-graduandas: Andréia, Josi e Raquel, pelo apoio e bons momentos. Em especial à Karline por todo o conhecimento compartilhado.

A todos que, direta ou indiretamente, embora não citados, contribuíram para a elaboração e concretização deste trabalho.

Agradecimento especial:

A Prof^a. Dr^a. Elisa Helena Giglio Ponsano, pela orientação, apoio, colaboração, revisão, companheirismo, por acreditar em meu potencial em ser sua orientanda e, sobretudo, por ter possibilitado agregar novos conhecimentos à minha vida acadêmica e pessoal.

SUMÁRIO

Páginas

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

RESUMO

SUMMARY

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS13

1 INTRODUÇÃO13

2 REVISÃO DA LITERATURA15

2.1 Legislação ambiental brasileira.....15

2.2 Produção e consumo de pescado16

2.3 Produção e comercialização de tilápia no Brasil.....17

2.3 Efluentes da indústria18

2.4 Processos de filtração.....19

2.5 Ultrafiltração no tratamento de efluentes21

2.6 Membranas de ultrafiltração24

REFERÊNCIAS.....27

**CAPÍTULO 2 – ARTIGO CIENTÍFICO: TRATAMENTO DE EFLUENTE DA
INDUSTRIALIZAÇÃO DE PESCADO COM SISTEMA DE
ULTRAFILTRAÇÃO35**

1 INTRODUÇÃO36

2 MATERIAL E MÉTODOS38

2.1 Efluente.....388

2.2 Filtrações38

2.3 Caracterização físico-química de efluente <i>in natura</i> , permeado e retentado.....	39
2.4 Atividade antioxidante.....	39
2.5 Análise de conformidade com a legislação para o descarte direto	40
2.6 Análise estatística.....	40
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS.....	45

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 – Tipos de processos de separação por membranas, materiais permeáveis e aplicações do sistema	22
Tabela 2 - Médias e desvios padrões dos parâmetros físico-químicos do efluente <i>in natura</i> (EN) e do permeado resultante das filtrações (M1, M2 e M3) e suas respectivas porcentagens de rejeição	41
Tabela 3 - Médias e desvios padrões dos parâmetros físico-químicos do efluente <i>in natura</i> (EN) e do retentado resultante das filtrações (M1, M2 e M3).....	43

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1- Tipos de sistemas de filtração (a) filtração frontal (b) filtração tangencial	22
Figura 2- Sistema de ultrafiltração tangencial; 1: tanque de recepção; 2: manômetro de pressão de saída; 3: conexões para a troca das membranas; 4: cano de escoamento do permeado; 5: membrana; 6: motor; 7: cano de entrada do líquido na membrana	24

TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDUSTRIALIZAÇÃO DE PESCADO COM SISTEMA DE ULTRAFILTRAÇÃO

RESUMO - A indústria de pescado vem se desenvolvendo para atender à crescente demanda do mercado e, concomitantemente, vem aumentando a quantidade de resíduos descartados em função do processamento. O efluente gerado pelas indústrias de pescado contém matéria orgânica com potencial poluente e, por isso, deve ser tratado previamente ao descarte. Os sistemas de filtração vêm ganhando notoriedade nesse sentido. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o potencial da operação de ultrafiltração para reduzir a carga poluente do efluente de indústria de tilápia. O efluente foi coletado em uma indústria de processamento de tilápias e caracterizado quanto a suas propriedades físico-químicas. As filtrações foram realizadas em sistema fechado com recirculação do retentado, utilizando-se membranas de três porosidades: M1 - 150 kDa, M2 - 30 kDa e M3 - 10kDa. As análises físico-químicas foram repetidas no permeado e no retentado gerados nas filtrações. Exceto para a cor, que reduziu em 91,7% com a membrana de 10 kDa, as três membranas promoveram a mesma rejeição para os demais parâmetros avaliados, embora não tenham sido capazes de atender aos padrões para lançamento direto de efluentes em relação à cor e ao teor de óleos e graxas. Todas as membranas também foram igualmente capazes de concentrar matéria orgânica e inorgânica do efluente. A membrana de 150 kDa mostrou ser a mais adequada para remover e concentrar a carga poluente do efluente de indústria de processamento de tilápias.

Palavras-chave: Demanda bioquímica de oxigênio, óleos e graxas, proteínas.

TREATMENT OF FISH INDUSTRIALIZATION EFFLUENT WITH ULTRAFILTRATION SYSTEM

SUMMARY - Fish processing industry is in constant development in order to comply with the growing market demand and, concurrently, the amount of residues to be discarded is also increasing. The effluent raised from these industries contains organic matter with pollutant potential and so must be treated before being discarded. Along those lines, the filtration systems are gaining notoriety. So, the purpose of this study was to test the potential of ultrafiltration in reducing the pollutant load of the effluent from a tilapia processing industry. The effluent was collected in a tilapia processing industry and characterized regarding to its physicochemical properties. Filtrations were carried out in closed system with recirculation of the retentate using membranes of three porosities: M1 - 150 kDa, M2 - 30 kDa and M3 - 10kDa. The physicochemical analyses were repeated for the permeate and the retentate generated from the treatments. Except for color, that decreased 91.7% with the 10 kDa membrane, all the three membranes provided the same rejection for the other parameters studied, although they were not able to reach the standards for the direct launching of effluents regarding to color and to oils and grease. All treatments were also equally able to concentrate the organic and inorganic matter of the effluent. The 150 KDa membrane showed to be the most appropriate for removing and concentrating the pollutant load of the effluent from tilapia processing.

Key words: chemical oxygen demand, oils and grease, proteins.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 INTRODUÇÃO

Observa-se, atualmente, uma mudança alimentar no comportamento alimentar, em que muitas pessoas vêm optando por alimentos saudáveis e com melhor qualidade nutricional, o que fez com que a demanda por produtos derivados de pescado aumentasse e, com eles, a quantidade de resíduos gerados industrialmente (SOUZA, 2010).

Devido à alta procura, as indústrias de beneficiamento de pescado expandiram sua produção e a questão ambiental ganhou espaço na busca pela redução dos resíduos. Os resíduos sólidos são transformados em subprodutos como farinha e óleo de pescado (AGUIAR; LIMBERGER; SILVEIRA, 2014), porém, os líquidos (efluentes), devido a suas características, são de difícil tratamento (SOUZA, 2010) e devem atender à legislação ambiental do país para o descarte. Outra questão ambiental que vem tomando espaço é a quantidade de água captada para o processamento, que poderia ser reduzida com tratamento específico e reutilização (SOUZA, 2010), visto que a água potável está se tornando um bem cada vez mais escasso, fazendo com que seu reuso se torne uma necessidade (CASANI; ROUHANY; KNØCHEL, 2005).

Atualmente, para mitigar os compostos dissolvidos, diminuir a carga orgânica dos efluentes, reduzir sólidos suspensos, sólidos totais, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e óleos e graxas, utilizam-se os métodos de sedimentação e coagulação-floculação com o auxílio de polímeros, na fase de tratamento primário (CRISTÓVÃO et al., 2014). Porém, estes tratamentos servem somente para preparar o efluente para o descarte em corpos d'água, sendo necessários outros tratamentos para sua possível reutilização. Este aspecto pode ser obtido com a implantação de um sistema de reaproveitamento de águas por meio de ultrafiltração que, além de tratar o efluente, ainda pode gerar um coproduto, as proteínas (AMADO et al., 2013).

A tecnologia de filtração por meio de membranas é empregada quando o intuito é separar, concentrar e purificar os mais variados tipos de corpos líquidos (AMADO et al., 2013; LO et al., 2005). Pesquisas no assunto foram iniciadas em 1970 e, em 1972, iniciou-se o estudo com membranas de ultrafiltração e de osmose reversa. Em 1973, já existiam membranas de meios filtrantes mistos, destinados à realização de ultrafiltração e osmose reversa, que se destacavam das membranas de único meio filtrante devido ao seu maior poder de remoção de particulados. Em contrapartida, o fluxo era mais lento e demandava maior pressão. Em 1978, o uso de membranas foi testado para a desalinização e como uma alternativa para a redução de descargas de resíduos industriais, sendo considerado como tecnologia sustentável (ERIKSSON et al., 1978).

