

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Sistemas
Agroindustriais



Dissertação

**Produção de Bio-Óleo por Processos Biotecnológicos como Alternativa de
Desenvolvimento Socioambiental da Colônia de Pescadores Z-3**

FERNANDA DIAS DE ÁVILA

Pelotas, 2022

FERNANDA DIAS DE ÁVILA

**Produção de Bio-Óleo por Processos Biotecnológicos como Alternativa de
Desenvolvimento Socioambiental da Colônia de Pescadores Z-3**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Robson Andrezza

Coorientador: Prof. Dr. Benedict Okeke

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

A958p Ávila, Fernanda Dias de

Produção de bio-óleo por processos biotecnológicos como alternativa de desenvolvimento socioambiental da Colônia de Pescadores Z-3 / Fernanda Dias de Ávila ; Robson Andreazza, orientador ; Benedict Okeke, coorientador. — Pelotas, 2022.

87 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento territorial e sistemas agroindustriais, Centro de Ciências Socio-Organizacionais, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Biodiesel. 2. Pesca artesanal. 3. Resíduo de pescado. 4. Rhodotorula R1. 5. Economia circular. I. Andreazza, Robson, orient. II. Okeke, Benedict, coorient. III. Título.

CDD : 639.2

Elaborada por Maria Inez Figueiredo Figas Machado CRB: 10/1612

FERNANDA DIAS DE ÁVILA

Produção de Bio-Óleo por Processos Biotecnológicos como Alternativa de Desenvolvimento Socioambiental da Colônia de Pescadores Z-3

Dissertação aprovada. Como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 30 de setembro de 2022.

Banca examinadora:

.....

Prof. Dr. Robson Andreatza (Orientador)

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....

Gabrielito Rauter Menezes

Doutor em Economia Aplicada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....

Willian César Nadaleti

Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

A minha mãe e ao meu pai (em memória) pela vida, por sempre me incentivarem e por sempre fazerem o seu melhor. Eu não teria chego até aqui sem o apoio e o amor de vocês.

Ao meu orientador, Prof. Robson, gostaria de agradecer a oportunidade de fazer parte dos projetos relacionados à comunidade Z-3, pelas trocas realizadas ao longo desses anos e pelo apoio nos momentos difíceis.

Ao meu coorientador, Prof. Ben, pelos ensinamentos e momentos compartilhados na sua estada pelo Brasil.

Aos professores do PPGDTSA agradeço pelos ensinamentos e provocações em sala de aula, vocês me fizeram pensar “fora da caixa”.

A Josiane e a Marcela pela parceria de trabalho ao longo do projeto, pelas ajudas e pelos conselhos.

As pessoas especiais que construíram comigo a trajetória de projetos na comunidade Z-3: Iliane, Beatriz, Jonas, Weslei, Eliane e Caroline. Vocês me fizeram chegar até aqui, sozinha eu nada poderia.

Aos moradores da comunidade Z-3 por sempre abrirem as portas de suas casas para mim, em especial: Miriam, Verinha, Alessandra, Adriana, Sandy e Nath.

Por fim, agradeço a essa universidade que me ensina tanto e que me transformou (e segue transformando) inúmeras vezes. Obrigada, UFPel.

RESUMO

ÁVILA, Fernanda Dias de. **Produção de Bio-Óleo por Processos Biotecnológicos como Alternativa de Desenvolvimento Socioambiental da Colônia de Pescadores Z-3**. 2022. 87f. Dissertação (Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais. Universidade Federal de Pelotas.

As comunidades de pesca artesanal estão passando pelo processo de envelhecimento e de êxodo rural. Essa problemática é também desencadeada pela má remuneração da atividade, além da competição com a pesca industrial e a diminuição de pescado nos estuários. Por tanto, o ano de 2022 foi declarado pela Assembleia Geral das Nações Unidas como o Ano Internacional da Pesca Artesanal e da Aquicultura, visando repensar as estruturas e interações socioambientais dessas atividades para manutenção das mesmas. Neste sentido, o presente trabalho visa avaliar a produção de bio-óleo a partir de resíduos da pesca através de processos biotecnológicos como alternativa de melhora das características socioambientais da Colônia de Pescadores Z-3. Buscou-se repensar o modelo de produção adotado na pesca artesanal propondo a destinação correta de resíduos de peixe para a produção de biodiesel de 2ª e 3ª geração visando a gestão de fluxo fechado na cadeia produtiva da pesca. O biodiesel de 2ª geração utiliza-se de óleos não comestíveis para sua fabricação, e de 3ª geração é produzida a partir de óleos microbianos. Então, combinou-se a levedura *Rhodotorula R1* com o resíduo de pescado após extração física de óleo de peixe, pois este óleo já tem sua utilização conhecida na fabricação de biodiesel de 2ª geração, e o residual desta operação foi utilizado como meio de cultura para o microrganismo oleaginoso selecionado. A partir dos experimentos realizados foi possível verificar que o resíduo de pescado foi efetivo para produção de óleo de célula única da *Rhodotorula R1*, e o tratamento T1 foi o mais efetivo em termos de concentração de óleo. Neste tratamento (T1) o meio de cultura da levedura continha 5% de resíduo de pescado suplementado com glucose (20 g L⁻¹). O tratamento T5 tinha as mesmas condições que o Tratamento T1, porém foi suplementado também com peptona e extrato de levedura para verificar a adição de nitrogênio no meio, e após análises estatísticas foi possível verificar que não houve mudança significativa entre os dois tratamentos. Assim, o resíduo de pescado torna-se uma alternativa para ser utilizado como fonte de nitrogênio para esta levedura. A partir de análise cromatográfica, verificou-se que as características do óleo extraído são semelhantes a óleos microbianos relatados nas bibliografias e, a partir de análises de FTIR, verificou-se que a conversão deste óleo em biodiesel foi efetiva. Porém, a qualidade do biodiesel gerado ainda precisa ser avaliada. E para alcançar melhores índices no acúmulo de óleo de célula única, sugerem-se estudos visando uma maior relação C/N utilizando resíduos ricos em açúcares como fonte de carbono, visando a diminuição nos custos de produção.

Palavras-chave: biodiesel; resíduo de pescado; pesca artesanal; *Rhodotorula R1*; economia circular.

ABSTRACT

ÁVILA, Fernanda Dias de. **Bio-Oil Production by Biotechnological Processes as an Alternative for Socio-environmental Development of the Z-3 Fishermen's Colony.** 2022. 87f. Dissertation (Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais) - Post-Graduate Program of Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais. Federal University of Pelotas.

Artisanal fishing communities are undergoing the process of aging and rural exodus. This problem is also triggered by the poor remuneration of the activity, in addition to competition with industrial fishing and the decrease in fish in estuaries. Therefore, at 2022 it was declared by the United Nations General Assembly as the International Year of Artisanal Fisheries and Aquaculture, aiming to rethink the socio-environmental structures and interactions of these activities in order to maintain them. In this sense, the present work aims to evaluate the production of bio-oil from fishing residues through biotechnological processes as an alternative to improve the socio-environmental characteristics of the Z-3 Fishermen's Colony. We sought to rethink the production model adopted in artisanal fisheries by proposing the correct destination of fish waste for the production of 2nd and 3rd generation biodiesel, aiming at the management of closed flow in the fishing production chain. The 2nd generation of biodiesel uses non-edible oils for its manufacture, and the 3rd generation is produced from microbial oils. Then, *Rhodotorula R1* yeast was combined with fish residue after physical extraction of fish oil, as this oil is already known to be used in the manufacture of 2nd generation biodiesel, and the residue from this operation was used as a culture medium for the selected oleaginous microorganism. From the experiments carried out, it was possible to verify that the fish residue was effective for the production of single-cell oil from *Rhodotorula R1*, and the T1 treatment was the most effective in terms of oil concentration. In this treatment (T1) the yeast culture medium contained 5% fish residue supplemented with glucose (20 g L⁻¹). Treatment T5 had the same conditions as Treatment T1, but it was also supplemented with peptone and yeast extract to verify the addition of nitrogen in the medium, and after statistical analysis, it was possible to verify that there was no significant change between the two treatments. Therefore, it is concluded that the fish residue is suitable to be used as a source of nitrogen for this yeast. Chromatographic analysis exhibited characteristics of the extracted oil that are similar to microbial oils reported in the bibliographies, and from FTIR analysis, it was verified that the conversion of this oil into biodiesel was effective. However, the quality of the generated biodiesel still needs to be evaluated. And to achieve better indices in the accumulation of single-cell oil, studies are suggested aiming at a greater C/N ratio using residues rich in sugars as a carbon source, reducing production costs.

