LUMEN ET VIRTUS
ISSN: 2177-2789

PRODUÇÃO DE PESCADOS E O POTENCIAL DA PRODUÇÃO DE TILÁPIA NO BRASIL E NO MUNDO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE SUA UTLIZAÇÃO COMO ENERGIA E ALIMENTO

https://doi.org/10.56238/levv15n41-075

Data de submissão: 22/09/2024 **Data de publicação:** 22/10/2024

Francisco de Assis da Silva Mota
Dr. em Engenharia de Teleinformática
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
E-mail: assis.mota@ufrn.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2286-5289
LATTES: https://lattes.cnpq.br/9509458964109076

Antônio Bruno de Vasconcelos Leitão
Dr. em Engenharia em Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Rio Grande do Piauí - UFPI
E-mail: antoniobruno@ufpi.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5770-942X
LATTES: http://lattes.cnpq.br/5567801490506745

Danielle Christine Almeida Jaguaribe
Dra. em Engenharia de Química
Universidade Federal do Rio Grande da Paraíba - UFPB
E-mail: dcaj@academico.ufpb.br
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1836-5403
LATTES: http://lattes.cnpq.br/5182923745438960

Geordy Souza Pereira
Dr. em Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Rio Grande do Piauí - UFPI
E-mail: geordy@ufpi.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7025-328X
LATTES: http://lattes.cnpq.br/1287499167497435

Nayara Cardoso de Medeiros
Dra. em Engenharia de Produção
Universidade Federal do Rio Grande do Piauí - UFPI
E-mail: nayaramedeiros@ufpi.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1620-4318
LATTES: http://lattes.cnpq.br/2918639969872058

João Igor da Rocha Leitão
Dr. em Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Ceará - UFC
E-mail: igorrochaleitao@gmail.com

ORCID: https://orcid.org/0009-0007-7845-5289
LATTES: http://lattes.cnpq.br/8291793328971867

RESUMO

A necessidade de novas fontes de energias renováveis é algo bastante estudado na atualidade. Em vários países a busca por novas fontes de matérias-primas para produção de biodiesel estão sendo avaliadas e utilizadas. Dentre estas fontes está a utilização de rejeitos de gorduras animal. Neste contexto, a utilização de resíduos de pescados está sendo avaliada e aplicada como uma fonte intensiva na produção de biodiesel. No entanto, o desenvolvimento de tecnologias que possam tornar viável e extração destas gorduras ainda é um fator determinante na utilização integral destes rejeitos. O presente estudo apresenta a uma revisão da produção de Tilápia do Nilo, cultivadas em cativeiro, bem como sua utilização na produção de e aplicação na cadeia produtiva do biodiesel. Este trabalho, em virtude de ser uma revisão da potencialidade da utilização de rejeitos, utilizou-se de uma avaliação sistemática da capitação de estudos, avaliações de mercados, órgãos governamentais, que possibilitou a obtenção da dados da produção e geração de resíduos. Para tanto, foram realizadas buscas em plataformas de periódicos e sites que envolvem a cadeia da produção de pescados. Assim, a verificação desta nova fonte de biomassa na geração de energia torna-se viável para o desenvolvimento de novas tecnologias que poderá agregar valor aos rejeitos e diminuir os impactos ambientais provocados pela piscicultura. O estudo aponta que existe uma oportunidade significativa no uso de resíduos de peixe para a produção de combustíveis renováveis, especificamente, aqueles que possuem alto teor lipídico, sendo possível a sua utilização para a produção de biodiesel.

Palavras-chave: Revisão bibliográfica. Tilápia. Resíduos. Potencial econômico.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Mota (2011), a crescente preocupação com aquecimento global tem incentivado grandes discussões sobre a necessidade de se encontrar novas fontes de energia renováveis. O século XX pode ser caracterizado como o século, mais, dependente de petróleo, uma vez que a demanda energética é cada vez maior desse produto (Mota *et al*., 2009). A sociedade atual acostumou-se aos derivados de combustíveis fósseis, tornando-se dependente desse produto não renovável. Os produtos derivados da matéria orgânica abrangem grande parte do percentual de todos os produtos processados existentes no mercado. Os derivados de petróleo têm sido largamente utilizados desde meados do século passado, substituindo a madeira, os metais e até mesmo o concreto, dando início ao que chamamos de petroquímica.

O aumento da população mundial está acarretando a crescente demanda por novas fontes de energia. O meio científico e tecnológico, juntamente com o meio industrial, tem buscado novas fontes tecnológicas para suprir as necessidades energéticas que cresce a cada dia. Neste contexto, o uso de energias alternativas renováveis tem se mostrado como uma opção para diversificar a matriz energética, atribuindo com isso maior sustentabilidade local e preservação das reservas (Parente, 2003).

Devido aos altos níveis de emissão de gases poluentes lançados pela combustão do óleo diesel na atmosfera, aumentando a temperatura média da superfície da Terra, e, principalmente ao efeito estufa, há grande interesse de buscar combustíveis que possam substituir parcial ou totalmente o óleo diesel (Filho *et al*., 2009).

Em uma visão estratégica de aumento de preções de petróleo, em conjunto com a instabilidade da política de ofertas e preços de produtores, aos riscos da produção de energia nuclear (Suzuki, 2011; Morton, 2012, Nakamura e Kikuchi, 2011), a energia renovável surgiu como uma alternativa menos impactante ao problema energético mundial.

A utilização de combustíveis de origem vegetal ou animal em motores do ciclo diesel é bastante atrativa. Nesse aspecto, o biodiesel apresenta algumas vantagens em relação aos combustíveis derivados da matéria orgânica (petróleo), como: ser livre de enxofre e de compostos aromáticos, ter alto número de cetano, ser oxigenado, ter maior ponto de fulgor, possuir caráter não tóxico e ser biodegradável. Mas, é o caráter renovável que o torna mais interessante como combustível, principalmente pela farta existência de matéria-prima (Ferrari *et. al.,* 2005; Knothe *et al*., 2006).

Portanto a pesquisa na área de reaproveitamento de biomassa vem contribuir com a busca de uma solução para as vertentes que abrange impactos ambientais, desenvolvimento social, matéria-prima para produção de biodiesel e estudo de sua viabilidade econômica. Desta forma, o estudo realizado irá buscar preencher mais uma lacuna no que se refere ao reaproveitamento de pescados e introdução de novas tecnologias.