Em 2009, foi comprovada a eficiência da ultrafiltração de efluente de abatedouro de aves para remoção de sólidos totais e redução de turbidez, sólidos dissolvidos, nitrogênio total, DQO, nível microbiano e proteínas (AVULA; NELSON; SINGH, 2009). De acordo com Afonso, Ferrer e Borquez (2004), a aplicação desse sistema de filtração no efluente oriundo da produção de farinha de peixe permitiu a recuperação de proteínas perdidas que, se comercializadas, permitiriam o retorno do investimento em oito anos, demonstrando ser ela uma técnica economicamente viável. Ainda, quando aplicada em efluente de processamento de lulas (*Illex argentinus*), Amado et al. (2013) obtiveram proteínas e peptídeos com atividades anti-hipertensiva e antioxidante, além de um permeado com possibilidade de descarte direto.

Porém, essa tecnologia é emergente em indústrias de pescado de água doce, o que justifica a execução deste projeto de pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Legislação ambiental brasileira

No Brasil, em 1976, já era notória a preocupação com a prevenção e o controle da poluição ambiental e, para estabelecer regras sobre o assunto no Estado de São Paulo, foi criada a Lei nº 997/76 que foi, posteriormente, regulamentada pelo Decreto nº 8.468/76 (SÃO PAULO, 1976), que prevê a proibição do lançamento de poluentes na água, no ar e no solo. Essa legislação classificou as águas, segundo os usos pretendidos, em quatro classes: Classe 1, que são as águas destinadas ao abastecimento doméstico sem a necessidade de tratamento prévio ou com simples desinfecção; Classe 2, que são as águas destinadas ao abastecimento doméstico, irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas, bem como para o lazer aquático, requerendo tratamento convencional; Classe 3, que são as águas destinadas ao abastecimento doméstico e à preservação de peixes, flora e fauna em geral; e Classe 4, que são as águas destinadas ao abastecimento doméstico, industrial, para irrigação, dentre outros, após tratamento avançado.

O controle da poluição é realizado pela Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente (CETESB). Esse órgão foi criado pelo do Decreto nº 50.079/68, sob a denominação inicial de Centro Tecnológico de Saneamento Básico, e tinha como objetivo principal treinar pessoal, realizar pesquisas, fazer análises e exames ambientais (SÃO PAULO, 1968). Em 2009, o decreto de criação da CETESB foi atualizado com a publicação da Lei nº 13.542/09, que garantiu novas atribuições para o órgão, tais como realizar fiscalização, autorizar, suspender e emitir licença ambiental, bem como aplicar as penalidades cabíveis no caso do descumprimento da legislação em vigor (SÃO PAULO, 2009).

No âmbito nacional, a legislação e as normas responsáveis pelas questões relacionadas aos recursos hídricos estão descritas na Lei nº 9.433/97 da Política Nacional de Recursos (BRASIL, 1997) e na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 20/86, atualizada pela Resolução

CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011). A lei nº 9.433/97 tem por objetivo definir diretrizes para assegurar a disponibilidade de água para futuras gerações, estabelecer padrões de qualidade e normatizar o uso racional da água e a integridade dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). A Resolução CONAMA nº 430/11 descreve normas, regulamentos e padrões para o gerenciamento de recursos hídricos, bem como os padrões para o lançamento de efluentes, de acordo com a classificação do corpo d'água receptor (BRASIL, 2011).

Na Norma Brasileira Regulamentadora — NBR 9800/87, o efluente é descrito como todo líquido comprovadamente poluído proveniente de estabelecimento industrial como, por exemplo, os líquidos provenientes do processamento industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico (ABNT, 1987). Os efluentes devem atender à legislação ambiental, recebendo tratamento para reduzir sua carga poluidora antes do desagüe no corpo d'água receptor (BRASIL, 2011).

2.2 Produção e consumo de pescado

A produção aquícola mundial vem aumentando, segundo dados publicados pela FAO (2016). De acordo com a FAO (2016), os maiores produtores mundiais de pescado de águas continentais em 2014 eram a China, com 2,3 milhões de toneladas, seguido de Myanmar (1,38 milhões t) e Índia (1,3 milhões t). O Brasil, à época, ocupava a 11ª colocação, com 236 mil toneladas.

Em 2014, foram destinados para o consumo humano 146,3 milhões de toneladas de pescado e, ao consumo não alimentício, 21 milhões de toneladas (76% destinado para produção de ração e óleo de peixe) (FAO, 2016). Deste montante, 93,4 milhões de toneladas foram capturados, sendo que 11,9 milhões de toneladas eram de águas continentais (SEAFOOD, 2016a). O restante foi obtido por aquicultura (73,8 milhões de toneladas), sendo 47,1 milhões de toneladas provenientes de águas continentais (FAO, 2016).

A projeção do crescimento da aquicultura para a América Latina é de 40% até o ano de 2025, valor que representa 3,7 milhões de toneladas. Nessa

projeção, o Brasil tem a perspectiva de maior crescimento (104%), seguido de México (54,2%) e Argentina (53,9%) (BRASIL, 2016).

A intensificação da produção se deve, principalmente, ao aumento da população, da urbanização e da renda, além da contribuição do comércio internacional, da redução dos desperdícios e da melhoria nos canais de distribuição. Outros fatores que favoreceram essa expansão foram as melhorias na manipulação e no processamento e a agregação de valor, o que aumentaram a qualidade dos produtos e reduz perdas e custos de produção (FAO, 2014). No ano de 2013, o pescado representou 17% da proteína animal na alimentação mundial (FAO, 2016).

O pescado vem ganhando reconhecimento como uma fonte proteica de boa qualidade e com preços acessíveis para a população mais vulnerável (FAO, 2013). A FAO (2016) aponta a ascensão do consumo de pescado com aumento de 19,7 kg por habitante em 2012 para 20,1 kg por habitante em 2014. Quando comparado com a década de 60, em que o consumo mundial representava em média 9,9 kg por habitante, verifica-se que esse número mais que dobrou, até o presente.

A média mundial de consumo de pescado por habitante no ano de 2013 foi de 19,3 kg (FAO, 2016), enquanto que, no Brasil, foi de 9,6 kg, com perspectiva de crescimento para 12,7 kg por habitante no ano de 2025. Caso seja concretizada essa previsão, o consumo de pescado no Brasil estará dentro do recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), 12 kg/pessoa/ano (FAO, 2016).

2.3 Produção e comercialização de tilápia no Brasil

A primeira vez em que a aquicultura apareceu no relatório Produção da Pecuária Municipal (PPM) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi no ano de 2013 com 392,5 mil toneladas de peixe (IBGE, 2013) pois, antes, não atingia valor significativo para constar nas estatísticas (FAO, 2016). Nesse mesmo ano, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), batizada também de Saint Peter, representou 41% da produção nacional de pescado, devido à

sua fácil adaptação aos mais diversificados tipos de ambientes aquáticos (FAO, 2016). A produção de tilápia no Brasil teve seu início no Nordeste, porém, onde ela realmente se desenvolveu foi no Paraná, Estado que chegou a ser o pioneiro na produção, importação de material genético e distribuição de alevinos (SUSSEL, 2010).

No Brasil, é grande a oscilação entre o valor do produto inteiro dentre os estados. Em 2016, no Estado de São Paulo, o preço do quilograma da tilápia inteira entre janeiro a março no varejo atingiu o maior preço, chegando a custar, em média, R\$ 13,35, enquanto que, na mesma época, no Estado do Paraná, o preço médio praticado foi de R\$ 9,90 (SEAFOOD, 2016b). Entre os fatores que influenciam nessa oscilação econômica estão a disponibilidade do produto, o custo de produção e a estiagem (BARROSO et al., 2016).

O consumidor tem preferido produtos de preparo mais fácil e com o mínimo de mão de obra e, por este motivo, está se tornando mais comum encontrar peixes no varejo na forma de filé e em postas (SANTANA, 2016). No primeiro trimestre de 2016, o Estado de São Paulo comercializou o filé fresco de tilápia com o maior preço do mercado nacional, chegando a custar R\$ 40,99 kg no varejo, sendo isso um reflexo do maior poder de compra, bem como da longa estiagem que o país sofreu nos anos de 2012 - 2015. O Estado que teve o menor valor de mercado foi o Ceará, com o quilograma chegando a custar R\$16,90 (BARROSO et al., 2016).

2.3 Efluentes da indústria

A água é um excelente solvente e, por esse motivo, está presente em várias etapas dos processos produtivos industriais (GIORDANO, 2004). Dentre as indústrias, a de alimentos é a que tem o maior consumo de água, já que ela está presente em várias etapas do processamento (CASANI; ROUHANY; KNØCHEL, 2005). As águas servidas industriais são denominadas efluentes e guardam consigo características físicas, químicas e biológicas distintas, de acordo com o volume e o tipo de processamento industrial (GIORDANO, 2004).