Keywords: biodiesel; fish residue; artisanal fishing; *Rhodotorula R1*; circular economy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Localização da Colônia de Pescadores Z-3 (31°69'90"S; 52°15'58"W)	32
ARTIGO 1		
FIGURE 1	Experimental framework for third generation of biodiesel production.	38
FIGURE 2	Oil extracted (g L ⁻¹) from each treatment.	41
FIGURE 3	Oil concentration produced by <i>Rhodotorula R1</i> from each treatment.	42
FIGURE 4	<i>Rhodotorula R1</i> dry biomass concentration from each treatment.	43
FIGURE 5	Fatty acid composition of single cell oil performed through chromatographic analysis.	44
FIGURE 6	FTIR analysis of single cell oil (SCO) and biodiesel formed from the same oil.	47
FIGURE 7	FTIR analysis of single cell oil biodiesel and fish oil biodiesel	48
ARTIGO 2		
FIGURE 1	Colônia de Pescadores Z-3 localizada na cidade de Pelotas no estado do Rio Grande do Sul/BR às margens da Lagoa dos Patos.	60
FIGURE 2	Imagem ilustrativa do modelo empregado na cadeia produtiva de pesca artesanal na comunidade de Pescadores Z-3.	61
FIGURE 3	Proposta de alteração do sistema produtivo da pesca artesanal para um sistema de fluxo fechado com aproveitamento de resíduos para produção de biodiesel de 2 ^a e 3 ^a geração.	70

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

TABELA 1	Experimental design to obtain single-cell oil using fish waste.	39
TABELA 2	Fatty acid composition of single cell oil extracted from <i>Rhodotorula R1</i> grown with fish waste	45
TABELA 3	Profile of Fatty Acids from different sources.	46

ARTIGO 2

TABELA 1	Potencial de produção de biodiesel na comunidade de pescadores da Colônia Z-3 a partir dos dados de resíduos coletados pela empresa responsável de janeiro de 2014 a março de 2015, com base na taxa média de óleo gerado a partir dos resíduos de pescado da mesma comunidade.	64
TABELA 2	Estimativa de lucro para biodiesel produzido com óleo de peixe a partir do preço médio para biodiesel no Brasil no mês de agosto de 2022 que foi de R\$ 5.832,67 por metros cúbicos (ANP, 2022), dos custos de produção pelo valor de 0,31 U\$ kg ⁻¹ (MORAES et al., 2021) e valor referência para conversão de 1 dólar por 5,15 reais.	65
TABELA 3	Estimativa de valores que estariam circulando na comunidade de pescadores Z-3 caso o resíduo fosse destinado para produção de biodiesel por empresa privada com pagamento por kg de resíduos.	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
SCO	<i>Single Cell Oil</i> (Óleo de célula única)
TAGs	Triacilgliceróis
WFO	<i>Waste Fish Oil</i> (Óleo de peixe residual)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
Propor a destinação correta e agregação de valor ao resíduo de pescado oriundos da pesca artesanal.	15
3 HIPÓTESES	16
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1 Desenvolvimento Territorial e Sustentabilidade	17
4.2 Contextualização Da Atividade Pesqueira	20
4.2.1 Aspectos Socioambientais	22
4.3 Biocombustíveis	26
4.3.1 Biodiesel a partir de óleo de célula única (SCO)	30
5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
6 ARTIGO 1	35
Bio-oil production from fish processing waste residues using oleaginous <i>Rhodotorula R1</i> after conventional oil extraction	36
1 Introduction	36
2 Materials and methods	37
2.1 Waste collection	38
2.2 Waste preparation	38
2.3 <i>Rhodotorula R1</i> yeast	39
2.4 Experimental design	39
2.5 Bio-oil extraction	39
2.6 Biodiesel production	40
2.7 Chromatographic analysis	40
2.8 Infrared spectroscopy	40
2.9 Statistical analysis	41

	12
3 Results and Discussions	41
3.1 <i>Rhodotorula R1</i> bio-oil	41
3.2 Biodiesel with Bio-Oil From <i>Rhodotorula R1</i>	46
4. Conclusions	48
7 ARTIGO 2	52
1 Introdução	54
2 Metodologia	56
3 Referencial bibliográfico	56
3.1 Economia Circular e a Cadeia Produtiva da Pesca Artesanal	56
3.1.1 Colônia de Pescadores Z-3 e a Pesca Artesanal	59
4 Resultados e Discussões	62
4.2 Produção de Biodiesel com Resíduo de Pescado	62
4.2.1 Biodiesel de Terceira Geração	68
4.3 Mudança de modelo na cadeia produtiva da pesca artesanal	70
4 Conclusão	72
Referencial bibliográfico	73
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

Com a industrialização construiu-se a histórica ideia de que progresso está associado diretamente aos espaços urbanos e que as zonas rurais são atrasadas e pobres tornando os espaços rurais por vezes esquecidos e vazios, por conta do êxodo rural. Para mudança desse estágio de estagnação que alguns espaços rurais se encontram, Favareto (2010) fala da importância de diversificar as produções locais, pois para Veiga (2002) o fato dos espaços rurais serem principalmente produtores de bens primários, não significa que somente isto deva e possa existir nesses ambientes.

Neste sentido, muitas das comunidades pesqueiras estão localizadas em espaços rurais e se mantém principalmente da pesca artesanal. Historicamente e culturalmente esta atividade tem uma característica extrativista, ou seja, se extrai o produto (peixe) e em muitos casos isso é feito sem que haja uma gestão das condições socioambientais do local. Uma vez que o principal meio de sobrevivência é na quantidade de pescado tirado do recurso natural. Dentre as medidas adotadas pensando na continuidade da atividade e manutenção das espécies e ambiente, temos hoje alternativas como: a parada da pesca em épocas de reprodução (chamado de período de defeso) e também aumento do tamanho da malha de pesca.

Faz-se, então, necessária a busca de alternativas para esses espaços que estejam de acordo com as necessidades das populações e que atendam a uma demanda de mercado. Para comunidades de pesca artesanal uma possibilidade é a transformação dos resíduos oriundos da pesca em outros produtos (OTTO, 2017). Isso seria interessante do ponto de vista ambiental, pois os resíduos podem ser poluentes se descartados de formas inadequadas, e também pode ser uma fonte de renda extra para os pescadores, contribuindo assim economicamente e, por consequência, possibilitando uma melhor qualidade de vida.

Dentre as possibilidades existentes para transformação deste resíduo, acredita-se que a produção de biodiesel (MEDEIROS *et al.*, 2019a; 2019b) é uma alternativa interessante, tendo em vista que há uma busca para substituição do uso de combustíveis fósseis no mundo todo. O biodiesel é um biocombustível renovável, biodegradável, sustentável e ecologicamente correto: livre de enxofre e conteúdo aromático (PATEL *et al.*, 2016), sendo uma alternativa interessante por suas

características biodegradáveis e renováveis limpas (CHRISTOPHE *et al.*, 2012). Porém, para que um combustível com outras fontes que não sejam fósseis consiga competir no mercado, ele precisa ser economicamente viável e ser produzido em larga escala (MENG *et al.*, 2009). Nesse sentido, a produção de biodiesel com óleos comestíveis, por exemplo, não seria totalmente viável. Pois a matéria prima custa em torno de 70% do valor para produção (XUE *et al.*, 2008; MA *et al.*, 2018), além de que o uso de terras férteis para produção da matéria prima para o biodiesel ao invés de alimentos gera controvérsia por conta das questões ligadas a fome mundial.

Com isso os biocombustíveis oriundos de resíduos são objetos de estudo e de necessidade para a humanidade, uma vez que os combustíveis fósseis aumentam a concentração de gases do efeito estufa no planeta e a utilização de um resíduo recicla os componentes já existentes na atmosfera. Além disso, a valoração de um resíduo que é um problema no processo atual da pesca artesanal pode aumentar o interesse dos pescadores em não depositar irregularmente no solo e na água como hoje é feito em alguns casos, melhorando as condições ambientais. E também contribuindo para a manutenção da atividade pesqueira, pois se este processo de reutilização for feito dentro da comunidade pescadora pode acabar gerando emprego e renda, tornando o sistema de pesca artesanal mais próximo de ser sustentável, criando um produto que pode até mesmo ser utilizado na própria atividade substituindo o diesel nas embarcações.

Neste sentido, esta pesquisa é a continuação de um projeto maior do grupo de pesquisadores da Universidade Federal de Pelotas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Auburn University at Montgomery que busca alternativas para contribuir com o desenvolvimento de energias renováveis. O presente estudo pretende avaliar a produção de bio-óleo da levedura *Rhodotorula R1* com resíduo de pescado para produção de biodiesel de terceira geração, visando uma alternativa para auxiliar no desenvolvimento socioambiental de uma colônia de Pescadores artesanais, Colônia Z-3 localizada na cidade de Pelotas/RS.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a produção de bio-óleo a partir de resíduos da pesca através de processos biotecnológicos como alternativa de melhora das características socioambientais da Colônia de Pescadores Z-3.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar diferentes concentrações de resíduo de pescado e glucose para a produção de bio-óleo pela *Rhodotorula R1*;

Verificar a possibilidade de produção do Biodiesel de 3ª geração como uma alternativa para diversificação da renda na Colônia de Pescadores Z-3;

Propor a destinação correta e agregação de valor ao resíduo de pescado oriundos da pesca artesanal.

3 HIPÓTESES

Os resíduos de pescado podem ser utilizado como fonte de nitrogênio na produção de óleo da célula única da levedura *Rhodotorula R1*;

A produção de bio-óleo da levedura *Rhodotorula R1* é uma alternativa para destinação mais branda dos resíduos de pescado na cadeia produtiva da pesca artesanal;

A proposição do biodiesel para diversificação das atividades na comunidade Z3 e valorização do resíduo de pescado é uma alternativa para melhorar as condições socioambientais da região.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Desenvolvimento Territorial e Sustentabilidade

Ao longo da construção social os espaços rurais foram se mecanizando e grande quantidade de pessoas que ali trabalhavam foram ficando ociosas. Por outro lado, as evoluções industriais foram necessitando cada vez mais de mão de obra nos espaços urbanos, e a conjunção destes fatores fez com que houvesse uma migração de pessoas para os grandes centros. Desta forma, a ideia do espaço produtivo foi passando do rural para o urbano rapidamente e os espaços rurais passaram a ser vistos como atrasados e empobrecidos (WANDERLEY, 2000; VEIGA, 2004; FAVARETO, 2006).