Pelo que foi exposto, até o momento, o objetivo deste trabalho é buscar apresentar um estudo completo da extração do óleo de rejeitos de Tilápia do Nilo. Para isso, será necessário realizar o estudo de metodologias que possibilitem aumentar a capacidade produtiva de óleos extraídos destes rejeitos. Com isso, o trabalho possui como foco principal o agrupamento de dados que possam desenvolver um sistema piloto de extração de óleo de vísceras de Tilápia do Nilo. Após descrever a capacidade do sistema, escalas produtivas, gastos e metodologia de implantação, quantificar os gastos e lucratividade que venham a tornar, o projeto, economicamente e ecologicamente acessível a pequenos produtores de pescados em cativeiro.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho, em virtude de ser uma revisão da potencialidade da utilização de rejeitos, utilizou de uma avaliação sistemática da capitação de estudos, avaliações de mercados, órgãos governamentais, que possibilitassem a obtenção da dados da produção e geração de resíduos. Para tanto, foram realizadas buscas em plataformas de periódicos e sites que envolvem a cadeia da produção de pescados.

3 DESENVOLVIMETO

Estima-se que no ano de 2024 a população mundial já tenha ultrapassado as 8 bilhões de pessoas. A depender do perfil do indivíduo (idade, peso corporal, intensidade da atividade física, etc) o consumo diário de proteína pode variar de 0,8 a 1,3 g/kg/dia (Grace et al., 2021). Considerando um valor médio de consumo de proteína de 1 g/kg/dia e indivíduos com peso médio de 60 kg temos uma demanda diária mundial de $4{,}8 \times 10^8$ kg de proteína por dia (ou 480 mil toneladas de proteína por dia). Tendo como base, que uma carne magra possui cerca de 22% de proteína em sua composição, tem-se que a demanda de proteína é altíssima, e proteína entra na dieta de todo e qualquer indivíduo.

Nesse contexto de uma elevadíssima demanda proteica o consumo de alimentos aquáticos tem crescido nos últimos anos devido principalmente a necessidade de uma fonte de proteína animal saudável (Moura *et al*., 2016). Essa informação é corroborada pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) que afirma que entre os anos de 1970 e 2015 a produção de pescado aumentou em cerca de quatro vezes chegando a 168,8 milhões de toneladas (FAO, 2015). Um dos fatores responsáveis pelo aumento acentuado da produção de peixes no Brasil foi a criação do Ministério da Pesca e Aquicultura em 2009. Dessa forma a piscicultura corresponde a 81% da produção total de pescados devido, principalmente, o apoio de órgãos do governamentais e melhoria da tecnologia da cadeia produtiva (Mota *et al*., 2018)

Lopes *et al*. (2015) trazem que o aumento do consumo de proteína de origem pesqueira chegou a 15% de toda a proteína consumida no mundo. Esse dado é explicado pela conscientização que

proteínas de origem aquática são indispensáveis para uma dieta equilibrada e uma melhoria da infraestrutura hídrica para o cultivo de peixes. Acarretando um aumento anual na produção de 3,2% (que ultrapassa o crescimento populacional que é de 1,6%). Dessa forma a atividade pesqueira como fonte de proteína se mostra um recurso promissor.

Apesar do crescimento exponencial da produção de pescados a pesca não tem conseguido suprir a demanda internacional de alimentos nos últimos anos (David *et al.,* 2021). Essa atividade tende aumentar nos próximos anos, já que a elevada e crescente demanda é uma realidade, trazendo em pauta discussões acerca da sustentabilidade da atividade e os impactos ambientais que podem ser acarretados.

Mota (2018) alerta que com a crescente demanda de proteína de origem animal a produção extrativista e por controle em cativeiro, passaram a ser a forma de produção mais comumente utilizadas para garantir a necessidade de fontes alimentícias. Logo, a produção de peixe em cativeiro continua a crescer em todos os continentes em geral, sendo a principal forma de obtenção de pescados (Valaddão *et al*., 2018). Essa tendência é ratificada pelo aumento no consumo de peixe, tendo que a média anual no consumo, aumentou de 9,9 kg em 1960 para 19,2 kg em 2012 (FAO, 2014).

Esse fato acende o alerta dos impactos ambientais envolvidos com a prática da atividade e como a sustentabilidade é ameaçada a curto e longo prazo, já que recursos são destinados para o cultivo dos animais. A depender do tipo de pescado que se esteja cultivando, se não houver uma técnica adequada de manejo, pode haver contaminação dos corpos hídricos, eutrofização (devido ao lançamento em excesso de nutrientes), diminuição da biodiversidade, contaminação com as vísceras dos animais, etc.

Essa discussão é direcionada para o tipo do manejo do sistema de produção agrícola para o uso racional dos recursos e descarte adequado dos resíduos. Lopes *et al*. (2012) em seu trabalho afirma que é possível alcançar resultados satisfatórios como geração de fonte de renda, emprego, abastecimento e redução da pobreza através da aquicultura no semiárido nordestino. Ou seja, a forma no qual a atividade é executada tem que ser estudada mais a fundo buscando o equilíbrio econômico e ambiental.

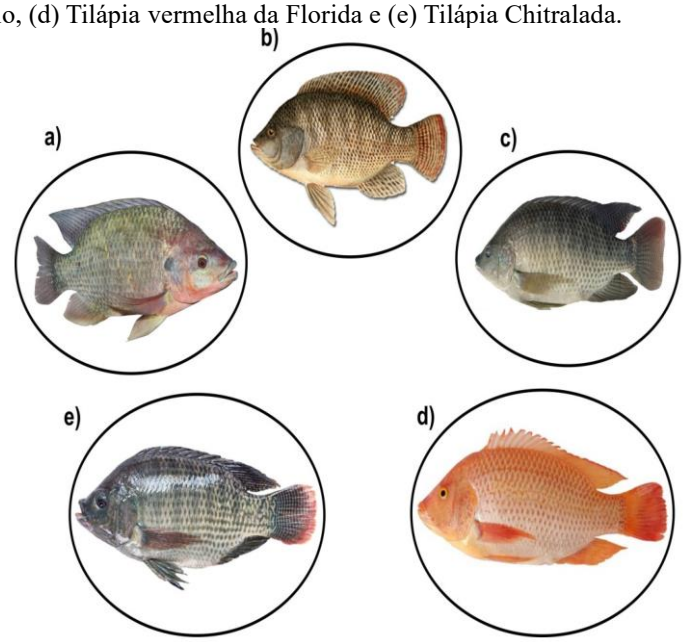
Felizmente, a comunidade científica vem somando esforços para implementar métodos que venham a mitigar os danos ambientais sem comprometer a produção de pescado. Nessa temática destaca-se os trabalhos de Alexander *et al*. (2016) que através do método IMTA (*Integrated Multi-trophic Aquaculture*) conseguiu maximizar os aspectos positivos e ao mesmo tempo reduzir os negativos e dessa forma promover uma aquicultura mais sustentável de produção de pescado.

Frente o que foi apresentado temos dois cenários distintos. A necessidade de uma alternativa economicamente viável que venha produzir proteína de origem animal em quantidades e qualidades compatíveis com o mercado e uma forma de manejo sustentável de forma a ser mínimo o impacto ambiental e social. Nesse contexto surge a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) como alternativa promissora. Myers *et al*. (1997) chegaram à conclusão que mudanças climáticas e alterações no ambiente aquáticos foram responsáveis pela queda vertiginosa na produção de pescados. Logo, a

escolha de uma cultura resistente a intempéries ambientais é de suma importância, e é nesse contexto que a tilápia do Nilo é apresentada.