O efluente de algumas indústrias de pescado pode conter até 50% de proteínas, que contribuem para o aumento dos sólidos totais e da demanda química de oxigênio (ERIKSSON et al., 1978), tornando-o potencialmente poluente devido a suas características de difícil tratamento (SOUZA, 2010).

Atualmente, para reduzir a carga poluente dos efluentes são utilizados métodos de sedimentação e coagulação-floculação por ar dissolvido com o auxílio de polímeros (CRISTÓVÃO et al., 2014). Entretanto, esse tipo de técnica tem perdido espaço, principalmente por apresentar o inconveniente da grande quantidade de lodo produzido, que demanda custos adicionais para o descarte correto (KUCA; SZANIAWSKA, 2009).

De acordo com Afonso e Borquez (2002), as técnicas de filtração de efluentes são capazes de reduzir os parâmetros de sólidos, óleos e graxas e DQO de efluente de indústria. Uma indústria de processamento de pescado com produção média de 100 t por hora pode produzir entre 20.000 a 40.000 litros de efluente por hora (AFONSO; BORQUEZ, 2002), que podem encontrar uso para a criação de novos produtos com diferentes aplicações e com alto potencial de valor agregado (LIMA, 2013). A partir do efluente, por exemplo, podem ser recuperadas substâncias de interesse, tais como proteínas com atividade biológica. Amado et al. (2013), utilizaram a ultrafiltração para a recuperação de proteínas do efluente de processamento de lulas (*Illlex argentinus*) e encontraram substâncias com atividade antioxidante e anti-hipertensiva.

2.4 Processos de filtração

O processo de filtração é realizado por meio de membranas orgânicas e inorgânicas (KUCA; SZANIAWSKA, 2009) e encontra uso para reter partículas. Conforme o produto que se deseja obter, os sistemas de filtração podem ser classificados basicamente em três tipos (VAN DEN BERG, 1988):

- Ultrafiltração (UF) e microfiltração (MF): são técnicas que utilizam membranas que separam misturas por diferença entre os tamanhos das partículas e o tamanho do poro da membrana.

– Osmose reversa ou inversa (OI), Permeação gasosa (PG) e Diálise (D): são técnicas que utilizam membranas com estruturas densas e cujo princípio de ação é definido por diferença de afinidade entre o material alimentado e a membrana.

– Eletrodíálise (ED): utiliza membranas com íons seletivos, catiônicos e aniônicos que atraem as partículas de polaridade oposta e, dessa forma, separa as partículas carregadas das neutras.

As membranas de filtração foram desenvolvidas na Suécia em 1970, com o objetivo de investigar seu desempenho em projetos para laticínios, visando o tratamento de efluentes e a purificação da água (ERIKSSON et al., 1978). Naquela época, as principais utilizações da filtração eram a osmose reversa e a ultrafiltração, mas a microfiltração já era aplicada em algumas indústrias de laticínios. A partir de 1990, foi viabilizada a utilização de microfiltração em laticínios com o objetivo de melhorar a qualidade do leite e aumentar sua vida de prateleira pois, além de manter as características nutricionais, a técnica permitia a eliminação de microrganismos, células somáticas e gordura residual (ANTUNES, 2014). O sistema de filtração por membranas é considerado de baixo custo e adequado para recuperar proteínas e purificar enzimas (LI; YOURAVONG; H-KITTIKUN, 2010).

A operação de filtração pode ser conduzida de duas formas distintas: a filtração frontal (*dead-end* ou convencional) e a filtração em fluxo cruzado ou tangencial (*cross-flow*) (HABERT et al., 2006) (Figura 1).

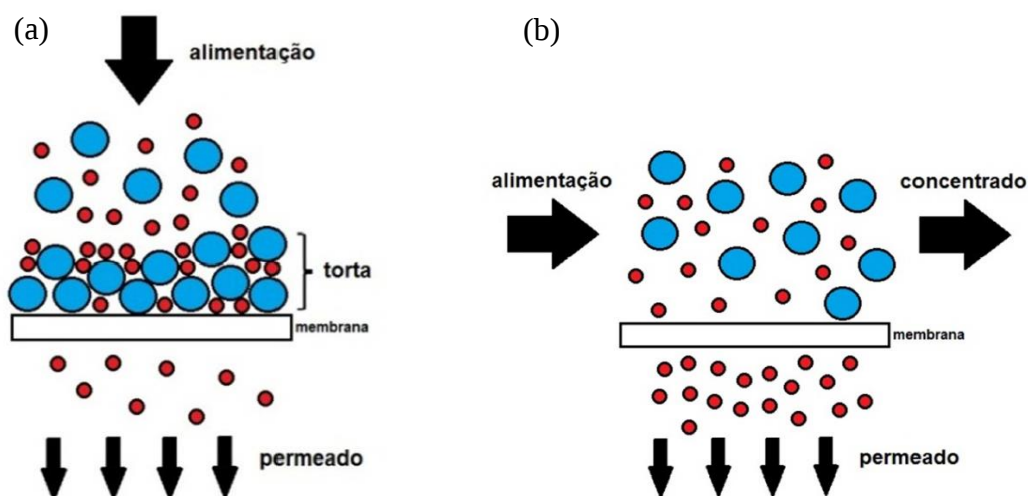


FIGURA 1- Tipos de sistemas de filtração (a) filtração frontal (b) filtração tangencial. (Fonte: GHIGGI, 2011, p.5-6)

No sistema de filtração em fluxo cruzado, o líquido de alimentação é introduzido de forma tangencial, passando paralelamente à membrana, e o permeado escoar transversalmente. Com isso, diminui a ocorrência de incrustações (MAURÍCIO, 2014).

As membranas de filtração são constituídas de acetato de celulose e/ou polietersulfona (SUN; CHEN, 2016), policarbonato, poliéster, poliuretana, poliacrilonitrila, entre outros compostos poliméricos (HABERT et al, 2006). As características e aplicações das diferentes membranas de filtração estão resumidas na Tabela 1.

2.5 Ultrafiltração no tratamento de efluentes

A ultrafiltração é uma operação unitária de separação e recuperação de compostos baseada no peso molecular e que gera permeado e retentado (LEE et al., 2016). Ela permite que um ou mais solutos passem com facilidade pelos poros da membrana sob pressão e força de condução geradas pelo próprio sistema (LI; HHITTIKUN; YOURAVONG; 2009).

Tabela 1 – Tipos de processos de separação por membranas, materiais permeáveis e aplicações do sistema

Processo	Força motriz	Material retido	Material permeável	Aplicações
Microfiltração (MF)	ΔP (0,5-2 atm)	Material em suspensão, bactérias e materiais >500 kDa (0,01 μm)	Água e sólidos dissolvidos	Esterilização bacteriana; clarificação de vinhos e cervejas; concentração de células; oxidação de sangue
Ultrafiltração (UF)	ΔP (1-7 atm)	Colóides, macromoléculas e materiais >5.000 Da	Água (solvente), sais solúveis de baixa massa molecular	Fracionamento/concentração de proteínas, recuperação de pigmentos/óleos
Nanofiltração (NF)	ΔP (5- 25 atm)	Moléculas de peso molecular > 500 Da	Água, sais e molecular de baixa massa molecular	Purificação de enzimas
Osmose Inversa (OI)	ΔP (15- 80 atm)	Todo material solúvel ou em suspensão >5.000 Da	Água (solventes)	Dessalinização de águas; concentração de suco de frutas; desmineralização de águas
Diálise (D)	ΔC	Moléculas de massa molar > 5.000 Da	Íons e orgânico de baixa massa molecular	Hemodiálise; rim artificial; recuperação de NaOH
Eletrodíálise (ED)	ΔE	Macromoléculas e compostos não iônicos	Íons	Concentração de soluções salinas; purificação de águas
Permeação de gases (PG)	$\Delta P \rightarrow \Delta C$	Gás menos permeável	Gás mais permeável	Recuperação de hidrogênio; separação de CO_2/CH_4 ; fracionamento de ar
Pervaporação (PV)	Pressão de vapor	Líquido menos permeável	Líquido mais permeável	Desidratação de álcoois.

ΔP (variação de pressão) ΔC (Variação de concentração) ΔE (Variação de potencial)

Fonte: Habert et al, 2006 ;p.17 :

O principal objetivo do tratamento do efluente por membrana de ultrafiltração é a remoção de nutrientes (JOHNS, 1995), contribuindo com a redução da cor e do valor de DQO, pois o permeado passa a conter menos materiais orgânicos que ficam retidos no retentado. Os materiais orgânicos que permeiam são mais biodegradáveis (ERIKSSON et al., 1978) e a redução de DQO se deve, principalmente, à remoção de proteínas e óleos presentes no efluente.