Essa visão dos espaços rurais pressupõe que não há outra saída para as populações além da migração para os grandes centros o que, de acordo com Veiga (2002), é uma afirmativa equivocada. O autor em seu trabalho buscou abordar as diferentes formas espaciais de países desenvolvidos, mostrando que o fato do país ser mais urbano ou mais rural não determina seu desenvolvimento. Para Favareto (2010) essa associação dos espaços rurais ao atraso e pobreza faz com que as possibilidades sejam ainda mais restritas para esses locais, tendo em vista que investimentos científicos, econômicos e políticos sejam menores e isso acaba por “gerar um ciclo em que essa posição marginal é reforçada”, segundo as palavras do autor.

Um primeiro passo para o desenvolvimento dos espaços rurais pode ocorrer ao incentivar a diversificação das produções locais, isso, segundo Favareto (2010) pode criar um ambiente favorável para ampliação das possibilidades para a comunidade local. Para Veiga (2002), mesmo que as atividades primárias estejam concentradas nas zonas rurais, o fato não exclui que as demais atividades econômicas possam estar ali presentes, pois elas não são exclusivamente mais urbanas. E que para isso ocorrer é necessário que se tenham condições favoráveis que estimulem o empreendedorismo, pois empreendedores, segundo o autor, “são agentes de mudança econômica, pois eles geram, disseminam e aplicam as inovações” e, dessa forma, contribuem para a dinâmica local com “geração de novos produtos e serviços” (VEIGA, 2002).

Além da questão da diversificação das atividades e dinâmica nos espaços rurais, o Brasil precisa buscar alternativas econômicas para além da agricultura de commodities. Dentre os motivos que salientam esta afirmação, Favareto (2019) aborda que o mercado internacional de commodities pode até repetir o contexto de alta da primeira década do século XXI, porém essa perspectiva otimista é pouco provável porque a tendência é que o ritmo de crescimento populacional dos países asiáticos tende a não terem seus picos repetidos. Além disso, é o mercado internacional e a concorrência com outros países que rege o mercado de commodities, o mercado interno não tem, por exemplo, controle de preços. Esses bens primários geralmente não tendem a ter o valor agregado que os bens manufaturados possuem, isso acaba fazendo com que o país exporte bens primários e importe bens com alta tecnologia e valor agregado gerando, assim, um desequilíbrio permanente (FAVARETO, 2019). Ainda segundo Favareto (2019):

“Uma economia que se especializa na exportação de bens primários deixa de se sofisticar, deixa de organizar atividades de transformação e de suporte significativas, com tudo o que isso implica para a internalização das rendas e dos investimentos e para a emergência de outros setores sociais e de organizações representativas destes segmentos, algo fundamental para diminuir o peso político e econômico dos produtores de bens primários”.

Além das questões econômicas, a perspectiva histórica do Brasil em especialização de commodities vem comprometendo os recursos naturais e gerando a composição de diferentes perfis regionais no país, o que impossibilita que, se seguir o mesmo caminho, esteja rumo ao desenvolvimento sustentável (FAVARETO, 2019). Faz-se necessário que se pense em longo prazo, buscando por desenvolvimento que seja inclusivo e ambientalmente correto o que, segundo Sachs (2011), vai contra o jogo definido pelas forças de mercado. Essa busca não significa deixar de fazer o que se faz, mas buscar estar em concordância com as exigências futuras, conforme mencionou Favareto (2019):

“Não se pode desprezar a importância do petróleo do pré-sal ou a posição de destaque do Brasil no comércio internacional de carnes e grãos. A questão não é abandonar as vantagens comparativas atuais, mas usá-las na direção de construir novas vantagens competitivas numa economia do século XXI”.

Neste sentido, os autores Rambo, Michaelsen e Schneider (2013) abordam a “agroenergia” como uma possibilidade para a diversificação das atividades nos espaços rurais, essas atividades estariam em acordo com o cenário atual que pede cada vez mais pela busca de fontes renováveis de energia. Segundo Sachs (2011) a busca é pela substituição dos combustíveis fósseis por outros, pois estes são responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa e isso acarreta em mudanças climáticas que podem afetar consideravelmente o futuro da espécie humana. Alves (2017) não exclui o fato de que os combustíveis fósseis foram importantes para o crescimento da economia internacional, mas concorda com a visão de Sachs (2011) que estes contribuíram para o aumento da concentração dos Gases de Efeito Estufa e possivelmente acelerando o aquecimento global, é mencionado ainda a contribuição dessas emissões para o avanço de doenças respiratórias.

Para Sachs (2011) deve ocorrer a substituição desses combustíveis por fontes renováveis de energia como a eólica, a solar e através de biomassa. Porém, o autor aponta que esta última não pode vir a comprometer a segurança alimentar. Isso porque o uso da terra para produção de insumos para os biocombustíveis não pode competir e comprometer a produção e disponibilidade de alimentos. Neste sentido, para Sachs (2007), deve-se incentivar a produção integrada de alimento e energia investindo em policulturas.

Sachs (2011) vai ainda mais além e menciona a “revolução azul” onde cita o potencial da criação de peixes, pois poderá haver uma maior expansão da piscicultura tendo em vista os danos ambientais causados pela pecuária como emissões de metano e diminuição de florestas para expansão de pastagens. Além disso, o autor também cita que o cultivo de microalgas e algas para produção de bioenergia pode desempenhar um papel importante nas estratégias de desenvolvimento sustentável.

4.2 Contextualização Da Atividade Pesqueira

A pesca é uma atividade que vem sendo explorada e registrada pela humanidade desde antes de Cristo, ou seja, mais de 2022 anos de prática. Neste contexto, pode-se dizer que sua importância vai para além de somente uma atividade econômica, sendo também como atividade cultural e simbólica da sociedade ao longo da história da atividade humana (DIEGUES, 2004). No Brasil, segundo Cardoso (2009), há vestígios arqueológicos nos sambaquis localizados nas regiões litorâneas do país que apontam que havia componentes oriundos da pesca na dieta alimentar de populações pré-históricas. Além disso, o autor ressalta que a presença de canoas e jangadas nos litorais atuais são heranças indígenas e nos dão indícios de que as populações tradicionais do Brasil também tinham a pesca como aspectos culturais.

Conforme mencionado pelos autores citados, no Brasil o pescado foi largamente utilizado como fonte de alimento ao longo da história (DIEGUES, 2004; CARDOSO, 2009). Talvez essa relação com a pesca seja pela ampla disponibilidade de recursos hídricos no país, de acordo com o Ministério das Relações Exteriores, o Brasil detém 12% das reservas de água doce do planeta, perfazendo 53% dos recursos hídricos da América do Sul, além de contar com uma extensa zona costeira marítima. O que torna o Brasil um ambiente favorável para a atividade de pesca.

A ligação do pescador com sua atividade de trabalho implica em um vasto conhecimento e interpretação dos fenômenos naturais como ventos, águas e marés (CARDOSO, 2009). Diegues (2004) afirma que com uma rápida contextualização da história da pesca é possível perceber que há acúmulo de conhecimento por parte dos pescadores sobre questões ligadas ao meio ambiente e ao comportamento das espécies. Para Cardoso (2009) esse conhecimento é adquirido através de observação contínua da natureza, das próprias vivências do pescador e das contribuições históricas dos mais velhos na atividade.

Neste sentido Silva (2015) aborda a atividade pesqueira a partir da vivência dos pescadores do litoral norte do Rio Grande do Sul e afirma que para além da característica produtiva da pesca, a atividade deve ser compreendida como uma construção social em espaços e condições naturais distintas. Para o autor, a pesca deve ser encarada como conhecimento. Goulart (2018) reforça essa perspectiva

quando afirma que deveríamos compreender a ação reprodutora ou transformadora no campo do conhecimento a partir da compreensão da realidade de cada um.

Em 2018, estima-se que 59,51 milhões de pessoas estavam trabalhando (em tempo integral, meio período ou casual) no setor primário de pesca de captura (39,0 milhões de pessoas) e aquicultura (20,5 milhões de pessoas), o que representa um pequeno aumento em relação a 2016. As mulheres representaram 14% do total, com participação de 19% na aquicultura e 12% na pesca de captura. De todos os envolvidos na produção primária, a maioria está em países em desenvolvimento, e a maioria são pescadores artesanais de pequena escala e trabalhadores da aquicultura. O maior número de trabalhadores encontra-se na Ásia (85%), seguido pela África (9%), Américas (4%) e Europa e Oceania (1% cada). Se forem incluídos os dados sobre as operações pós-colheita, estima-se que um em cada dois trabalhadores do setor seja mulher (FAO, 2020).