Algumas fontes trazem que a tilápia foi introduzida no país com o objetivo de conter a proliferação de algas macrófitas aquáticas e outras para povoar açudes da região nordeste pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) em 1971 (Figueiredo Junior; Valente Júnior, 2008). Os principais tipos de tilápia introduzidas no Brasil foram a Tilápia Rendalli, Tilápia Zanzibar, Tilápia do Nilo, Tilápia vermelha da Florida e a Tilápia Chitralada (Mota 2018), descritas na Figura 01.

Figura 01– Principais tipos de tilápia introduzidas no país elaborado por Mota (2018) - (a) Tilápia Rendalli, (b) Tilápia Zanzibar, (c) Tilápia do Nilo, (d) Tilápia vermelha da Florida e (e) Tilápia Chitralada.



Barros-Castilho, et al. (2020) afirmam a viabilidade econômica da cultura da tilápia. Estes pesquisadores encontraram indicadores econômicos satisfatórios (Valor Presente Líquido (VPE) e Valor Presente Líquido Atualizado (VPLA)) para a cultura de tilápias para o cenário A (peixes pesando 700 g com valor de 1,34 $/kg) e para o cenário B (peixes pesando 1100 g com valor de 1,46 $/kg) para áreas de cultivo de 1, 2, 3, 4 e 5 hectares. Por outro lado, a cultura da tilápia também é indicada e fomentada pelos governos estaduais e federais que trazem como alternativa para melhoras os índices de pobreza e os níveis de segurança alimentar em regiões marcadas por baixos índices de desenvolvimento e condições ambientais adversas (Sampaio; Batista, 2004). Essas características promissoras (na esfera econômica e social) tornam a tilápia do Nilo o segundo peixe mais cultivado no mundo com destaque também para seu valor nutricional, resistência a doenças e ambientes adversos (FAO, 2020).

O Brasil produziu em 2017 cerca de 283,25 milhões de toneladas de tilápia estando entre os quatro maiores produtores internacionais (China, Indonésia e Egito) (PEIXEBR, cahú). Devido, principalmente, a 5,5 milhões de hectares de água doce (reservatórios) e um litoral de 8.500 km

(possuindo no total 12% da água doce do planeta) (IBGE, 2011), ou seja, uma enorme disponibilidade hídrica para o cultivo de peixes *in natura* e em cativeiro. De forma a atender os 3 principais nichos de mercado (peixe fresco, peixe salgado e filé de peixe salgado) e de maneira simultânea dar destino adequado aos rejeitos (principalmente vísceras) que se mostra um desafio (Barone *et al*., 2016). Formas adequadas de reaproveitamento e destino de resíduos (vísceras, carcaça, cabeça, peles, ossos, etc) do processamento dos peixes sempre devem ser levadas em consideração. Tendo em vista que a depender da espécie do peixe esses resíduos podem variar entre 50-70% em peso em relação ao peixe fresco (Bezerra et al., 2014)). Yahyaee et. al. (2013) afirmam que 2/3, em massa, de todo o peixe é descartado como resíduo. Resíduos esses que podem, através do processo adequado de valorização, tornar-se produtos com elevado valor agregado. Esse valor chegou a 250 milhões de toneladas por ano, valor esse que tende aumentar.

Hoje, as principais técnicas de reaproveitamento de resíduos de peixe são para a produção de farinha de pescado, óleo de pescado, silagem de pescado, biodiesel e aproveitamento em biodigestores (Mota, 2018). Com destaque para a produção de biocombustíveis devido ao alto teor lipídico contido nas vísceras dos peixes. Andersen e Weinback, *et al*. (2010) trazem a alternativa de aproveitamento de gordura animal de peixe como um insumo promissor para a produção de biodiesel, sugerindo que a produção de biocombustíveis a partir de resíduos de piscicultura é uma alternativa em potencial para alcançar uma produção suficiente até alcançar os 5,75% de mistura exigida pela união europeia no combustível oriundo do petróleo.

No que diz respeito a expansão de biocombustíveis a partir de implementação de políticas públicas de fomento à produção, desenvolvimento tecnológico e de mercado a nível nacional vale a pena enfatizar o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). Programa esse que busca incentivos para atrair a iniciativa privada para a produção sustentável de biodiesel, dessa forma criando um mercado em ascensão através da inclusão social e da integração regional e tecnológica (Sampaio; Bonacelli, 2018). Este programa criado em 2005 implementou o “Selo Combustível Social”, esse recurso traz incentivos fiscais para empresas que adquirem matérias primas e produtos de empresas que se adequam em determinado perfil. Dessa forma são fomentadas tecnologias renováveis visando a transição energética de energias convencionais, geralmente de fontes fósseis, para uma matriz renovável. A crise do petróleo da década de 70, onde o preço do barril do petróleo aumentou quatro vezes em um curto período de tempo, mostra a necessidade de investimentos em energias não renováveis de modo a não sofrer com a sazonalidade dos preços dos combustíveis fósseis no mercado.

Direcionando o estudo para a produção de biodiesel a partir de resíduos de peixes, aqueles que podem ser encontrados triglicerídeos em de óleos graxos em quantidades suficientes tais como carne, cabeça, barbatana, pele, vísceras e causa, Prasanna *et al*. (2023) esquematizou esse processo em: *i)* tratamento com solventes para transformar resíduos de peixe em óleo de resíduo de peixe, *ii)* metanol,

catalisador (ácido ou básico), temperatura e tempo para transformar o óleo do peixe em biodiesel através da reação de transesterificação e por fim *iii)* lavagem, filtração e secagem para adequar o biodiesel aos padrões de uso.

Os custos de extração e refino dos insumos para a produção de biodiesel correspondem a 70-80%. Devido a esses custos altíssimos Zhang *et al*. (2020) sugeriram fazer uma transesterificação *in situ* dos resíduos do processamento de peixes. Ou seja, existe a possibilidade de utilizar a biomassa em seu estado bruto, ou somente desidratada, para a produção de biodiesel, eliminando uma etapa onerosa do processo. Outro benefício apontado pelos autores é que a transesterificação *in situ* produz resíduos que podem ser aproveitados como ração animal, diminuindo ainda mais os custos de produção. Foi utilizado insumos de carpa capim para a realização da transesterificação *in situ*. Apesar de uma qualidade de insumo desafiador (alta concentração de ácidos graxos livres, impuras sólidas e pigmentos) foi alcançada uma qualidade de biodiesel satisfatória.