A ultrafiltração com membrana de acetado de celulose (CA) em efluentes gerados pelo processamento de lulas que continham elevada carga orgânica (DQO de 20.000 - 35.000 mg.L⁻¹) e inorgânica (sólidos totais dissolvidos – STD de 30 - 40 g.L⁻¹) foi capaz de reduzir em até 93% o valor de DQO (FERJANI; ELLOUZE; AMAR, 2005).

A ultrafiltração foi também testada em efluente da indústria lática, onde a perda total de leite processado pode chegar a 3%, segundo Balannec et al. (2002). De acordo com os autores, a maior perda ocorre quanto o leite está diluído no momento de arranque da produção e nas paradas industriais. Essa quantidade contribui para o aumento de DQO em torno de 0,5 - 6,0 g DQO.L⁻¹ e, com a ultrafiltração, foi possível concentrar os componentes perdidos, reduzindo esse parâmetro. Contudo, o mesmo processo não foi adequado para alcançar o padrão de potabilidade da água (BALANNEC et al., 2002). Ainda, no soro do leite são perdidos lipídeos polares, que não são comumente utilizados como ingredientes para o consumo humano, apesar de seus benefícios nutricionais e funcionais. Esses lipídeos polares podem ser recuperados por ultrafiltração em até 62%, além de diversas proteínas (GASSI et al., 2016).

De acordo com Civit, Parín e Lupín (1982), para aumentar o rendimento de um processo de ultrafiltração, é indispensável um rápido processamento do efluente, não sendo possível realizar o armazenamento do mesmo, pois o atraso no processamento aumenta a concentração do nitrogênio não protéico e diminui a quantidade de proteína recuperada, além de não reduzir efetivamente a DQO.

Enfim, cada efluente demanda investigação especial sobre o potencial de utilização das membranas de filtração, pois não é possível obter os mesmos resultados com todos os tipos de efluentes.

2.6 Membranas de ultrafiltração

As membranas de ultrafiltração são caracterizadas pelo material de que são feitas, pelo tipo de sistema de filtração em que serão utilizadas (frontal e tangencial) e pelo limite de peso molecular que suportam, também chamado de peso de corte, proveniente do termo em inglês *molecular weight cut-off* (MWCO), dado em kDa (AMADO et al., 2013). Quando a filtração é realizada de modo tangencial o sistema pode ser tubular, conforme apresentado na Figura 2.

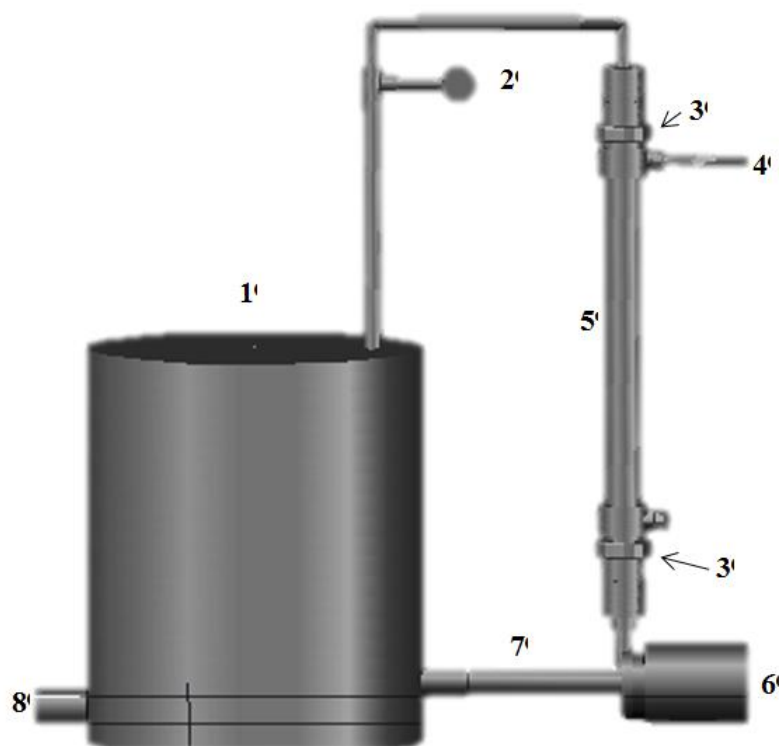


FIGURA 2- Sistema de ultrafiltração tangencial; 1: tanque de recepção; 2: manômetro de pressão de saída; 3: conexões para a troca das membranas; 4: cano de escoamento do permeado; 5: membrana; 6: motor; 7: cano de entrada do líquido na membrana (Fonte: Arquivo próprio)

É importante determinar o objetivo da utilização da ultrafiltração para, assim, definir o tamanho correto da membrana a ser utilizada. Por exemplo, uma membrana de 100 kDa permite maior transmissão de enzimas do que a membrana de 30 kDa, porém ambas permitem a mesma transmissão de proteínas (LI; YOURAVONG; H-KITTIKUN, 2006). A membrana de ultrafiltração de 30 kDa pode ser empregada para fins nobres como: recuperar proteases do extrato de baço de atum (LI; H-KITTIKUN; YOURAVONG, 2008); peptídeos com atividade antioxidante e anti-hipertensiva de efluente de processamento de lulas (AMADO et al., 2013) e, ainda, tratar diversos tipos de efluentes (AFONSO; FERRER; BORQUEZ, 2004; BRIÃO; TAVARES, 2007; LO et al., 2005).

O ponto negativo das membranas é a possibilidade de ocorrer incrustações, que podem ser reversíveis ou irreversíveis, causadas por polissacarídeos, proteínas e partículas inorgânicas (POELE; GRAAF, 2005). As incrustações irreversíveis são, em sua maioria, ocasionadas pela alta quantidade de polissacarídeos presentes na água. Outras substâncias causam incrustações reversíveis, na maioria dos casos (AO et al., 2016).

As membranas de acetato de celulose (CA) são caracterizadas por serem mais resistentes à ocorrência de fenômenos de incrustações, além de serem altamente hidrofílicas e mais acessíveis economicamente. Entretanto, essa configuração de membranas tem como desvantagem a baixa resistência química e mecânica (LEE et al., 2016).

As membranas de polietersulfona (PES) são caracterizadas por serem de fácil limpeza química e física, e apresentarem resistência térmica. Porém, sua desvantagem reside no fato de serem hidrofóbicas e favorecerem a ocorrência de entupimentos (LEE et al., 2016). Uma alternativa para melhorar sua qualidade é o incremento de acetato de celulose (CA) em sua composição, produzindo uma membrana com propriedade hidrofílica e anti-incrustação. Porém, para a fabricação desta membrana mista, a composição da mistura e o tempo de evaporação da massa que constituirá a membrana podem influenciar a resistência mecânica e o fluxo de água pura (SUN; CHEN, 2016).

A utilização da membrana de ultrafiltração de PES 10 kDa para a filtração de efluente de lavanderia demonstrou eficiência na redução de DQO, sólidos dissolvidos totais (STD), turbidez e condutividade (SUMISHA et al., 2015). Porém, quando o assunto é efluente de frigorífico, os principais problemas são os lipídeos e as proteínas dissolvidas, pois estes compostos são altamente incrustantes da superfície da membrana devido à hidrofobicidade. Ainda assim, a ultrafiltração pode contribuir para a remoção dos mesmos compostos (ALLIE et al., 2003).

Considerando o aumento da tilapicultura no Brasil e a consequente geração de efluentes oriundos da industrialização, o objetivo deste trabalho foi testar a aplicação de membranas de ultrafiltração visando a redução da carga poluente de efluente de produção de tilápia para alcançar adequação ao descarte.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Serviços: pesquisa de normas técnicas. NBR 9.800/1987 - **Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário**. Disponível em:<<http://abnt.org.br/serviços.htm>>. Acesso em: 08 Jan 2017.

AFONSO, M. D.; BORQUEZ, R. Review of the treatment of seafood processing wastewaters and recovery of proteins therein by membrane separation processes - prospects of the ultrafiltration of wastewaters from the fish meal industry. **Desalination**, v. 142, p. 29–45, 2002.

AFONSO, M. D.; FERRER, J.; BORQUEZ, R. An economic assessment of proteins recovery from fish meal effluents by ultrafiltration. **Food science and technology**, v. 15, p. 506–512, 2004.