De acordo com o documento publicado pela FAO em 2018, acredita-se que de 1961 a 2016 houve um aumento anual médio do consumo mundial de peixe para alimentação humana de 3,2%, excedendo o crescimento populacional de 1,6% e o de consumo de carne de animais terrestres juntos que atingiram o valor de 2,8%, ambos para o mesmo período. Estima-se que a produção pesqueira mundial tenha atingido 171 milhões de toneladas no ano de 2016 estimando US \$362 bilhões como valor total da primeira venda da produção (FAO, 2018). Em 2018 a pesca por captura atingiu o recorde de 96,4 milhões de toneladas representando um aumento de 5,4% em relação à média dos três anos anteriores, que quando somada com a aquicultura chega-se ao valor total de 178,5 milhões de toneladas e acredita-se que 37,6% deste volume foram destinados as exportações, movimentando US \$164,1 bilhões (FAO, 2020).

Em 2018 cerca de 88% (156 milhões de toneladas) da produção pesqueira global foi usada para consumo humano direto, os 12% restantes (22 milhões de toneladas) foram utilizados para fins não alimentares e 82% deste montante (18 milhões de toneladas) foram utilizados para a produção de farinha e óleo de peixe. A proporção de pescado para consumo humano direto aumentou significativamente desde a década 1960, quando era de 67%. Uma proporção crescente de farinha e óleo de peixe, estimada entre 25% e 35%, é produzida a partir de subprodutos do processamento de pescado, que antes eram frequentemente descartados ou usados como ração direta, silagem ou em fertilizantes (FAO, 2020).

Também em 2018, 67 milhões de toneladas foram comercializadas internacionalmente, ou seja, 38% da produção total de pesca e aquicultura. No total, 221 Estados e territórios relataram alguma atividade de comércio de pescado, expondo cerca de 78% do pescado e produtos da pesca à concorrência do comércio internacional. Após uma queda acentuada em 2015, o comércio recuperou posteriormente em 2016, 2017 e 2018, com respectivas taxas de crescimento anuais de 7%, 9% e 5% em termos de valor. No geral, entre 1976 e 2018, o valor das exportações mundiais de pescado aumentou de USD 7,8 bilhões para um pico de USD 164 bilhões, a uma taxa anual de 8% em termos nominais e 4% em valores reais (ajustado pela inflação). No mesmo período, as exportações mundiais em quantidade aumentaram a uma taxa anual de 3%, com um valor inicial de 17,3 milhões de toneladas. As exportações de pescado e produtos da pesca representam cerca de 11% do valor das exportações de produtos agrícolas (excluindo produtos florestais). O Brasil está entre os 25 principais países produtores de pesca de captura em águas interiores, estando em 13º lugar com uma produção de 0,22 bilhões kg de peso vivo (FAO, 2020).

4.2.1 Aspectos Socioambientais

A Lei brasileira Nº 11.959, de 29 de junho de 2009 compreende a pesca como todas as operações que buscam extrair recursos pesqueiros. Ainda conforme a lei mencionada compreende-se recursos pesqueiros por animais e os vegetais hidróbios passíveis de exploração, para fins de estudos ou pela pesca em todos os seus âmbitos: seja amadora, de subsistência, científica, comercial e pela aquicultura. Para Diegues (1983) há três tipos principais de atividade pesqueira: de auto-subsistência, pequena produção mercantil simples e produção capitalista na pesca.

O primeiro grupo de pescadores mencionados por Diegues (1983) é de fácil interpretação, seria pesca para alimentação própria. Os demais casos tratam da pesca como atividade econômica para sua própria manutenção seja como pescador independente ou assalariado. A diferença principal entre as duas últimas categorias são a forma como se conduz a pesca, equipamentos e autonomia do pescar com relação à atividade. Por exemplo, pescadores artesanais se encontram no grupo mercantil simples, em grande parte possuem suas próprias embarcações, a

atividade é realizada manualmente ou com aparelhos semi-automáticos. Já na produção que Diegues (1983) chamou de capitalista da pesca, mas que atualmente é conhecida por pesca industrial, a propriedade dos instrumentos de produção é de uma empresa de pesca e os trabalhadores são assalariados. Geralmente essas empresas possuem embarcações maiores e com equipamentos mais mecanizados e automáticos.

Essa mecanização da pesca ao longo dos anos permitiu que a captura do pescado começasse a ser realizada em larga escala. Barcos mais eficientes, juntamente com melhor tecnologia de captura, podem levar ao esgotamento da pesca (MACUSI, 2022). E atualmente a atividade atravessa uma crise de nível mundial causada justamente pela exploração excessiva da atividade que, em alguns casos, pode levar a depredação dos recursos hídricos e a extinção dos seres que ali vivem (ALVES; MOURA; VERA, 2012) A dependência de recursos pesqueiros principalmente em países dependentes economicamente da atividade, como, por exemplo, nas Filipinas, resultam na destruição do ambiente aquático como remoção de manguezais, assoreamento de ervas marinhas e poluição da água, essas consequências levam a diminuição de pescado disponível e ao declínio na pesca afetando a sustentabilidade a longo prazo da indústria pesqueira (MACUSI, 2022).

Segundo a FAO (2020), a porcentagem de unidades populacionais exploradas a níveis biologicamente insustentáveis aumentou de 10% em 1974 para 34,2% em 2017. Em termos de desembarques, estima-se que 78,7% dos atuais desembarques de pesca marinha provêm de populações biologicamente sustentáveis. Em 2017, entre as principais áreas de pesca da FAO, a área do Mediterrâneo e do Mar Negro teve a maior porcentagem (62,5%) de estoques explorados em níveis insustentáveis, seguido pelas áreas do Sudeste do Pacífico (54,5%) e do Atlântico Sudoeste (53,3%). Em contraste, as áreas do Pacífico Central Oriental, Pacífico Sul Ocidental, Pacífico Norte Oriental e Pacífico Central Ocidental tiveram a menor proporção (13% a 22%) de estoques explorados em níveis biologicamente insustentáveis. Nas demais áreas, a proporção variou entre 21% e 44% em 2017.

Por este motivo, a implementação de estratégias visando a diminuição dos impactos negativos foram adotadas ao longo dos anos pelos órgãos regulamentadores governamentais, um exemplo é a Política Comum das Pescas (PCP) da União Europeia (COPPOLA *et al.*, 2021), e dentre as estratégias mais amplamente utilizadas no mundo pode-se citar a temporada de pesca fechada como

política crucial. A época de defeso de pesca era extremamente necessária para travar o declínio das unidades populacionais e proporcionar uma estratégia eficaz de controle das capturas (MACUSI, 2022). Neste sentido o governo brasileiro através da Lei 11.959, de 29 de junho de 2009 dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca e visa regulamentar as atividades pesqueiras no país.

De acordo com a referida lei um dos objetivos da organização da atividade é a busca pela preservação, conservação e recuperação dos recursos pesqueiros e dos ecossistemas aquáticos. Para isso, um dos meios de se alcançar é a implementação do período de defeso, onde ocorre a paralisação temporária da pesca para a preservação das espécies (BRASIL, 2009). Embora a temporada de pesca fechada tenha sido implementada para conservar os recursos aquáticos, seus impactos econômicos negativos para os pescadores comerciais devem ser abordados (MUCUSI, 2022). Neste sentido, no Brasil, durante o período de defeso os pescadores podem pedir um auxílio governamental, por conta de terem suas atividades econômicas suspensas.

De acordo com o Instituto Nacional de Segurança Social (INSS, 2019) o Seguro Defeso é o “*pagamento do benefício de Seguro-Desemprego do Pescador Artesanal durante o período de defeso, ou seja, quando fica impedido de pescar em razão da necessidade de preservação das espécies*”. Para que o pescador seja contemplado com o auxílio há alguns requisitos básicos que precisam ser atendidos: Exercer esta atividade de forma ininterrupta; Ter registro ativo há pelo menos um ano no Registro Geral de Pesca (RGP), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), na condição de pescador profissional artesanal; Ser segurado especial, na categoria de pescador profissional artesanal; Comercializar a sua produção à pessoa física ou jurídica, comprovando contribuição previdenciária, nos últimos 12 meses ou desde o último período de defeso até o início do período atual; Não estar em gozo de nenhum benefício de prestação continuada da Assistência Social ou da Previdência Social, exceto auxílio-acidente e pensão por morte; e não ter vínculo de emprego ou outra relação de trabalho ou fonte de renda diversa da decorrente da atividade pesqueira (INSS, 2019).

Porém, como mencionado anteriormente, a cadeia produtiva da pesca não é somente o pescador, por exemplo, a autora Amanajás (2018) em seu trabalho observou que as famílias dos pescadores atuam também em outros ramos da

atividade pesqueira como auxílio nos desembarques, beneficiamento do pescado e na comercialização local quando esta ocorre. Essas pessoas em muitas situações acabam por não receber o auxílio do Seguro Defeso, pois não se encaixam nas condições para tal, porém também dependem da pesca para sua manutenção. Portanto, treinamentos de meios de subsistência devem ser priorizados para ajudar os pescadores e suas famílias a diversificar seus meios de subsistência da pesca para outros trabalhos baseados em terra (MUCUSI, 2022).

Além dessas questões, a geração de resíduos sólidos orgânicos é outra problemática que é tema dos debates acerca da atividade. A respeito deste assunto, a lei (Nº 11.959, DE 29 DE JUNHO DE 2009) que visa regulamentar a atividade pesqueira no país menciona que: “*As condutas e atividades lesivas aos recursos pesqueiros e ao meio ambiente serão punidas na forma da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e de seu regulamento*” (BRASIL, 2009). E de acordo com a lei brasileira nº 9.605 (BRASIL, 1998) são considerados crimes ambientais: causar poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade; dificultar ou impedir o uso público das praias; e ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos.