O biodiesel é um tipo de combustível que tem características que se aproximam do diesel do petróleo. A rota convencional de produção de biodiesel consiste em álcoolises consecutivas que transformam os triglicerídeos presentes na matéria prima (óleo vegetal ou gordura animal) em ácidos graxos e ésteres alquílicos (ou seja, biodiesel e glicerol) (Guldhe *et al*., 2015). Hoje, a principal rota de fabricação de biodiesel em escala industrial tem sida a catálise básica utilizando o Hidróxido de Sódio (NaOH), devido, principalmente, a maior taxa de conversão de triglicerídeos em ésteres metílicos e tempo de reação bem mais baixos (entre 4 e 10 horas de reação) (Singh; Kumar, 2018). Apesar de existir a necessidade do controle de reação para inibir a reação de saponificação e a contaminação com catalisador.

O grande apelo que torna o biodiesel tão importante (na esfera social, ecológica e econômica) é a possibilidade de ser produzido a partir de diversas e variadas fontes e poder ser misturado ao diesel (em qualquer proporção) ou ser utilizado puro. Tendo em vista que 70% do biodiesel é produzido a partir de óleo de soja, esse fato mostra o quão urgente é diversificar a produção para outros insumos (Coppola *et al*., 2021). Frente o que foi exposto anteriormente é discutido nas próximas seções o potencial de produção de pescado (com destaque para a tilápia do Nilo) e o aproveitamento das vísceras de peixe para a produção de combustível de aviação como alternativa sustentável para esse resíduo. Desta forma é feito um esforço para fechar a cadeia produtiva tanto para a produção de proteína a partir de peixes como destino adequado para os resíduos para a produção de combustíveis.

3.1 POTENCIAL DA PRODUÇÃO DE PESCADO

A produção nacional em 2022 chegou a 860.355 toneladas, um aumento de 2,3% em relação a 2021, esse aumento é devido principalmente ao aprimoramento da cadeia produtiva (apesar de custos elevados de insumos). A Figura 02 mostra-se essa tendência desde o ano de 2014 (desde quando esses

dados começaram a ser catalogados), onde a tilápia corresponde a quase 64% dessa fatia com alguns estados tendo destaque na produção (PeixeBR, 2023). Esses dados indicam a força que a atividade desempenha no país. Parte desse sucesso é explicado pela possibilidade de cultivo nos mais diversos ecossistemas, tais como a bacia amazônica e o semiárido nordestino, e reservatórios de água potável, no qual a exótica tilápia do Nilo tem se adaptado muito bem (Lopes, 2018). No Quadro 01 aponta-se a produção de tilápia no Brasil por estado no ano de 2022.

Figura 02 – Produção de peixe no Brasil entre os anos de 2014 a 2022 (PeixeBR, 2023)



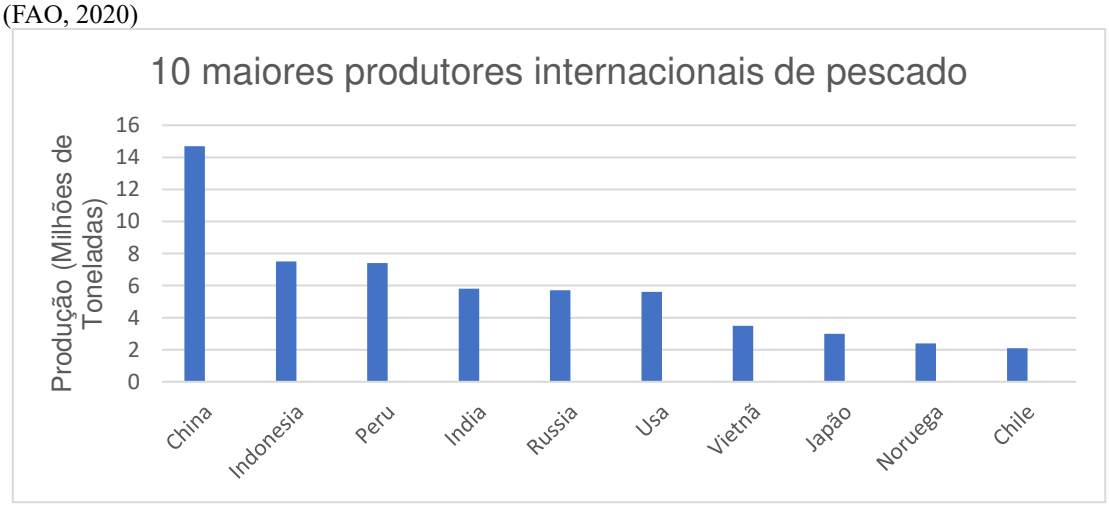
Quadro 01 – Produção de tilápia no Brasil por estado no ano de 2022

ESTADO	PRODUÇÃO TILÁPIA (TON)
Acre	60,0
Amazonas	0
Alagoas	9.850,00
Amapá	80,00
Bahia	29.670,00
Ceará	6.800,00
Distrito Federal	1.850,00
Espírito Santo	17.000,00
Goiás	21.500,00
Maranhão	5.200,00
Minas Gerais	51.700,00
Mato Grosso do Sul	32.200,00
Mato Grosso	4.100,00
Pará	800,00
Paraíba	3.100,00
Pernambuco	31.900,00
Paraná	187.800,00

Piauí	9.800,00
Roraima	0,0
Rondônia	0,0
Rio Grande do Norte	2.800,00
Rio de Janeiro	3.100,0-
Rio grande do Sul	9.000,00
Sergipe	1.200,00
São Paulo	77.300,00
Santa Catarina	42.500,00
Tocantins	750,00
TOTAL	**550.060,00**

Os dados catalogados por PeixeBR (2023) mostra que das 860.355 toneladas de peixe produzidas em 2022 quase 64% são de tilápia. Assinalando o que essa cultura tem grande força no cenário nacional (e corresponde grande parte das exportações) e o Estado do Paraná corresponde por quase 34% de todo o mercado. Apesar dos dados expostos que mostram que o Brasil teve um crescimento acentuado, o país está longe de ter destaque internacional, para a produção de peixe (não participando nem do top 10 maiores produtores). Ocupando a singela 13° colocação internacional no ranking de maiores produtores. Dados extraídos do relatório da FAO (*Food and Agriculture Organization on the United Nations*) de 2020 mostram os dados de produção (em milhões de toneladas) dos 10 maiores produtores para o ano de 2018 (Figura 03).

Figura 03 – Dados de produção (em milhões de toneladas de pescado) para os 10 maiores produtores mundiais para o ano de 2018 (FAO, 2020)



Apesar do aumento acentuado entre os anos de 2014 e 2022 e ter uma enorme disponibilidade de área disponível o Brasil está longe de entrar para o *ranking* dos países que mais produzem pescado no mundo. Frente a análise da Figura 03 Tabela 2 é coerente saber o que torna a China tão à frente de todos os outros países, os principais fatores são eles: extensão do litoral e recursos abundantes, investimento em aquicultura, tecnologia e inovação, alta demanda global e políticas governamentais favoráveis. Tendo em já sido apresentado um panorama da produção nacional e os países que estão no

top 10 como maiores produtores vale especificar quais são as culturas de peixe com maior representatividade a nível internacional. Esses dados são catalogados por FAO, 2020 para o ano de 2018, descrita pela Figura 04.