AGUIAR, G. P. S.; LIMBERGER, G. M.; SILVEIRA, E. L. Alternativas tecnológicas para o aproveitamento resíduos provenientes da industrialização de pescados. **Revista Eletrônica da UNIVAR**, v. 1, n. 11, p. 219–225, 2014.

ALLIE, Z.; JACOBS, E. P.; MAARTENS, A.; SWART, P. Enzymatic cleaning of ultrafiltration membranes fouled by abattoir effluent. **Journal of Membrane Science**, v. 218, p. 107–116, 2003.

AMADO, I. R.; VÁZQUEZ, J. A.; GONZÁLEZ, M. P.; MURADO, M. A. Production of antihypertensive and antioxidant activities by enzymatic hydrolysis of protein concentrates recovered by ultrafiltration from cuttlefish processing wastewaters. **Biochemical Engineering Journal**, v. 76, p. 43–54, 2013.

ANTUNES, V. D. C. Uso de microfiltração para melhoria da qualidade e

extensão da vida de prateleira de leite pasteurizado. **Brazilian Journal of Food Technology**, p. 75–86, 2014.

AO, L.; LIU, W.; ZHAO, L.; WANG, X. Membrane fouling in ultrafiltration of natural water after pretreatment to different extents. **Journal of Environmental Sciences**, v. 43, p. 234–243, 2016.

AVULA, R. Y.; NELSON, H. M.; SINGH, R. K. Recycling of poultry process wastewater by ultrafiltration. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 10, n. 1, p. 1–8, 2009.

BALANNEC, B.; GENEVIKVE, G.; CHAUFER, B.; RABILLER-BAUDRY, M.; DAUFINB, G. Treatment of dairy process waters by membrane operations for water reuse and milk constituents concentration. **Desalination**, v. 147, p. 89–94, 2002.

BARROSO, R. M.; FILHO, M. X. P.; RIOS, J. L.; MUNOZ, A. E. P.; ROCHA, H. S. **O Mercado da Tilápia** – 1º Trimestre de 2016. Embrapa Pesca e Aquicultura, p. 9, 2016.

BRASIL. Presidencia da República. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] União**, de 9 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm> Acesso em: 12 jan 2017

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2011. Resolução 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente -

CONAMA. 2011. **Diário Oficial [da] União**, de 16 maio 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res_11/res43011.pdf> Acesso em: 2 jan 2017.

BRASIL, **Novo relatório da FAO aponta que produção da pesca e aquicultura no Brasil deve crescer mais de 100% até 2025**. 2016. Disponível em:<<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/423722/>> Acesso em: 02 jan 2016

BRIÃO, V. B.; TAVARES, C. R. G. Ultrafiltração como processo de tratamento para o reúso de efluentes de laticínios. **Engenharia sanitária ambiental**, v. 12, p. 134–138, 2007.

CASANI, S.; ROUHANY, M.; KNØCHEL, S. A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry. **Water Research**, v. 39, p. 1134–1146, 2005.

CIVIT, E. M.; PARÍN, M. P.; LUPÍN, H. M. Recovery of protein and oil from fishery bloodwater waste. **Water Research**, v. 16, n. 1959, p. 809–814, 1982.

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

ERIKSSON, G.; ERIKSSON, P.; HALLSTRÖM, B.; WIMMERSTEDT, R. Membrane technology research at Lund Institute of Technology Sweden. **Desalination**, v. 27, n. 1, p. 81–89, 1978.

FAO. **Incrementar o consumo e o comércio inter-regional de pescado pode contribuir para a luta contra a fome na américa latina e caribe**. 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/br/iccirppcplcfALC.asp>>. Acesso em: 02 jan

2017

FAO. **Relatório destaca o crescente papel do peixe na alimentação mundial.** 2014. Disponível em: <
<http://www.fao.org/news/story/pt/item/232037/icode/>>. Acesso em: 02 jan 2017

FAO. **The State of world fisheries and aquaculture:** contributing to food security and nutrition for all. contributing to food security and nutrition for all. Roma: FAO, 2016. p. 200.

FERJANI, E.; ELLOUZE, E.; AMAR, R. BEN. Treatment of seafood processing wastewaters by ultrafiltration-nanofiltration cellulose acetate membranes. **Desalination**, v. 177, p. 43–49, 2005.

GASSI, J. Y.; BLOT, M.; BEAUCHER, E.; ROBERT, B.; LECONTE, N.; ROUSSEAU, F.; BOURLIEU, C.; JARDIN, J.; LOPEZ, C.; LAMBERT, S. Preparation and characterisation of a milk polar lipids enriched ingredient from fresh industrial liquid butter serum: Combination of physico-chemical modifications and technological treatments. **International Dairy Journal**, v. 52, p. 26–34, 2016.

GHIGGI, F.F. **Tratamento de águas para consumo domestico com membranas de ultrafiltração.** 2011. 33 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Química. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2011

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais.** Departamento de engenharia sanitária e do meio ambiente: UERJ, 2004. 81p.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. **Processos de separação por membranas.** 1 ed. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais. 2006. 180p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, v. 41, p.1-108, 2013. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2013/ppm2013.pdf>. Acesso em: 20 jan 2017

JOHNS, M. R. Developments in wastewater treatment in the meat processing industry: a review. **Bioresource Technology**, v. 8524, n. 95, p. 203–216, 1995.

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

LEE, J. S.; HEO, S. A.; JO, H. J.; MIN, B. R. Preparation and characteristics of cross-linked cellulose acetate ultra filtration membranes with high chemical resistance and mechanical strength. **Reactive and Functional Polymers Journal**, v. 99, p. 114–121, 2016.

LI, Z.; H-KITTIKUN, A.; YOURAVONG, W. Purification of protease from pre-treated tuna spleen extract by ultrafiltration: An altered operational mode involving critical flux condition and diafiltration. **Separation and Purification Technology**, v. 66, n. 2, p. 368–374, 2009.

LI, Z. Y.; H-KITTIKUN, A.; YOURAVONG, W. Separation of protease from yellowfin tuna spleen extract by ultrafiltration: Effect of hydrodynamics and gas sparging on flux enhancement and selectivity. **Journal of Membrane Science**, v. 311, n. 1–2, p. 104–111, 2008.

LI, Z. Y.; YOURAVONG, W.; H-KITTIKUN, A. Protein hydrolysis by protease isolated from tuna spleen by membrane filtration: A comparative study with commercial proteases. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 1, p.

166–172, 2010.

LI, Z.; YOURAVONG, W.; H-KITTIKUN, A. Separation of proteases from yellowfin tuna spleen by ultrafiltration. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 18, p. 2364–2370, 2006.

LIMA, L. K. F. **Resíduos sólidos na cadeia agroindustrial do pescado**. Palmas – TO:EMBRAPA, 2013. v. 1

LO, Y. M.; CAO, D.; ARGIN-SOYSAL, S.; WANG, J.; HAHM, T. S. Recovery of protein from poultry processing wastewater using membrane ultrafiltration. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 6, p. 687–698, 2005.

MAURÍCIO, R. G. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando processos de separação de membranas e zeólita natural**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro Escola Politécnica e Escola de Química. Rio de Janeiro. 2014.

POELE, S.; GRAAF, J. VAN DER. Enzymatic cleaning in ultrafiltration of wastewater treatment plant effluent. **Desalination** v. 179, p. 73–81, 2005.

SANTANA, I. **O mercado está pra peixe nativo**. EMBRAPA, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/16658654/o-mercado-esta-pra-peixe-nativo>> Acesso em: 02 jan 2016

SÃO PAULO (Estado). Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Decreto Estadual N° 8.468, de 8 de Setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente Paulo. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, 1 jun. 1976 Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1976_Lei_Est_997.pdf> Acesso em 12 jun. 2017

SÃO PAULO (Estado). Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Decreto nº 50.079, de 24 de julho de 1968. Dispõe sobre a constituição do Centro Tecnológico de Saneamento Básico, prevista na Lei estadual n. 10.107, de 8 de maio de 1968, e da outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, 24 jul. 1968 Disponível em <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1968/decreto-50079-24.07.1968.html>> Acesso em 12 jun. 2017

SÃO PAULO (Estado). Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Lei nº 13.542, de 8 de Maio de 2009. Altera a denominação da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e da nova redação aos artigos 2º e 10 da Lei nº118, de 29 de junho de 1973. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, 9 maio 2009. Disponível em <<http://www.legislacao.sp.gov.br/legislacao/dg280202.nsf/53fa486d550a866b83256bfa0067412a/c46649348c4289ab032575b3004a46fe?OpenDocument>> Acesso em 12 jun. 2017

SEAFOOD BRASIL.**Consumo mundial de 20kg per capita e AL com aquicultura 40% maior até 2025:** conclusões do SOFIA. 2016a Disponível em: <<http://seafoodbrasil.com.br/consumo-mundial-de-20kg-per-capita-e-al-com-aquicultura-40-maior-ate-2025-conclusoes-sofia-2016/>>. Acesso em: 02 jan 2017

SEAFOOD BRASIL. **Preços da tilápia inteira no Brasil são inconstantes, diz estudo da Embrapa.** 2016b. Disponível em: <<http://seafoodbrasil.com.br/precos-da-tilapia-inteira-brasil-sao-inconstantes-diz-estudo-da-embrapa/>>. Acesso em: 02 jan 2017

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) - Universidade Estadual Paulista UNESP-

Campus de Jaboticabal Centro de Aquicultura da Unesp – CAUNESP. Jaboticabal. 2010.