Grande parte do volume de resíduos oriundos da atividade pesqueira tem sua origem no processo de beneficiamento, realizado tanto para reduzir os custos relacionados ao transporte do pescado quanto para aumentar a estabilidade e qualidade dos produtos, removendo partes, como as vísceras, que podem conter bactérias e enzimas. A degradação de proteínas por enzimas é um aspecto chave que deve ser minimizado, pois um alto grau de hidrólise pode produzir peptídeos de sabor amargo (COPPOLA *et al.*, 2021). Se em 2018 cerca de 88% (156 milhões de toneladas) da produção pesqueira global foi usada para consumo humano direto (FAO, 2020), pode-se estimar uma geração de resíduos oriundos da pesca naquele ano tenha sido de pelo menos 78 milhões de toneladas, pois, segundo estudos, em média, 50% a 70% do pescado é descartado como resíduo durante seu processo de beneficiamento (DECKER *et al.*, 2019; MARTINS, 2011; AGUIAR; LIMBERGER; SILVEIRA, 2014).

Além disso, há também as capturas acessórias que são rejeitadas a cada ano, incluindo espécies de baixo valor e toneladas de peixes com alto valor

comercial, mas subdimensionados e sem potencial de mercado para consumo humano. A tendência é que a quantidade de subprodutos da pesca aumente nos próximos anos devido ao surgimento de regulamentações que obrigam o desembarque. O objetivo dessas novas regulamentações é exigência com relação ao desembarque de todas as espécies coletadas na pesca, visando evitar o grande desperdício de biomassa de peixes. Pois, estima-se que quase 25% de todo o pescado capturado nunca chega ao mercado sendo, então, descartados no mar e grande parte acaba não sobrevivendo (COPPOLA *et al.*, 2021).

Esses resíduos possuem grande carga orgânica e podem ser causadores de impactos negativos caso não tenham destinação correta, além disso, são resíduos com grande potencial de transformação. Os subprodutos de pescado são uma fonte nutricionalmente importante de proteínas, ácidos graxos e minerais, pois sua composição é semelhante à do filé de peixe e outros produtos alimentícios utilizados para consumo, com de alto valor agregado, devido ao seu alto teor de colágeno, peptídeos, quitina, ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), enzimas e minerais (COPPOLA *et al.*, 2021). Neste sentido, uma melhor gestão dos resíduos de pescado é necessária para superar as questões ambientais e, ao mesmo tempo, para o aproveitamento integral da biomassa para fins de alto valor comercial (COPPOLA *et al.*, 2021). Por tanto, faz-se necessários estudos para seu reaproveitamento, buscando uma destinação mais branda para tais.

4.3 Biocombustíveis

De acordo com Braga *et al.* (2005) a modificação dos padrões de vida que a sociedade sofreu ao longo dos anos implicou em um aumento da demanda por energia. Segundo os autores, mundialmente 86% do uso dessa energia vem de fontes não-renováveis, no Brasil este cenário é um pouco mais otimista, pois segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP (2020a), 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos são de fontes renováveis. Ou seja, nosso atual modelo de vida exige muito das questões energéticas e nossas maiores fontes para tal não são renováveis, o que nos leva a projetar problemas futuros com relação à disponibilidade energética na terra se não buscarmos alternativas.

Em seu anuário estatístico a ANP (2019) divulgou dados relativos ao consumo mundial de petróleo no ano de 2018 onde houve um aumento de 1,5% em comparação ao ano de 2017, esse aumento equivale a 1,4 milhão de barris/dia. No cenário mundial de consumo de petróleo em 2018 destacaram os países, por ordem de consumo: Estados Unidos, China e Índia. O Brasil ficou com o sétimo lugar consumindo aproximadamente 3,1 milhões de barris/dia, tendo um aumento de 1% com relação ao ano anterior. Esses números mostram que, apesar da preocupação dos efeitos causados pelo uso dos combustíveis fósseis para o meio ambiente, ainda há uma dependência mundial deles (VIDAL, 2019), porém são recursos finitos e faz-se necessário repensar a forma de consumo energético mundialmente.

Na tentativa de diversificar e diminuir os impactos ambientais negativos surgem os biocombustíveis como possibilidade para substituir nos motores à combustão os combustíveis oriundos do petróleo e de gás natural, pois o segmento dos transportes contribui para emissão de gases causadores do efeito estufa (VIDAL, 2019). Os biocombustíveis podem ser divididos em biogás e biocombustíveis líquidos, este último é basicamente o *“material obtido pela fermentação e decomposição anaeróbica de vários tipos de biomassas”* (BRAGA et al., 2015).

O destaque, no Brasil, vai para a produção de etanol, de acordo com Braga et al. (2015) a substituição de parte da frota de veículos movidos a gasolina para o etanol diminui consideravelmente a poluição por monóxido de carbono do ar. Além da produção do etanol, há estudos relacionados à produção de biodiesel, este é obtido a partir do processo químico transesterificação onde os triglicerídeos presentes em ácidos graxos reagem com um álcool (ANP, 2020b). Neste sentido, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel foi implementado no Brasil visando o incentivo para produção desse biocombustível.

Com o programa a mistura deste biocombustível ao diesel passou a ser obrigatória desde 2005, iniciando com 2% (B2) aumentando progressivamente até 2018 quando passou a vigorar o B10 (BRASIL, Lei nº 13.263/2016). Naquele mesmo ano, ficou estabelecido o novo cronograma de evolução da mistura obrigatória em um ponto percentual ao ano, até alcançar o B15 em 2023. Porém no ano de 2020, devido à pandemia da COVID-19, o governo brasileiro voltou a diminuir para 10% esse percentual que já estava em 13%, este quadro tem se mantido pelo Conselho Nacional de Política Energética através da resolução 04, de 09 de abril de 2021.

De acordo com a legislação brasileira lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2015 que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética no país, informa que é considerado biodiesel os combustíveis compostos de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzidos a partir de transesterificação e/ou esterificação de materiais graxos de origem vegetal ou animal. Essa afirmação corrobora com Subramaniam *et al.* (2010) que definiu biodiesel em seu trabalho como ésteres de ácidos graxos que podem ser produzidos a partir de qualquer óleo vegetal ou gordura animal.

O uso do biodiesel está ganhando aceitação como substituto do diesel convencional devido à sua capacidade de renovação, biodegradabilidade, reciclabilidade e neutralidade de carbono (ZAMBARE *et al.*, 2021). Esse biocombustível quando utilizado nos veículos pode reduzir as emissões de enxofre e monóxido de carbono em 30% e 10%, respectivamente (SUBRAMANIAM *et al.*, 2010). Segundo Bušić *et al.* (2018), o biodiesel, se comparado com o diesel de petróleo, tem algumas características que fazem com que ele emita menos hidrocarbonetos e monóxido de carbono. Além disso, seus átomos de carbono não se originam da crosta terrestre e sim dos disponíveis atualmente na atmosfera. Ou seja, não há adição de novos átomos de carbono, mas sim utilização do ciclo dos já existentes na atmosfera. Portanto, o uso de biodiesel tem um impacto consideravelmente menor na emissão dos gases de efeito estufa. Pelas razões acima, a produção de biodiesel na última década aumentou a uma taxa de crescimento anual de 11,4%, que é maior do que para qualquer outro biocombustível (ZAMBARE *et al.*, 2021)

Embora tenha havido um crescimento na indústria de biodiesel, a disponibilidade de matéria-prima atuou como uma barreira natural que pressionou os produtores de biodiesel e impediu o aumento de escala do biodiesel (ZAMBARE *et al.*, 2021). Christophe *et al.* (2012) contribuem ao mencionar que a demanda por energia tende a aumentar por conta do crescimento esperado da população mundial nos próximos anos e que biodiesel de primeira geração não conseguirá atender essa necessidade futura sem concorrer com o uso das terras para produção de alimentos. No Brasil e nos Estados Unidos, a principal fonte para produção de biodiesel é o farelo de soja, em alguns países Europeus usam predominantemente óleo de colza, no Canadá a produção é baseada em óleo de canola (ZAMBARE *et al.*, 2021), ou seja, todos óleos de origem vegetal. Neste sentido, Ma *et al.* (2018) afirmam que a

produção de biodiesel a partir de culturas continuará agravando a escassez global de alimentos e, inevitavelmente, comprometendo a oferta futura de alimentos. Ou seja, essa projeção leva a crer que o biodiesel derivado de óleos vegetais não pode ser a única possibilidade para a matriz energética mundial.

Segundo Bušić *et al.* (2018), as preocupações mundiais com o impacto no mercado de alimentos estimulam o estudo da viabilidade de outras formas de produção de biodiesel que poderiam ampliar a sustentabilidade ambiental e econômica do setor. Neste contexto, aparece como alternativa a produção de lipídios microbianos como matéria-prima para a produção de biodiesel. Estes óleos microbianos apresentam algumas vantagens técnicas quando comparados a outros óleos, além de ser uma fonte não alimentar para produção de biodiesel.