Figura 04 – Espécie de pescados mais cultivados a nível internacional (FAO, 2020)



A nível internacional (diferente do caso nacional, no qual a tilápia de longe é a espécie mais cultivada) o cultivo da carpa se destaca. Devido principalmente, o valor desse produto no mercado internacional, apesar de ser uma espécie relativamente exigente a qualidade da água utilizada (FAO, 2014).

3.2 POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

Como apontado no tópico anterior só a China produz um valor acima de 14 milhões de toneladas de pescado por ano e que em média 50% desse valor em massa gera resíduos (partes escuras, escamas, cabeça, ossos, vísceras, carcaças, etc). Ou seja, só a China produz 7 milhões de toneladas por ano de resíduos. Martins *et al*. (2011) revela o quão oneroso para os produtores é o processo de descarte e/ou beneficiamento dos resíduos, mostrando que a remoção de resíduos corresponde a 83% dos custos, movimentação interna representa 44% dos custos, armazenamento nas câmaras de refrigeração 64% e transporte e descarte (geralmente aterros públicos) correspondem a 44% em massa dos resíduos produzidos na atividade.

Esse valor assustador, potencialmente poluente, mostra a necessidade de fomentar tecnologias que promovam um destino adequado para os resíduos além da produção de insumos com valor agregado para a cadeia produtiva. Ou seja, é buscado agregar valor aos resíduos do pescado além de reduzir os impactos sociais e ambientais produzidos pelos mesmos.

Um dos resíduos que são produzidos em abundância são os efluentes provenientes da prática pesqueira, Bunting (2006) em seu trabalho foca na necessidade de um reaproveitamento racional das águas residuais provenientes da aquicultura envolvendo decisores políticos nas esferas da saúde, agricultura, planejamento urbano e meio ambiente. Trabalho este essencial para salvaguardar os meios de subsistência e mitigar os riscos à saúde e conservação do meio ambiente.

Os danos ambientais provenientes da atividade começam na etapa da implantação, devido, principalmente, a preparação do solo para receber os cativeiros de criação, degradação da fauna e da flora. O que trouxe um alerta ao poder público da necessidade do estabelecimento de diretrizes para uma prática sustentável da atividade. Nesse trabalho é destacada a Política Geral da União Europeia (Comissão Europeia, 2013), tendo como objetivo básico diretrizes para o futuro social e econômico da pesca europeia. Trazendo a necessidade de fazer o melhor uso possível dos recursos de biomassa obtidos na atividade pesqueira. Para atingir esse objetivo, processos de valorização de subprodutos de pescado foi apresentado como chave para atender essa política exigida pela união europeia. Para este fim a comunidade científica internacional vem desenvolvendo tecnologias para o reaproveitamento de resíduos para a produção de uma diversidade de produtos tais como quitina, quitosana, colágeno, gelatina, ácidos graxos, taurina, proteína, anticongelantes, enzimas, farinha de óleo de peixe, biocombustíveis, etc) (Lopes et al., 2015).

Frente a variedade de produtos provenientes do beneficiamento dos resíduos de peixe damos destaque a produção de biodiesel a partir de óleo de pescado. O óleo oriundo de pescado é composto por uma variedade de ácido graxos (saturados, mono e poli-insaturados) (Maia Junior; Sales, 2013), tornando esse insumo como um excelente candidato para servir como reagente para a produção de biodiesel a partir da reação de transesterificação, devido, principalmente, ao seu elevado conteúdo lipídico (Andersen e Weinback, *et al*., (2010)).

Jaiswal *et al*. 2024 apresentam a indústria pesqueira e de processamento para a produção de biodiesel como uma nova oportunidade para impulsionar a economia local e reduzir os efeitos nocivos dos combustíveis fósseis (reduzindo, principalmente, a emissão de dióxido de carbono e compostos nitrogenados). De forma a aumentar a geração de empregos e renda nas comunidades pesqueiras e utilizar o biodiesel localmente para locomoção de embarcações e na indústria de processamento de pescados.

Existe uma oportunidade significativa no uso de resíduos de peixe para a produção de combustíveis renováveis. Mais especificamente, aqueles que possuem alto teor lipídico, sendo possível a sua utilização para a produção de biodiesel. Combustível esse que pode ser utilizado diretamente por produtores locais ou vendidos misturados, em qualquer proporção, ao diesel do petróleo. Levando a concluir que existe uma oportunidade de implantação de uma importante indústria agrícola (Papargyriou *et al*., 2019). Estes autores produziram biodiesel a partir do óleo de fígado de bacalhau

utilizando a rota básica e catalisador de 6Ca/Al, e conseguiram alcançar resultados de acordo com a legislação vigente da União Europeia, para uso em países com climas frios.

Outro apelo para a utilização de óleos de origem animal em contrapartida de óleos de origem vegetal é que os de origem animal possuem um comprimento de cadeia de carbono maior. Ou seja, o biodiesel proveniente dessa matéria-prima pode causar uma melhoria no desempenho de motor a diesel e uma redução na emissão de poluentes (Yahyaee *et al*., 2012).

Uma das etapas chaves para a produção de biodiesel a partir de vísceras de peixe é o processo de extração do óleo que passa pela reação de transesterificação para a produção de biodiesel e glicerol. O principal desafio dessa etapa é manter a característica do óleo evitando a decomposição e com isso a degradação da qualidade da matéria prima. Onde os métodos de extração de óleo são divididos em físicos, químicos e biológicos (Jaiswal, 2024). Mota (2018) em seu trabalho esquematizou a principal via de produção de óleo a partir das vísceras de peixe a saber, em sequência, temos cocção da matéria prima, seguido pelas etapas de peneiramento no qual obtemos o óleo bruto. Feita a degomagem do óleo bruto temos a etapa de neutralização (correção de pH) seguida por uma etapa de lavagem. Posteriormente é feita uma desumidicação seguido por uma etapa de filtração até a obtenção do óleo filtrado.

Yahyaee *et al*. (2012) apresentam o biodiesel produzido a partir do óleo proveniente do processamento de pescado como uma fonte de energia renovável preciosa. Estes pesquisadores afirmam que 50%, em massa, de todo o peixe processado é resíduo e que desse valor entre 40-65% é bio-óleo. Tendo em vista que cada litro de óleo de peixe produz 0,9 L de biodiesel temos que o potencial da tecnologia é enorme. Estes autores conseguiram produzir biodiesel com boas características para uso em máquinas de combustão interna e ressaltaram a diminuição na emissão de poluentes.