SUMISHA, A.; Arthanareeswaran, G.; Thuyavan, Y. L.; Ismail, A. F.; Chakraborty, S. Treatment of laundry wastewater using polyethersulfone / polyvinylpyrrolidone ultra filtration membranes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 121, p. 174–179, 2015.

SUN, Z.; CHEN, F. International Journal of Biological Macromolecules Hydrophilicity and antifouling property of membrane materials from cellulose acetate / polyethersulfone in DMAc. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 91, p. 143–150, 2016.

SUSSEL, F.R. **A tilápia vem se ajustando a novos cenários e regiões.** ANUALPEC–Anuário de Pecuária Brasileira. 2010. Disponível em: <<http://www.abracoa.com.br/0608/0608.pdf>>. Acesso em: 02 jan 2017

VAN DEN BERG, G. B. **Concentration polarization in ultrafiltration.** 1988. 156 f. Tese (Doutorado) - Universidade Twente, Enschede, Holanda, 1988.

CAPÍTULO 2 – ARTIGO CIENTÍFICO: TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDUSTRIALIZAÇÃO DE PESCADO COM SISTEMA DE ULTRAFILTRAÇÃO

RESUMO: A indústria de pescado vem se desenvolvendo para atender à crescente demanda do mercado e, concomitantemente, vem aumentando a quantidade de resíduos descartados em função do processamento. O efluente gerado pelas indústrias de pescado contém matéria orgânica com potencial poluente e, por isso, deve ser tratado previamente ao descarte. Os sistemas de filtração vêm ganhando notoriedade nesse sentido. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o potencial da operação de ultrafiltração para reduzir a carga poluente do efluente de indústria de tilápia. O efluente foi coletado em uma indústria de processamento de tilápias e caracterizado quanto a suas propriedades físico-químicas. As filtrações foram realizadas em sistema fechado com recirculação do retentado, utilizando-se membranas de três porosidades: M1 - 150 kDa, M2 - 30 kDa e M3 - 10kDa. As análises físico-químicas foram repetidas no permeado e no retentado gerados nas filtrações. Exceto para a cor, que reduziu em 91,7% com a membrana de 10 kDa, as três membranas promoveram a mesma rejeição para os demais parâmetros avaliados, embora não tenham sido capazes de atender aos padrões para lançamento direto de efluentes em relação à cor e ao teor de óleos e graxas. Todas as membranas também foram igualmente capazes de concentrar matéria orgânica e inorgânica do efluente. A membrana de 150 kDa mostrou ser a mais adequada para remover e concentrar a carga poluente do efluente de indústria de processamento de tilápias.

Palavras chave: Demanda bioquímica de oxigênio, óleos e graxas, proteínas.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população, da urbanização e da renda, as pessoas têm optado por alimentos mais saudáveis e com melhor qualidade nutricional, levando ao aumento do consumo de derivados de peixe (FAO, 2014; SOUZA, 2010). Segundo dados da FAO (2016), no ano de 2013, o pescado representou 17% de proteína animal na alimentação mundial e, em 2014, o consumo *per capita* foi de 20 kg.

A projeção do crescimento da aquicultura para a América Latina é de 39,9% até o ano de 2025, chegando até 3,7 milhões de toneladas. Nesse cenário, o Brasil tem a perspectiva de maior crescimento (104%), seguido de México (54,2%) e Argentina (53,9%) (FAO, 2016). Entretanto, esse crescimento demanda consciência com a biota aquática que, uma vez danificada, pode prejudicar toda a cadeia ecológica (FAO, 2014).

Uma indústria de peixes com produção média de 100 toneladas de peixe/hora tem capacidade de produzir 1.100 m³/h de efluente (AFONSO; BORQUEZ, 2002) com características físicas, químicas e biológicas que variam conforme o processamento industrial e o tipo de pescado (LIMA, 2013). O efluente de algumas indústrias de pescado contém substâncias que contribuem para o aumento dos sólidos totais e da demanda química de oxigênio (DQO) (AFONSO; FERRER; BORQUEZ, 2004), tornando-o potencialmente poluente. Por isso, esses efluentes requerem tratamentos prévios ao descarte, de modo a evitar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos do corpo d'água receptor (BRASIL, 2011).

Atualmente, para reduzir a carga poluente dos efluentes são utilizados métodos de sedimentação e coagulação-floculação por ar dissolvido com o auxílio de polímeros (CRISTÓVÃO et al., 2014). Entretanto, esse tipo de técnica apresenta o inconveniente da grande quantidade de lodo produzido, que demanda custos adicionais para o descarte correto (KUCA; SZANIAWSKA, 2009), além de requerer amplas áreas dentro da indústria.

Outra questão ambiental que vem tomando espaço é a quantidade de água captada para o processamento, que poderia ser reduzida com tratamento

específico e reutilização dos efluentes (BRIÃO; TAVARES, 2007; SOUZA, 2010), uma vez que a água potável está se tornando um bem cada vez mais escasso, fazendo com que seu reuso se torne uma necessidade (CASANI et al., 2005).

A tecnologia de filtração por membranas vem sendo explorada para o tratamento de efluentes. Essa tecnologia é empregada quando o intuito é separar, concentrar e purificar os mais variados tipos de corpos líquidos (AMADO et al., 2013; LEE et al., 2016; LO et al., 2005). A ultrafiltração pode ser um excelente método para o tratamento de efluentes originários da indústria de processamento de pescado, além de permitir a obtenção de proteínas como coproduto (AMADO et al., 2013; ERIKSSON et al., 1978). Além disso, representa uma alternativa aos tratamentos convencionais por demandar menos tempo e espaço.

Avula et al. (2009) comprovaram a eficiência da ultrafiltração de efluente de abatedouro de aves para remoção de sólidos totais e redução de turbidez, sólidos dissolvidos, nitrogênio total, DQO, nível microbiano e proteínas. No efluente de produção de farinha de peixes, Afonso, Ferrer e Borquez (2004) conseguiram recuperar proteínas utilizando esse método e, em efluentes de processamento de lulas (*Illex argentinus*), Amado et al. (2013) resgataram proteínas e peptídeos com atividades anti-hipertensiva e antioxidante, o que permitiu a geração de um permeado com possibilidade de descarte direto.

Em 2013, a tilápia representou 41% da produção nacional de pescado devido a sua fácil adaptação aos mais diversificados tipos de ambientes aquáticos (FAO, 2016). Considerando o aumento da tilapicultura no Brasil, o objetivo deste trabalho foi testar a aplicação da ultrafiltração para a redução da carga poluente do efluente de processamento de tilápia com vistas ao descarte adequado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Efluente

O efluente utilizado no experimento foi obtido de indústria de abate, filetagem e congelamento de tilápias (*Oreochromis niloticus*), localizada no município de Aparecida do Taboado - MS, com produção média estimada em 30 mil toneladas de peixe por ano. As amostras (150 litros divididos em 3 recipientes de 50 litros) foram coletadas do tanque de pré-resfriamento (etapa anterior ao congelamento), sempre às 11 h da manhã (período de maior intensidade de produção), em três dias diferentes do mês de outubro, constituindo as três repetições do experimento.

2.2 Filtrações

O experimento foi realizado na Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba – Unesp (FMVA). O efluente *in natura* (50 L) foi submetido a uma filtração prévia em tecido musseline (160 fios/polegadas) visando a retenção de partículas grosseiras, de modo a aumentar a vida útil da membrana. Em seguida, foram realizadas as ultrafiltrações em circuito fechado, com recirculação do retentado, utilizando um sistema constituído de tanque de recepção e concentração, bomba hidráulica, adaptador para membrana e manômetro.