Além disso, o custo e os suprimentos da matéria-prima são uma função de vários fatores, incluindo a força da moeda, isso ilustra a necessidade de matérias-primas alternativas mais viáveis para biodiesel, como resíduos de baixo custo e óleos não comestíveis (ZAMBARE *et al.*, 2021). Neste sentido, o uso de resíduos para conversão energética pode ser uma possibilidade interessante, pois o que anteriormente era visto como descartável passa a ser compreendido como matéria-prima. Medeiros *et al.* (2019a) aborda que a conversão de resíduos de pescado em biodiesel é uma alternativa sustentável para um resíduo que, se descartado irregularmente, seria prejudicial ao meio ambiente. Porém Meng *et al.* (2009) enfatiza que para que isso ocorra, o substituto deve no mínimo ter mais benefícios ambientais do que os combustíveis fósseis, mas também deve ser economicamente competitivo e ser produzido em quantidades suficientes para impactar a demanda energética.

Para a produção de biodiesel há diversas matérias-primas que podem ser utilizadas, autores as classificam e as subdividem em três gerações: a primeira são os óleos derivados principalmente de vegetais como girassol, soja e canola; a segunda geração são os que possuem como matéria-prima óleos de fontes não comestíveis, como exemplo os óleos derivados de resíduos de fritura; e a terceira geração de biodiesel tem sua produção a partir de óleos microbianos através de microrganismos oleaginosos (BUŠIĆ *et al.*, 2018). Porém, mais recentemente há estudos referentes ao que pode vir a ser a quarta geração de biodiesel: uma tecnologia baseada em energia solar de separação fotossintética de água como sistema de combustível solar fotobiológico (ZAMBARE *et al.*, 2021.)

Por tanto, já é possível a geração de energia com matérias-primas que seriam descartes de outras atividades produtivas, esse fator gera impacto positivo pois dá uma destinação mais adequada aos resíduos, reinserindo-os na cadeia produtiva mundial. Porém, devido à disponibilidade limitada, as matérias-primas de segunda geração não podem atender à demanda de combustível para transporte sozinhas. Além disso, o biodiesel gerado a partir de óleos vegetais não comestíveis e gorduras animais apresentou baixo desempenho do motor em ambientes frios devido à sua alta concentração de FAME saturado (ZAMBARE *et al.*, 2021). Neste sentido, a terceira geração viria para complementar a conversão de outros resíduos em óleos aptos para produção de biodiesel.

4.3.1 Biodiesel a partir de óleo de célula única (SCO¹)

São definidos como microrganismos oleaginosos aqueles que possuem mais de 20% de lipídios microbianos em sua composição (MENG *et al.*, 2009). Esses lipídios provenientes dos micro-organismos oleaginosos são coletivamente denominados como óleo de célula única (SCO), conforme mencionado por Khot e Ghosh (2017) e Meng *et al.* (2009). Por conta desta característica, esses microrganismos estão despertando o interesse mundial para produção de biodiesel a partir de seu óleo (MENG *et al.*, 2009; SUBRAMANIAM *et al.*, 2010). Os microrganismos oleaginosos incluem: bactérias, leveduras, bolores e algas (CHATTOPADHYAY; MAITI; 2021), porém nem todos podem ser utilizados para tal finalidade, conforme mencionado por Meng *et al.* (2009).

Estes microrganismos podem utilizar diversas fontes de carbono para seu desenvolvimento (SUBRAMANIAM *et al.*, 2010) e a acumulação lipídica é determinada pela constituição genética, podendo variar muito entre as espécies e até mesmo entre as cepas individuais. As diferentes concentrações vão variar de acordo com as condições de cultura a que forem submetidos, como, por exemplo, temperatura, pH e relação C/N (MENG *et al.*, 2009). Sua produção de óleos, quando comparada com a produção de óleos vegetais, possui vantagens como: ciclos de vida mais curtos, demandam menos espaço e possuem maior facilidade de ampliação de escala. Além disso, sua aplicação não exige o uso de terras

¹ SCO é a sigla para o termo em inglês *single cell oil*.

potencialmente agrícolas (SUBRAMANIAM *et al.*, 2010). Porém, segundo Khot e Ghosh (2017) um dos desafios para alcançar o sucesso na produção de biodiesel é a eficiência na obtenção de níveis de produção intracelular.

Dentre os biocatalisadores mais promissores capazes de realizar a conversão de diversos substratos orgânicos, como açúcares, ácidos orgânicos, glicerol, aromáticos e aminoácidos em lipídios, um lugar importante é atribuído às leveduras oleaginosas (DI FIDIO, *et al.*, 2021). Essas leveduras possuem alto teor de óleo, sua fração de triacilglicerol (TAG) é semelhante à dos vegetais (SUBRAMANIAM *et al.*, 2010) e possuem mais benefícios quando comparadas ao uso de algas oleaginosas, pois ainda existem muitas desvantagens econômicas a produção de lipídios de algas, sendo a mais importante a necessidade de fotobiorreatores caros com iluminação constante e fornecimento de CO₂, o que aumenta muito o custo de produção em escala industrial (CHATTOPADHYAY; MAITI; 2021).

Estudos sobre a produção de lipídios em leveduras remontam ao final do século 19, quando Lindner observou a formação de glóbulos de gordura intracelular na levedura *Torula pulcherrima* (agora conhecida como *Metschnikowia pulcherrima*) pela primeira vez em 1889 (CHATTOPADHYAY; MAITI; 2021). Desde então esses microrganismos estão sendo investigados, segundo Meng *et al.* (2009), das cerca de 600 espécies de leveduras, até o momento da sua pesquisa, 30 haviam sido identificadas como capazes de acumular mais de 25% do seu peso seco como óleo. Porém, até 2014 mais de 74 espécies de leveduras oleaginosas já haviam sido identificadas, pertencentes principalmente aos gêneros *Yarrowia*, *Candida*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, *Lipomices* e *Trichosporon* (CHATTOPADHYAY; MAITI; 2021) E dependendo da espécie do microrganismo e das condições a que for submetido, a quantidade de óleo acumulado pode chegar a ser de 70% ou mais do peso da sua biomassa seca (CHRISTOPHE *et al.*, 2012). Meng *et al.* (2009) citou como exemplo, cepas das leveduras *Rhodosporidium* sp., *Rhodotorula* sp. e *Lipomyces* sp. como as que estão entre os microrganismos podem acumular lipídios intracelulares entre 40 e 70%.

A via metabólica para a síntese de lipídios é definida como lipogênese (DI FIDIO *et al.*, 2021) e ocorre quando um nutriente do meio em que está inserido esgota, geralmente o nitrogênio, mas ainda há um excesso de carbono, e este na forma de glicose continua sendo assimilado pelas células e acaba por ser convertido em triacilgliceróis (TAG) (MENG *et al.*, 2009; DI FIDIO *et al.*, 2021) A limitação do

nitrogênio impede a proliferação celular e o lipídio gerado é armazenado dentro das células existentes, ou seja, a célula que já não pode mais se dividir acaba por acumular lipídios (MENG *et al.*, 2009). Então, é possível regular o acúmulo de lipídios dentro da célula ao ajustar a relação de C:N no meio em que o microrganismo está inserido, a manutenção da melhor condição dessa relação C:N é o mais importante para alcançar uma melhor produção de SCO (BUŠIĆ *et al.*, 2018).

Com a finalidade de se alcançar a melhor condição de produção de óleos de célula única que viabilize uma produção mais limpa de biocombustíveis, muitos experimentos de escala laboratorial estão sendo realizados. Há relatos do uso de resíduos industriais sem tratamentos prévios e fluxos de subprodutos como esgoto municipal, lodo de esgoto e efluente de moinho de óleo de palma, soro de queijo, entre outros (KHOT; GHOSH, 2017). Xue *et al.* (2008) utilizam em seu trabalho águas residuais de glutamato monossódico (MSG) como meio de cultura para produção de lipídios pela fermentação de *Rhodotorula glutinis* e mostram o efeito da adição de diferentes concentrações de glicose no meio. Já Khot e Ghosh (2017) demonstraram que é possível produzir biodiesel através do uso de óleo de célula única da levedura *Rhodotorula mucilaginosa* IIP32 utilizando a *xylose* derivada do bagaço de cana-de-açúcar.

A produção de biodiesel a partir de leveduras oleaginosas, portanto, requer a seleção correta da linhagem de levedura, com produção de lipídios e composição de ácidos graxos desejáveis, juntamente com a seleção de condições de cultivo adequadas (CHATTOPADHYAY; MAITI; 2021). Meng *et al.* (2009) ressalta que há um potencial para o desenvolvimento do biodiesel a partir de óleo de célula única, mas que somente através de estudos e melhorias biotecnológicas será possível potencializar a qualidade e o custo de produção do biodiesel, e que este fato é essencial para que possa competir com os combustíveis convencionais.

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Fundada em 29 de junho de 1921 (MICHEL, 2018) e localizada às margens da Lagoa dos Patos bem ao Sul do Brasil, mais precisamente nas coordenadas geográficas 31°69'90"S; 52°15'58"W, no 2º distrito da cidade de Pelotas/RS, classificada como Zona Rural do município, aproximadamente há 20 km de distância

do centro da cidade, encontra-se a Colônia de Pescadores Z-3 ou, como também é conhecida, Colônia de São Pedro (fig. 1).