Aqui é dado destaque para o trabalho de Garcia-Moreno *et al*. (2014) que estudou o processo de otimização da produção de biodiesel a partir de óleo de peixe. Otimizando parâmetros operacionais importantes no processo de transesterificação a saber a temperatura, fração molar de metanol e tempo de reação. Dessa forma, obtendo biodiesel com características excelentes para uso.

A literatura enfatiza o potencial do uso de resíduos de peixe como uma fonte renovável para a produção de biodiesel, prometendo ser um combustível eficiente e um excelente substituto para o diesel do petróleo (Qureshi *et al*., 2019). Jaiswal *et al*., (2024) enfatizam que os resíduos produzidos pela indústria do pescado têm potencial para a produção de uma gama de produtos tais como alimentação animal, produção de nutrientes, cosméticos, biomateriais, fertilizantes, biogás e biodiesel. Entretanto, esses autores enfatizam devido à enorme quantidade de ácido graxos livres indica um potencial para a produção de biodiesel auxiliando na gestão de resíduos. Sendo uma das melhores formas de transformar resíduos em produtos valiosos. Por outro lado, a viabilidade do processo

depende de muitos fatores, sendo os principais dele a eficiência da extração do óleo de peixe, rendimento da produção do biodiesel e qualidade do óleo produzido.

Os combustíveis fósseis forneceram mais de 80% da energia total entre os anos de 2013 a 2035 e são os principais componentes para a geração de energia em indústrias extremamente poluentes, entre elas, as indústrias automobilística, transporte, química e outros materiais (Varaprasad *et al*., 2022). Heidari-Maleni *et al*. (2024) apresentam o biodiesel como uma alternativa para a diminuição do consumo de combustíveis fósseis e dessa forma a diminuição de emissão de óxidos de nitrogênio, amônia e outros poluentes, que contribuem para a poluição atmosférica e outras questões ambientais (efeito estufa, chuva ácida, etc). Esses autores foram além, através de uma Análise do Ciclo de Vida (ACV) de forma a avaliar a sustentabilidade ambiental de produtos e processos avaliados no processo de produção de biodiesel a partir de óleo de peixe. Revelando vários aspectos importantes e vantajosos para a produção de biodiesel a partir do óleo do peixe (em contrapartida ao diesel do petróleo), tais como acidificação, potencial de emissão de gases de efeito estufa, oxidação fotoquímica, eutrofização dos corpos hídricos, esgotamento abiótico dos combustíveis fósseis e depreciação de elementos abióticos.

O aumento das emissões de poluentes atmosféricos (principalmente dióxido de carbono, HC_x e NO_x) e o esgotamento, ou dificuldade de exploração de combustíveis fósseis, vem causando uma série de preocupações ao nível internacional. Logo, a utilização de biocombustíveis em busca de uma sustentabilidade climática é um ponto importante a ser abordado. Outro apelo para a utilização de biodiesel frente ao diesel do petróleo é que o dióxido de carbono (CO_2) liberado pela queima do biodiesel é constantemente reciclado pelas plantas. Ou seja, uma forma eficiente de evitar a liberação de CO_2 liberada pela combustão de combustíveis em motores de combustão interna é o uso de biocombustíveis renováveis com o biodiesel (Bergthorson; Thomson, 2015). Katrirvelu *et al*. (2017) afirma que a eficiência de motores com biodiesel é ligeiramente inferior ao diesel do petróleo. Entretanto, as emissões de HC, CO e fuligem são menores que a do diesel do petróleo e que o biodiesel é um combustível elegível para diversos planos de incentivo do governo que pode levar uma economia acentuada quando misturado ao diesel do petróleo.

Um dos maiores desafios na produção de biodiesel a partir de óleo extraído das vísceras de peixe é a elevada acidez. Kara *et al*. (2018) afirmam que uma concentração de ácidos graxos livres superior a 0,5% causa uma série de contratempos, sendo eles, formação de sabão (reação de saponificação), inibe a separação entre biodiesel e glicerol e diminui o rendimento dos produtos finais. Para contornar esse problema os autores indicam uma etapa de pré-tratamento de esterificação ácida seguida de uma transesterificação básica, dessa forma produzindo biocombustíveis que atendam os padrões exigidos pelos principais órgãos reguladores.

Para termos uma ideia do potencial dessa tecnologia para a produção de biodiesel (que pode ser utilizado puro ou misturado ao diesel do petróleo em qualquer proporção) faremos a estimativa com as seguintes informações;

- Produção anual nacional de peixe é de 860.355 toneladas sendo que a tilápia do Nilo corresponde a 64% desse total (PeixeBR, 2023);
- 7,97% em massa é constituído por vísceras na espécie Tilápia do Nilo (Anbel, 2011);
- O rendimento médio do processo de extração de óleo a partir das vísceras de peixe é de 50,3 ± 3,3% e o rendimento para a produção de biodiesel pela rota etílica e metílica são respectivamente 89,5 ± 0,32% e 96,9 ± 0,17 % (Dias, 2009);
- Densidade do biodiesel (900 kg/m^3);
- Demanda anual nacional de diesel de 66 bilhões de litros para o ano de 2023 (fonte: https://forbes.com.br/forbesagro/2024/03/brasil-importa-menos-diesel-com-mais-biodiesel-e-maior-producao-local-diz-stonex/#:~:text=Em%20contrapartida%2C%20a%20StoneX%20estima,a%20máxima%20do%20ano%20passado.)
- A partir do estudo do ciclo de vida do diesel tem-se que existe uma diminuição das emissões líquidas de CO_2 em 78,45% com o uso do biodiesel. Ou seja, são deixados de emitir para atmosfera 0,578 toneladas de CO_2 por m^3 de biodiesel usado (Coronado, *et al*., 2008)

A partir desses dados, tem-se que a capacidade produtiva de biodiesel proveniente somente de vísceras de tilápia do Nilo está por volta de 276965481,6 L ou 276,96 milhões de litros. Ou seja, a produção de biodiesel a partir de víscera corresponde a 0,4% da produção total do diesel do petróleo. Correspondendo a uma não emissão de 144077.4 toneladas de CO_2 para a atmosfera. Além do biodiesel proveniente de vísceras de peixe se destacar por ter ótimas características lubrificantes e baixíssimos níveis de emissão de NO_x (Christensen e Bimbo (1996) e Wang *et al*. (2008)). Além de já ter sido comprovado através de ensaios de qualidade em termos de combustão no biodiesel etílico obtido a partir do óleo do peixe que este é um eficiente substituto do diesel do petróleo em qualquer proporção (Sakthivel *et al*., (2014))