Foram testados três módulos de membrana M1 - 150 kDa, M2 - 30 kDa e M3 - 10 kDa (MICRODYN-NADIR). A membrana de 150 kDa era constituída de acetato de celulose e as membranas de poros menores (30 e 10 kDa) eram constituídas de polietersulfona.

As filtrações foram realizadas em temperatura de 25°C (controlada por condicionador de ar), partindo-se de 50 L de efluente até se atingir 8% do volume inicial do efluente (capacidade mínima de trabalho do equipamento utilizado).

A velocidade de escoamento foi calculada pela medição do permeado gerado em um determinado período de tempo. A eficiência das membranas em remover material poluente do efluente foi expressa em % de rejeição, conforme sugerido por Afonso, Ferrer e Borquez (2004) (Equação 1).

$$\text{Rejeição (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Concentração do componente no permeado}}{\text{Concentração do componente no efluente } in\ natura}\right) \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

2.3 Caracterização físico-química de efluente *in natura*, permeado e retentado

Sólidos totais, sólidos fixos, óleos e graxas, proteínas e pH foram quantificados conforme as técnicas descritas em APHA et al. (2005). Nitrogênio total e nitrito foram determinados pelo método colorimétrico da Hach (métodos 8075, 8038 e 8507, respectivamente). A cor foi determinada em espectrofotômetro, segundo o método 8025 (HACH, 2006). A DQO foi determinada segundo a metodologia de Jirka e Carter (1975), com adaptações, em que a digestão química foi realizada em reator (Hach DRB - 200) e a análise colorimétrica foi realizada em espectrofotômetro (Hach DR - 2800), a partir de curva de calibração apropriada. As análises foram realizadas em triplicata.

2.4 Atividade antioxidante

A pesquisa de atividade antioxidante foi realizada no efluente *in natura* e no retentado, pelo método de oxidação do β -caroteno/ácido linoleico, que avalia a atividade de inibição de radicais livres gerados durante a peroxidação do ácido linoléico, segundo metodologia adaptada de Miller (1971). Os resultados foram medidos a partir de curva padrão de ácido ascórbico (DUARTE-ALMEIDA et al., 2006) e expressos em porcentagem de atividade antioxidante.

2.5 Análise de conformidade com a legislação para o descarte direto

Para a análise de possibilidade de descarte direto em corpos d'água, os valores obtidos nas análises físico-químicas do permeado e do efluente *in natura* foram comparados com os padrões de lançamento previstos na legislação brasileira vigente do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2011).

2.6 Análise estatística

Os resultados das análises físico-químicas do efluente *in natura* (EN), do permeado (PE) e do retentado (RE) foram analisados por análise de covariância, seguido do teste de Duncan's para a comparação das médias, duas a duas. O programa utilizado foi o software SAS Versão 9.2 e adotou-se o nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dia da coleta influenciou de forma direta nos resultados de pH ($p > 0,0005$), óleos e graxas ($p > 0,043$) e sólidos totais ($p > 0,039$). Isso provavelmente se deveu às variações no efluente, em função da quantidade de peixe processado nos dias das coletas, que eram determinados conforme a necessidade de mercado.

As velocidades de escoamento foram $2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, $0,6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ e $0,07 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, respectivamente, para as três porosidade de membranas :150, 30 e 10 kDa. Todas as membranas promoveram reduções significativas na DQO do efluente da indústria de processamento de tilápia *in natura* (Tabela 2). A DQO mede a quantidade de matéria orgânica degradada pela ação de reagentes químicos fornecendo, indiretamente, a medida de carga poluente do efluente (PARRON, 2011).

Tabela 2 - Médias e desvios padrões dos parâmetros físico-químicos do efluente *in natura* (EN) e do permeado resultante das filtrações (M1, M2 e M3) e suas respectivas porcentagens de rejeição

Parâmetro	EN	M1	M2	M3
pH	7,27 ± 0,42 ^{ab}	7,02 ± 0,51 ^b	6,95 ± 0,77 ^b	7,62 ± 0,93 ^b
Nitrogênio Total (mg.L⁻¹)	1,06 ± 0,03 ^a	0,134 ± 0,035 ^b (87,32)	0,132 ± 0,025 ^b (87,48)	0,131 ± 0,043 ^b (87,54)
Proteína (%)	0,26 ± 0,06 ^a	0,18 ± 0,05 ^{ab} (31,08)	0,11 ± 0,02 ^b (56,28)	0,12 ± 0,04 ^b (51,81)
Óleos e graxas (g.L⁻¹)	0,46 ± 0,26 ^a	0,31 ± 0,02 ^{ab} (32,33)	0,23 ± 0,17 ^{ab} (49,46)	0,19 ± 0,13 ^b (59,93)
Sólidos fixos (g.L⁻¹)	1,18 ± 0,21	1,06 ± 0,05 (9,77)	1,00 ± 0,12 (15,21)	0,97 ± 0,16 (17,62)
Sólidos totais (g.L⁻¹)	3,99 ± 0,33 ^a	2,27 ± 0,23 ^b (43,13)	1,99 ± 0,28 ^b (49,87)	2,01 ± 0,94 ^b (49,64)
Nitrito (mg.L⁻¹)	0,41 ± 0,05 ^a	0,096 ± 0,05 ^b (76,57)	0,065 ± 0,008 ^b (84,21)	0,066 ± 0,03 ^b (83,97)
DQO (mg.L⁻¹)	1854,7 ± 139,3 ^a	1199,8 ± 157,0 ^b (35,30)	1089,5 ± 384,9 ^b (41,26)	1089,3 ± 370,5 ^b (41,27)
Cor (mg Pt.L⁻¹)	873 ± 69,31 ^a	240 ± 28,51 ^b (72,51)	212,7 ± 72,95 ^c (75,64)	77 ± 10,58 ^c (91,17)

T1 - membrana de 150 kDa; T2 - membrana de 30 kDa; T3 - membrana de 10 kDa

^{a,b,c} Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan's (p<0,05).

A filtração com membrana de 150 KDa alcançou porcentagens de rejeição de proteínas e óleos e graxas equivalentes às alcançadas com as demais membranas, enquanto que as filtrações com membranas de 30 e 10 kDa destacaram-se significativamente na remoção de proteínas e de cor do efluente *in natura*. A membrana de 10 kDa também promoveu uma redução significativa no teor de óleos e graxas do efluente *in natura*. Para os demais parâmetros avaliados, as porcentagens de rejeições promovidas pelas

diferentes membranas diferiram significativamente do efluente *in natura*. Assim sendo, sugere-se o uso da membrana de 150 kDa quando o objetivo for remover matéria orgânica do efluente, uma vez que essa porosidade apresenta maior velocidade de escoamento e menor possibilidade de ocorrência de entupimentos que as demais.

A utilização da membrana de 30 kDa resultou em rejeição superior à encontrada por Lo et al. (2005) para sólidos totais (35,79%) e inferior para DQO (58,86%) que utilizaram a mesma porosidade de membrana para a ultrafiltração de efluente de indústria avícola. Para o efluente de laticínio, utilizando membranas de 30 - 80 kDa, Brião e Tavares (2007) alcançaram melhores índices de rejeição para DQO (54,64%) e proteínas (93,41%), porém inferiores aos resultados encontrados neste trabalho para óleos e graxas (25,69%) e sólidos totais (25,67%). Os resultados obtidos para a recuperação de proteínas foram próximos aos alcançados por Afonso, Ferrer e Borquez (2004), que obtiveram 62% de rejeição utilizando membrana de 15 kDa para filtrar efluente de processamento de peixe.

Todas as membranas apresentaram o mesmo potencial para concentrar proteínas, óleos e graxas, sólidos fixos e sólidos totais do efluente, promovendo recuperações significativas de proteínas e sólidos totais em relação ao efluente *in natura* (Tabela 3). Apenas a membrana de 10 KDa foi capaz de promover uma recuperação significativa de óleos e graxas, quando comparada ao efluente *in natura*. Considerando esses resultados, as velocidades de escoamento e o fato de que, durante as filtrações, a membrana de 10 KDa apresentou entupimento, requerendo trabalho de limpeza, novamente sugere-se o uso da membrana de 150 KDa quando o objetivo for recuperar matéria orgânica.

Os bons resultados alcançados com a membrana de 150 kDa podem estar relacionados com o tipo do material constituinte (acetato de celulose), caracterizado por ser altamente hidrofílico, resistente a fenômenos de incrustações e mais acessível economicamente, apesar de apresentar como desvantagem baixa resistência química e mecânica para a limpeza (LEE et al., 2016).