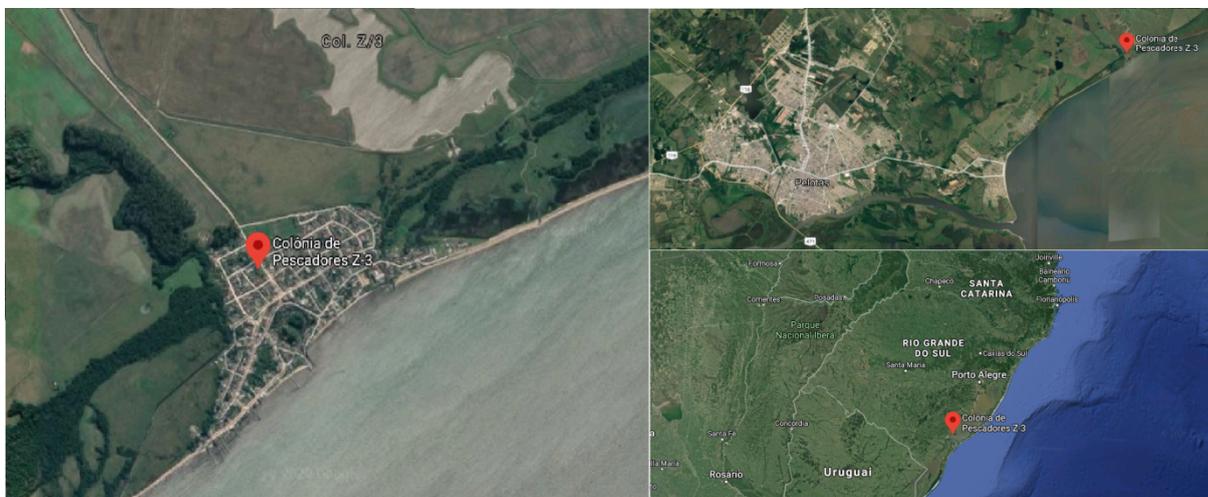


Figura 1 - Localização da Colônia de Pescadores Z-3 (31°69'90"S; 52°15'58"W).
Fonte: GOOGLE MAPS, 2020 (Adaptado pela autora).

De acordo com o último Censo Demográfico realizado no ano de 2010, Pelotas possuía 328.275 habitantes (IBGE, 2010) e 3166 destes habitantes estão na Colônia de Pescadores Z-3 (BANCO DE DADOS ZONA SUL, 2011). Em 2020, segundo o portal da transparência, 748950 pessoas foram contempladas com o seguro defeso no Brasil. No Rio Grande do Sul o total de pescadores do estado que receberam o Seguro Defeso foi de 7502. Destes 7502 somente na comunidade de pescadores Z-3 foram 568 pessoas contempladas com o benefício (PORTAL DA TRANSPARÊNCIA, 2021). Ou seja, aproximadamente 8% dos beneficiários do estado do Rio Grande do Sul residem na colônia de Pescadores Z-3, o que demonstra a importância dessa comunidade para a economia local e manutenção das atividades pesqueiras no estado.

Dentre as espécies que são comercializadas na região, tem-se a tainha (35%) e a corvina (32%) seguida pelo bagre (18%), o linguado (11%) e o peixe-rei (4%) representando os principais peixes de água salgada. Quanto aos peixes de água doce, destacam-se a traíra (62%), jundiá (15%), o pintado (15%) e a voga. Dentre locais mais utilizados para a pesca das espécies de água doce estão o Arroio Pelotas, o Canal São Gonçalo e a Lagoa dos Patos. No que se refere a crustáceos,

o camarão (95%) representa o principal produto da Colônia de Pescadores Z-3 (DECKER *et al.*, 2016).

6 ARTIGO 1

O artigo **Bio-oil production from fish processing waste residues using oleaginous Rhodotorula R1 after conventional oil extraction**, está de acordo com as normas da Revista: **Renewable Energy**, Qualis A1 e fator de impacto 8.634

Bio-oil production from fish processing waste residues using oleaginous *Rhodotorula R1* after conventional oil extraction

Fernanda Dias de Ávila – Universidade Federal de Pelotas – fehavila@hotmail.com

Josiane – Universidade Federal de Pelotas –

Marcela – Universidade Federal de Santa Catarina -

Benedict C. Okeke - Auburn University at Montgomery– bokeke@aum.edu

Robson Andreazza – Universidade Federal de Pelotas – robsonandreazza@yahoo.com.br

Abstract

This work aims to evaluate fish waste after pretreatment of physical extraction of fish oil as a culture medium for single cell oil generation of the yeast *Rhodotorula R1* seeking the production of third generation biodiesel. Treatment T1, containing 5% of mass of waste and 20 g L⁻¹ of glucose was the one that obtained the highest rate of lipid generation (approximately 14%). The T5 treatment containing the same medium used in the T1 treatment and supplemented with peptone and yeast extract did not obtain significant difference, so as the main result of this work it was concluded that fish waste is a good source of nitrogen for *Rhodotorula R1* yeast. This oil has a lipid profile similar to vegetable oils and other microbial oils. After transesterification reaction and FTIR analysis it was possible to conclude that there is a conversion of this oil into biodiesel, but further analysis is needed in order to investigate its physicochemical characteristics. There is also a need for future studies to investigate a better C:N ratio seeking a higher concentration of lipids in the cells. In addition, the combination of residues rich in sugars may help to decrease the use of glucose minimizing production costs.

Keywords: bioenergy alternatives; fish waste; biotechnology; third generation biodiesel.

1 Introduction

Since the industrial revolution, economic growth has been supplied primarily by fossil fuels. However, fossil fuel is a finite resource that will become increasingly scarce [1]. In addition, much of the gas emissions that increase the greenhouse effect, such as nitrogen oxides (NO_x) and carbon oxides (CO_x), are mostly caused by the use of fossil fuels [2]. This global increase in energy demands and the depletion of fossil fuel reserves, in addition to climate change and environmental pollution, drive an ongoing search for renewable and environmental sources [3]. In the last decades, large-scale energy production from renewable sources has become technologically viable, but expensive and not yet competitive without subsidies. [1] Therefore, adequate financial support systems such as tax rebates and mechanisms to provide sufficient funds must be ensured by governments. A carbon dioxide (CO₂) emission tax, for example, would help develop the renewable energy sector [2].

Despite the concern about the effects caused by the use of fossil fuels on the environment, there is still a worldwide dependence on them. And in an attempt to diversify the energy matrix and reduce negative environmental impacts, a solution would be to increase the use of biofuels, including biodiesel, which appears as a promising alternative for the replacement of fossil fuels due to its ability to renew, biodegradability, recyclability, carbon

neutrality and energy efficiency [3-6]. Biodiesel, compared to petroleum diesel, has some characteristics that make it emit less hydrocarbons and carbon monoxide. Besides, its carbon atoms do not originate from the Earth's crust, but from those currently available in the atmosphere [7]. Using biodiesel in vehicles can reduce sulfur and carbon monoxide emissions by 30% and 10%, respectively [5,8].

This biofuel is composed of fatty acid esters that can be produced from different oils through the transesterification reaction [8]. There are four generations of biodiesel, and each one corresponds to different sources of raw material for its production: the first originates from vegetable oils; the second from inedible oils such as frying residues; the third generation is produced from oils extracted from oleaginous microorganisms [7,9]; and, finally, the fourth generation of biodiesel which is the most recent approach: a solar-based technology of photosynthetic water separation as a photobiological solar fuel system [4]

For third-generation biodiesel, we use oleaginous microorganisms that are capable of accumulating high concentrations of lipids in their cells as energy storage. Oleaginous yeasts are among the most promising biocatalysts capable of converting various organic substrates, such as sugars, organic acids, glycerol, aromatics and amino acids into lipids [10]. Among the yeasts with the greatest potential for lipid accumulation and the most widely studied so far, we can mention: *Yarrowia lipolytica*, *Cryptococcus* sp., *Lipomyces starkeyi*, *Trichosporon* sp., *Candida tropicalis* and *Rhodotorula* sp. The latter derives its name from the characteristic appearance of its colonies (rhodos in Greek, meaning red; torula in Latin meaning protuberance), its red coloring appearance is due to the production of β -carotene. The lipid accumulation potential of yeast was studied in several carbon sources and the lipid composition resembles vegetable oil, showing potential for biodiesel production [11]. This factor makes them alternative resources to sources of agricultural and animal oils for the production of biodiesel, towards a path less dependent on the use of petroleum [12].

There are still some challenges that need to be overcome for large-scale production [13]. The high cost of pure substrates is one of the problems for feasibility, as they usually correspond to about 80% of production costs. Therefore, further investigations are needed to find an economic substrate, in this sense there are different types of possible and cheap renewable carbon sources that are being studied with the purpose of producing single cell oil, among them lignocellulose and industrial waste [3, 9, 14]. The use of waste reduces the production cost of these lipids, contributes to recycling and solid waste removal, adding value to these materials [9], but the culture media usually need to be supplemented with peptone and yeast extract, which may have an additional cost to the production [3, 9, 14, 15].

The artisanal fisheries chain is a possible supplier of nitrogen-rich waste [16-18] to reduce costs and expand the production of microbial oils. It is estimated that world fish production was about 179 million tons in 2018. If they were fully benefited, the generation of waste from fishing would have been at least 89.5 million tons that year [19], since 50 to 70% of the kg of fish can become waste in the fish processing process [20]. Therefore, the present article aims to verify the possibility of lipid accumulation in *Rhodotorula RI* cells using fish residue after a pre-treatment for physical extraction of fish oil. This remaining residue is used as a nitrogen source in yeast cultivation for single cell Bio-oil production. Beyond that, we seek to study the possibility of converting this yeast oil into third-generation biodiesel.