Esses dados mostram o potencial que a produção de biodiesel tem para a cadeia produtiva, sendo uma alternativa, para que de forma gradual, ser um aditivo ao diesel do petróleo, se tornando cada vez menos refém de fontes de óleo vegetal. Essa alternativa vem em resposta aos altos custos de descarte dos resíduos do beneficiamento dos peixes (que na maioria de vezes é feito sem nenhum controle sanitário) e a necessidade de fontes mais diversificadas possíveis (óleo vegetal e gordura animal) para a produção de biodiesel (Mota, 2011). Dessa forma evitando problemas com elevados preços de insumos que tem sazonalidade acentuada. Logo, uma fonte de renda é gerada a partir de um

passivo ambiental. Essa alternativa tem sua viabilidade corroborada por MOTA (2018) que atestou a viabilidade econômica da unidade de extração de óleo de peixe seguida da unidade de produção de biodiesel.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho, em seu desenvolvimento prioritário, propõe-se realizar o levantamento da produção de pescados, em especial a tilápia, e a partir dos levantamentos, quantificar, qualificar, o potencial destes resíduos para produção de biocombustíveis, para o estudo do biodiesel. Observou-se que, existe o potencial de produção, conversão dos resíduos na indústria aquícola é extremamente elevado. Contudo, existe a necessidade de vários fatores que possibilitem a exploração deste potencial. Dentre eles, a água é o fator primordial para a confirmação da eficiência produtiva. Desta forma, com o vasto potencial de recursos hídrico no país, o Brasil com uma produção de 860.355 toneladas em 2022, se desta como uma das nações de maior capacidade para produzir em escala mundial. Portanto, a partir desta produção, a geração de resíduos, irá propiciar a geração de novos produtos, para o caso em estudo o biodiesel, que poderá viabilizar uma nova cadeia produtiva.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao conselho nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq), o qual os recursos para este projeto foram obtidos na chamada combustíveis para o futuro.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, K. A.; ANGEL, D.; FREEMAN, S.; ISRAEL, D.; JOHANSEN, J.; KLETOU, D.; MELAND, M.; PECORINO, D.; REBOURS, C.; ROUSOU, M.; SHORTEN, M.; POTTS, T.; Improving sustainability of aquaculture in Europe: Stakeholder dialogues on Integrated Multi-trophic Aquaculture (IMTA). Environmental Science & Policy, 55: 96-106, 2016.

ANBEL, L. Prospecção de componentes bioativos em resíduos de pescado visando à sustentabilidade da cadeia produtiva. Piracicaba, 2011. 137f. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) – Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

ANDERSEN, O.; WEINBACK, J.; Residual animal fat and fish for biodiesel production. Potentials in Norway. biomass and bioenergy v.34 1183 – 1188, 2010

BARROS-CASTILHO, L.; OWATARI, M, S.; MOURINO, J, L, P.; SILVA, B, C.; SEIFFERT, W, Q.; Economic feasibility of tilapia culture in southern Brazil: A small-scale farm model. Aquaculture, v. 515, 734552, 2020.

BARONE, R, S, C.; LORENZ, E, K.; SONODA, D, Y.; CYRINO, J, E, P.; Fish and fishery products trade in Brazil, 2005 to 2015: A review of available data and trends. Scientia Agricola, vol 74 (5), p 417-424, 2016.

BERGTHORSON J.M; THOMSON M.J. A review of the combustion and emissions properties of advanced transportation biofuels and their impact on existing and future engines. Renew Sustain Energy Rev, 42:1393e417. 2015.

CASTILHO-BARROS, L.; OWATARI, M, S.; MOURINO, J, L, P.; SILVA, B, C.; SEIFFERT, W, Q.; Economic feasibility of tilapia culture in southern Brazil: A small-scale farm model. Aquaculture, 515: 734551, 2020.

BEZERRA, R. S., LINS, E. J. F., ALENCAR, R. B., PAIVA, P. M. G., CHAVES, M. E. C., COELHO, L. C. B. B., & CARVALHO, L. B. Alkaline proteinase from intestine of Nile tilapia (Oreochromis niloticus). Process Biochemistry, 40(5), 1829–1834, (2005).

BUTING, S.; Confronting the realities of wastewater aquaculture in peri-urban Kolkata with bioeconomic modelling. Water Research, v. 41, v. 499-505, 2006.

COPPOLA, D.; LAURITANO, C.; ESPOSITO, F.P.; RICCIO, G.; RIZZO, C.; DE PASCALE, D. Fishwaste: From problem to valuable resource. Mar. Drugs 2021, 19, 116. [CrossRef].

CORONADO, C, R.; CARVALHO, J, A, JR., SILVEIRA, J, L., Biodiesel CO2 emissions: A comparison with the main fuels in the Brazilian Market. Fuel processing technology 90., 204-211, 2008.

CRISTENSEN, T. E.; BIMBO, A. P. Fish oil for use as hydraulic oil. Bioresouce Technology, v.1, p.49-54, 1996.

DAVID, L. H.; PINHO, S. M.; AGOSTINHO, F.; KIMPARA, J. M.; KEESMAN, K. J., AND GARCIA, F. (2021). Emergy synthesis for aquaculture: A review on its constraints and potentials. Reviews in Aquaculture, 13(2): 1119-1138.

DIAS, F. P. Aproveitamento de vísceras de tilápia do Nilo para produção de Biodiesel. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil- Ambiental) - Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2009.

EUROPEAN COMMISSION. Regulation (EU) No 1380/2013 of the European Parliament and the Council of 11 December 2013 on the Common Fisheries Policy, amending Council Regulations (EC) No 1954/2003 and (EC) No 1224/2009 and repealing Council Regulations (EC) No 2371/2002 and (EC) No 639/2004 and Council Decision 2004/585/EC.

FAO - Food and Agriculture Organization. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Rome: FAO. 2014.

FAO. Food and Agriculture Organization. Food Outlook: Biannual Report on Global Food Markets. Rome: FAO. 2015.

FAO - Food and Agriculture Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action. Rome: FAO, 2020.

FIGUEIREDO JÚNIOR, C. A.; VALENTE JÚNIOR, A. S. Cultivo de tilápias no Brasil: origens e cenário atual. BNB, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2008.

GULDHE A.; SINGH B.; MUTANDA T.; PERMAUL K.; BUX, Y F. Advances in synthesis of biodiesel via enzyme catalysis: novel and sustainable approaches, Renew. Sustain. Energy Rev. 41 (2015) .

GARCIA-MORENO, P, J.; KHANUM, M.; GUADIX, A.; GUADIX, E, M.; Optimization of biodiesel production from waste fish oil. Renewable Energy, v. 68, 618-624, 2014.

GRACE, H.; KAROL, P.; ZHUOYING, L.; APOVIAN, C, M.; TRAVISON, T.; STORER, T.; GAGLIAN-JUCA, T.; SHEHZAD, B.; SHALENDER, B.; NEWMAN, A, B.; Effect of Protein Intake on Visceral Abdominal Fat and Metabolic Biomarkers in Older Men With Functional Limitations: Results From a Randomized Clinical Trial; The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences, vol.76 (6), p.1084-1089, 2021.