Tabela 3 - Médias e desvios padrões dos parâmetros físico-químicos do efluente *in natura* (EN) e do retentado resultante das filtrações (M1, M2 e M3)

Parâmetro	EN	M1	M2	M3
pH	7,27 ± 0,42 ^{ab}	7,17 ± 0,21 ^b	7,56 ± 0,08 ^a	7,38 ± 0,31 ^{ab}
Nitrogênio total (mg.L⁻¹)	1,06 ± 0,03	1,74 ± 0,19	1,71 ± 0,53	1,21 ± 0,53
Proteínas (%)	0,26 ± 0,06 ^b	1,83 ± 0,48 ^a	1,21 ± 0,28 ^a	1,28 ± 0,51 ^a
Óleos e graxas (g.L⁻¹)	0,46 ± 0,26 ^b	0,88 ± 0,15 ^{ab}	1,00 ± 0,66 ^{ab}	1,91 ± 0,74 ^a
Sólidos fixos (g.L⁻¹)	1,18 ± 0,21 ^b	1,42 ± 0,23 ^{ab}	1,37 ± 0,02 ^b	1,17 ± 0,20 ^b
Sólidos totais (g.L⁻¹)	3,99 ± 0,33 ^b	21,82 ± 4,19 ^a	16,95 ± 2,29 ^a	18,92 ± 3,66 ^a

M1 - membrana de 150 kDa; M2 - membrana de 30 kDa; M3 - membrana de 10 kDa

^{a,b,c} Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan's (p<0,05)

A ultrafiltração é bem explorada e aplicada para a recuperação de compostos de interesse econômico (AMADO et al., 2013). Amado et al. (2013) encontraram atividade antioxidante nas proteínas recuperadas do retentado da ultrafiltração de efluentes de processamento de lulas. Neste trabalho, entretanto, em nenhum dos retentados foi possível observar atividade antioxidante nas proteínas recuperadas, embora no efluente *in natura* as proteínas tenham apresentado 31,08% de atividade antioxidante. Uma provável explicação está no fato de que os peptídeos naturais com potencial bioativo presentes no efluente podem ter se perdido no permeado da ultrafiltração (ROSLAN et al., 2017). Além disso, para a pesquisa de atividade antioxidante do retentado de ultrafiltração de efluentes, alguns autores sugerem a realização de uma prévia hidrólise enzimática das proteínas (AMADO et al., 2013; HALIM et al., 2016; TOOPCHAM et al., 2015), que não foi realizada neste experimento.

De acordo com BRASIL (2011), os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores desde que obedçam a algumas condições e padrões, tais como temperatura inferior a 40°C, pH entre 5 a 9, nitrogênio total até 1,27 mg.L⁻¹, nitrito até 1,0 mg.L⁻¹, óleos e graxas até 0,05 g.L⁻¹ (óleos vegetais e gorduras animais), cor de até 75 mg Pt.L⁻¹ e ausência de materiais flutuantes. Considerando esses parâmetros, verifica-se que o efluente *in natura* já se enquadrava na legislação quanto a temperatura, pH, nitrogênio total e nitrito. O uso de ultrafiltração permitiu o atendimento aos padrões de materiais flutuantes, porém, a cor e o teor de óleos e graxas resultantes nos permeados de todas as filtrações ainda estiveram acima do permitido para o lançamento do permeado em águas doces.

Portanto, na intenção de aplicar a ultrafiltração para o tratamento despoluente do efluente de indústrias de processamento de tilápias, sugere-se a utilização da flotação como operação adicional para diminuir a cor e remover óleos e graxas, o que contribuiria ainda mais para a diminuição da carga poluente.

4 CONCLUSÃO

As membranas utilizadas foram capazes de reduzir a carga poluente do efluente de indústria de processamento de tilápias, embora não tenham sido capazes de gerar permeados que atendessem aos padrões de lançamento em relação à cor e ao teor de óleos e graxas. A membrana de 150 kDa mostrou-se a mais indicada para remover e concentrar a carga poluente do efluente de indústria de processamento de tilápias.

REFERÊNCIAS

AFONSO, M. D.; BORQUEZ, R. Review of the treatment of seafood processing wastewaters and recovery of proteins therein by membrane separation processes - prospects of the ultrafiltration of wastewaters from the fish meal industry. **Desalination**, v. 142, p. 29–45, 2002.

AFONSO, M. D.; FERRER, J.; BORQUEZ, R. An economic assessment of proteins recovery from fish meal effluents by ultrafiltration. **Food science and technology**, v. 15, p. 506–512, 2004.

AMADO, I. R.; VÁZQUEZ, J. A.; GONZÁLEZ, M. P.; MURADO, M. A. Production of antihypertensive and antioxidant activities by enzymatic hydrolysis of protein concentrates recovered by ultrafiltration from cuttlefish processing wastewaters. **Biochemical Engineering Journal**, v. 76, p. 43–54, 2013.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington: American Public Health Association, 2005. 1.268 p

AVULA, R. Y.; NELSON, H. M.; SINGH, R. K. Recycling of poultry process wastewater by ultrafiltration. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 10, n. 1, p. 1–8, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2011. Resolução 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2011. **Diário Oficial [da] União**, de 16 maio 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res_11/res43011.pdf> Acesso em: 2

jan 2017.

BRIÃO, V. B.; TAVARES, C. R. G. Ultrafiltração como processo de tratamento para o reúso de efluentes de laticínios. **Engenharia sanitária ambiental**, v. 12, p. 134–138, 2007.

CASANI, S.; ROUHANY, M.; KNØCHEL, S. A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry. **Water Research**, v. 39, p. 1134–1146, 2005.

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

DUARTE-ALMEIDA, J. M.; SANTOS, R. J. DOS; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema β -caroteno/ácido linoléico e método de seqüestro de radicais DPPH•. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 446–452, 2006.

ERIKSSON, G.; ERIKSSON, P.; HALLSTRÖM, B.; WIMMERSTEDT, R. Membrane technology research at Lund institute of Technology Sweden. **Desalination**, v. 27, n. 1, p. 81–89, 1978.

FAO. **Relatório destaca o crescente papel do peixe na alimentação mundial**. 2014. Disponível em: <
<http://www.fao.org/news/story/pt/item/232037/icode/>>. Acesso em: 02 jan 2017

FAO. **The State of world fisheries and aquaculture**: contributing to food security and nutrition for all. Roma: FAO, 2016. p. 200.

HACH. **DR 2800 Espectrofotómetro**. 1^o ed. Germany, 2006. 134 p.

HALIM, N. R. A.; YUSOF, H. M.; SARBON, N. M. Functional and bioactive properties of fish protein hydrolisates and peptides: A comprehensive review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 51, p. 24–33, 2016.

JIRKA, A.M., CARTER, M.J. Micro semi-automated analysis of surface and wastewaters for chemical oxygen demand. **Analytical Chemistry**. 47, 1397–1402.1975

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

LEE, J. S.; HEO, S. A.; JO, H. J.; MIN, B. R. Preparation and characteristics of cross-linked cellulose acetate ultra fi ltration membranes with high chemical resistance and mechanical strength. **Reactive and Functional Polymers journal**, v. 99, p. 114–121, 2016.

LIMA, L. K. F. **Resíduos sólidos na cadeia agroindustrial do pescado**. Palmas – TO:EMBRAPA, 2013. v. 1

LO, Y. M.; CAO, D.; ARGIN-SOYSAL, S.; WANG, J.; HAHM, T. S. Recovery of protein from poultry processing wastewater using membrane ultrafiltration. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 6, p. 687–698, 2005.

MILLER, H. E. A simplified method for the evaluation of antioxidants. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 48, n. 2, p. 91–91, 1971.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>

/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2016.

ROSLAN, J., MAZLINA, S., KAMAL, M., FAEZAH, K., ABDULLAH, N. Assessment on multilayer ultrafiltration membrane for fractionation of tilapia by-product protein hydrolysate with angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activity. **Separation and Purification Technology** 2017

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) - Universidade Estadual Paulista UNESP- Campus de Jaboticabal Centro de Aquicultura da Unesp – CAUNESP. Jaboticabal. 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100185/souza_ma_dr_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 2 jan 2017

TOOPCHAM, T.; ROYTRAKUL, S.; YONGSAWATDIGUL, J. Characterization and identification of angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides derived from tilapia using *Virgibacillus halodenitrificans* SK1-3-7 proteinases. **Journal of Functional Foods**, v. 14, p. 435–444, 2015.