HEIDARI-MALENI, A.; GUNDOSHMIAN, T, M.; PAKRAVAN-CHABADEH, M, R.; FLORA, C.; Life cycle assessment of biodiesel production from fish waste oil, Environmental Challenges, v. 14, 100850, 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Geographic Atlas of Coastal and Ocean Areas of Brazil = Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil. IBGE, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. Available at: http://biblioteca.ibge.gov. br/visualizacao/livros/liv55263.pdf [Accessed Oct 14, 2015] (in Portuguese).

JAISWAL, K, K.; DUTTA, S.; BANERJEE, I.; JAISWAL., RENUKA., RATHA., S, K., JAISWAL., A, K., Valorization of fish processing industry waste for biodiesel production: Opportunities, challenges, and technological perspectives, Renewable Energy, 220, 2024.

KARA, K.; OUANJI, F.; LOFTI, E. M.; MAHI, E. M.; KACIMI, M,. ZIYAD. Biodiesel production from waste fish oil with high free fatty acid contente from Moroccan fish-processing industries, Egyptian Journal of Petroleum, 27 249–255, 2018.

KATHIRVELU, B.; SUBRAMANIAN, S.; GOVINDAN, N.; SANTHANAM, S. Emission characteristics of biodiesel obtained from jatropha seeds and fish wastes in a diesel engine. Sustainable Environment Research, 27, 283e290, 2017.

LOPES, C., ANTELO, L, T., AMAYA, F, U., ALONSO, A, A., PEREZ-MARTÍN, R. Valorisation of fish by-products against waste management treatments - Comparison of environmental impacts. Waste Management, 46, 103-112, 2015.

LOPES, P, F, M.; CARVALHO, A, R.; VILLASANTE, S.; HENRY-SILVA, G, G.; Fisheries or aquaculture? Unravelling key determinants of livelihoods in the Brazilian semi-arid region. Aquaculture Research. v. 18, 232 – 242, 2018.

QURESHI M.W.G.; KHAN Z.M.; M., HUSSAIN F.; AHMED, SHOAIB M.; QASIM M. Experimental evaluation of a diesel engine for combustion, performance and exhaust emissions with fuel blends derived from a mixture of fish waste oil and waste cooking oil biodiesel, Pol. J. Environ. Stud. (2019) (nd).

MAIA JUNIOR, W. M.; SALES. R. O. Propriedades funcionais da obtenção da silagem ácida e biológica de resíduos de pescados. uma revisão. Revista Brasileira de Higiene e Saúde Animal, v.07, n.2, p. 126-156, 2013.

MARTINS, W. S. Inquérito exploratório referente à geração, armazenamento, transporte e descarte de resíduos da indústria de pesca no Brasil. 2011, 101f. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) – Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MOTA, F. A. S. Obtenção de poliglicerois a partir de glicerina purificada (P.A). 2011. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, MotFortaleza, 2011.

MOTA, F.A.S. REJEITOS DE PESCADOS: Análise laboratorial, engenharia de Processos, automação e validação do potencial sócio- econômico. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Teleinformática) – Departamento de Engenharia de Teleinformática, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MOURA, R. S. T, VALENTI, W.C., HENRY-SILVA, G.G; Sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a reservoir in a semi-arid region. Ecological Indicators 66: 574–582, 2016.

MYERS, R., HUTCHINGS, J., BARROWMAN, N.,. Why do fish stocks collapse? The example of cod in Atlantic. Ecol. Appl. 7 (1), 91–106. 1997.

PAPARGYRIOU, D.; BROUMIDIS, E.; VERE-TUCKER, M.; GAVRIELIDES, S.; HILDITCH, P.; IRVINE, J, T, S.; BONACCORSO, A, D. Investigation of solid base catalysts for biodiesel production from fish oil, Renewable Energy, 139, 661-339, 2019.

PEIXE BR (Associação Brasileira da Piscicultura). Anuário Peixe BR da Piscicultura. São Paulo: ABP, 2023. pp. 12.

PRASANA, V, A., CHANDRASEKHAR, T., RIAZUNNISA, KUMAR, P, R., TEJA, S, V, R., RAJESWARI, D, R, REDDY, M, C, WEE, Y, LEBAKA, V, R., Fish Waste: A Potential Source of Biodiesel, fermentation, 9, 861-879, 2023.

SAMPAIO, R.M.; BONACELLI, M.B.M. Biodiesel in Brazil: agricultural R&D at petrobras biocombustível, J. Technol. Manag. Innovat. 13 (1)) 66–74. 2018.

SAKTHIVEL, G.; GAIKWARD, A. B.; NAGARAJAM , G. Comparative analysis of performance, emission and combustion parameters of diesel engine fulled with etyl esters of fish oil and its diesel blends. Fuel, n. 132, p.116-124, 2014.

SAMPAIO, Y., BATISTA, J. E. M. Desenvolvimento regional e pressões antróopicas no bioma Caatinga. In J. M. C. Silva, M. Tabarelli, M.T. Fonseca, & L. V. Lins (Eds.), Biodiversidade da Caatinga: Areas e Acões Prioritárias para a Conservação (pp. 311–324). Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2004.

SILVA, J. F. X., RIBEIRO, K., SILVA, J. F., CAHÚ, T. B., & BEZERRA, R. S. (2014). Utilization of tilapia processing waste for the production of fish protein hydrolysate. Animal Feed Science and Technology, 196, 96–106.

SINGH A.; KUMAR, G. Advancement in catalysts for transesterification in the production of biodiesel: a review, J. Biochem. Technol. 9 (1) (2018) 17.

VALADDÃO, G, M, R.; GALLANI, S, Y.; PILARSKI, F.; South American fish for continental aquaculture. Reviews in Aquaculture. v. 10, 351-369, 2018.

VARAPRASAD, D.; RAGHAVENDRA, P.; RAGASUDHA, N.; SARMA, L. S.; PARVEEN, S.N.; SRICHANDANA, P.; CHANDRA, M.S.; CHANDRASEKHAR, T. Augmentation of ethanol production in greenalga Chlorococcum minutum through graphene oxide-supported platinum-ruthenium (Pt-Ru/RGO) nanoparticles. BioEnergy Res, v.15, p.1–9. 2022.

WANG, J.; PRETO, F.; ZHONG, F. A study on using fish oil as na alternative fuel for conventional combustors. Fuel, v.87, p.2258-2268, 2008.

Yahyaee, B.; Ghobadian, G.; Najafi, G. Waste fishoil biodiesel as a source of renewable fuel in Iran. Renew. Sustain. Energy Rev. 2013, 17, 312–319.

YAHYAEE, R.; GHOBADIAN, B.; NAJAFI, G. Waste fish oil biodiesel as a source of renewable fuel in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 17, 312-319, 2012.

ZHIWEN, Z.; ZHANG, B.; CAI, Q.; LING, J.; LEE, K.; CHEN, B.; Fish Waste Based Lipopeptide Production and the Potential Application as a Bio-Dispersant forOil Spill Control. Frontiers in Biongineering and Biotechnology, 10.3389/fbioe.2020.00734.