2 Materials and methods

The work was carried out as described below in the framework (fig. 1). The study was performed in the environmental quality laboratory at the Federal University of Pelotas. The

fish waste was provided by the Z-3 Fishermen's Colony, an artisanal fishermen located at Pelotas/RS.

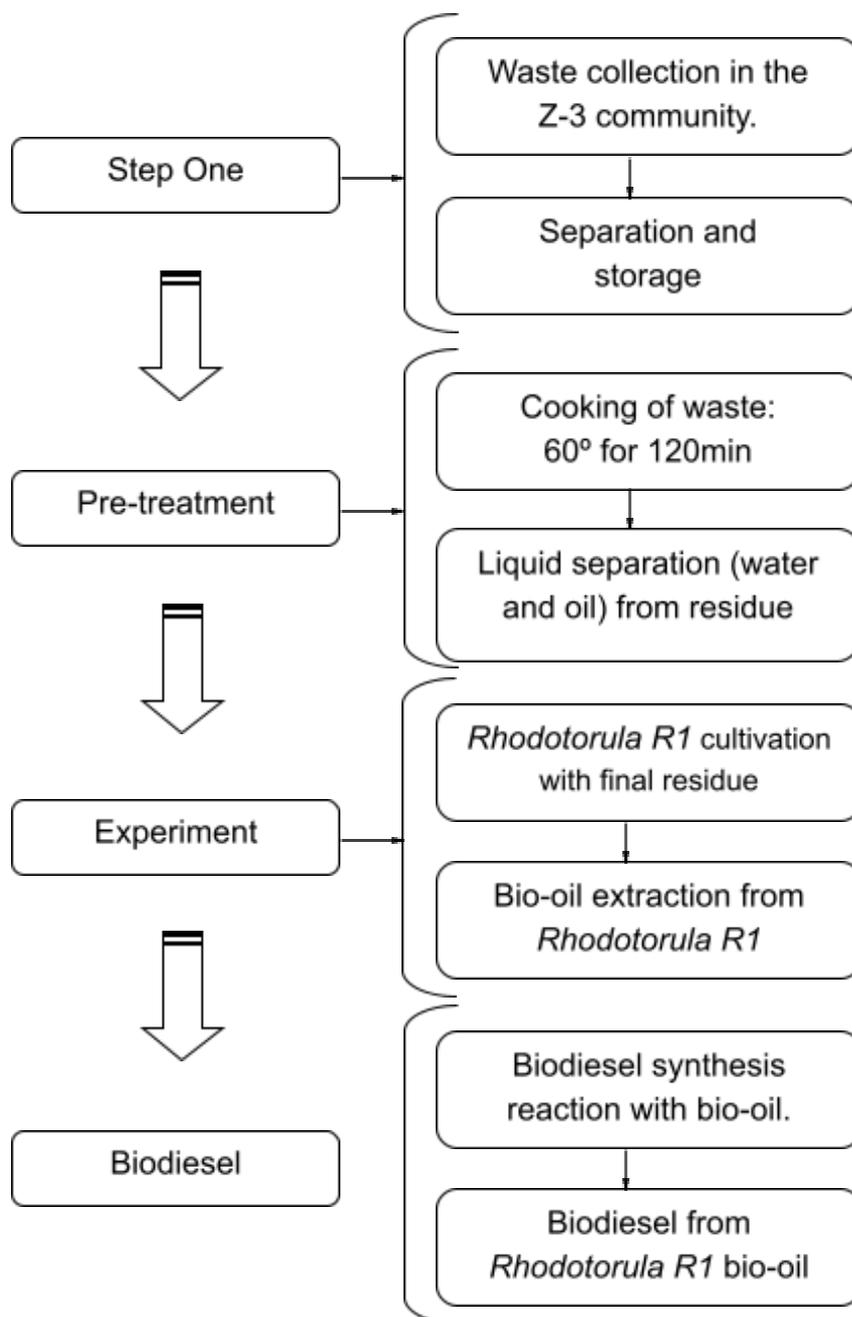


Figure 1: Experimental framework for third generation of biodiesel production.

2.1 Waste collection

The collections were carried out directly with the residents of the Z-3 Fishermen's Colony. The fish waste was not selected by species, as it was collected according to the availability of fishmongers and fishermen. The residues were stored in a thermal box and sent to the Environmental Chemistry Laboratory (Ceng/UFPel) where they were separated into portions of 0.500 kg or 1 kg and soon after frozen to maintain their main characteristics.

2.2 Waste preparation

The waste used for biochnological processes were submitted before for physical oil extraction using the method used by Medeiros et al. [21] with cooking the residue for 120 min and temperature of 60°C. It was carried out to remove as much oil as possible from the residue so that it does not influence the amount of oils present in the experiment later. Besides, this oil already has its known utility for the production of biodiesel [21,22]; so the aim was to use the waste of the fish residue after the oil extraction to maximize the oil and biodiesel production.

2.3 *Rhodotorula R1* yeast

The yeast species *Rhodotorula R1* was grown on potato dextrose water plates at 30°C and stored at 4°C. Inoculum preparation consists of lightly scraping the plate in the presence of sterile distilled water. A maximum of 10 ml of sterile water is added per plate. The inoculum of *Rhodotorula R1* species was evaluated in terms of optical density, with a 10-fold dilution and its absorbance at $\lambda=600$ nm, with a density (OD₆₀₀) of 1.576.

2.4 Experimental design

The experiment was carried out with different concentrations of fish waste and culture medium that will be described below, and for recognition purposes we used the following nomenclatures: T1, T2, T3, T4 and T5. 1 ml of *Rhodotorula R1* cell culture was inoculated into 100 ml of distilled water supplemented with glucose (20 g L⁻¹) containing different concentrations of fish residue 5% (T1), 10% (T2) and 15% (T3). In the T4 treatment there was no glucose supplementation and the fish concentration was 10%, the objective of this treatment was to verify the influence of glucose on bio-oil production. For the T5 treatment, it was decided to maintain the T1 conditions (5% fish residue and 20 g L⁻¹ glucose) adding peptone and yeast extract to verify the influence of nitrogene addiction.

The experiment was made in Erlenmeyer flasks placed on a shaker at 30°C and 150 rpm for 5 days. Afterwards, the material was centrifuged at 5000 rpm for 3 minutes to separate the solid phase from the supernatant.

Table 1: Experimental design to obtain single-cell oil using fish waste.

Treatment	Yeast Cell Culture	Fish Waste	Glucose	Pepton e	Yeast Extract	Number of repetitions
T1	1%	5%	20 g L ⁻¹	0	0	4
T2	1%	10%	20 g L ⁻¹	0	0	4
T3	1%	15%	20 g L ⁻¹	0	0	4
T4	1%	10%	0	0	0	4
T5	1%	5%	20 g L ⁻¹	6 g L ⁻¹	3 g L ⁻¹	4

2.5 Bio-oil extraction

To extract the yeast bio-oil, it is necessary to open the cell, since the oil is retained inside and may not be fully extracted if this procedure is not performed. Cells were opened with 2M HCL in a water bath for two hours, followed by filtering with paper and degreased

cotton, and dried in an oven at 60°C. Then the oil was extracted in soxhlet for 4 h using hexane. Finally, the oil was quantified and dried in an oven at 70°C until constant weight. Quantification was calculated according to the following equations:

$$(1) \text{ Oil content (\%)}: \frac{\text{weight of extrated oi}}{\text{weight of dry mass}} \times 100$$

$$(2) \text{ Biomass (g L}^{-1}\text{)}: \frac{\text{weight of dry biomass}}{\text{volume of solution or culture medium}}$$

$$(3) \text{ Oil (g L}^{-1}\text{)}: \frac{\text{mass of oil}}{\text{volume of medium}}$$

2.6 Biodiesel production

The single-cell biodiesel synthesis reaction was made under magnetic stirring and under-reflux heating (80 °C). Single cell oil extracted from *Rhodotorula R1* was used, and fish oil for comparison, which is extracted from fish waste in the waste pre-treatment phase. The experimental procedure was performed using the method described by Rockembach et al [23] and also used by Medeiros et al [22]. The methodology consisted of adding 0.006g of KOH (Sigma-Aldrich) and 0.52 ml of MeOH (Sigma-Aldrich) in 1 ml of the oil extracted from *Rhodotorula R1* and the molar ratio of methanol:oil was 9:1. After 15 minutes of reaction, the mixture was transferred to a separatory funnel and the glycerin was separated. The biodiesel was washed with 0.3 ml of aq. (5% v/v - Sigma-Aldrich) with the aqueous phase discarded. The organic phase was washed with 0.3 ml of saturated NaCl solution (Sigma-Aldrich). For the fish oil removed from the residue previously, the same methodology was used, but with different amounts, we used: 10 ml of fish oil, 0.068 g of KoH, 5.2 ml of MeOH, 6 ml of HCl and 6 ml of NaCl. The purpose of transesterification in fish oil was to carry out a comparative analysis of the two products generated from the reactions.

2.7 Chromatographic analysis

The gas chromatography methods are applied to the knowledge of the fatty acid composition of these compounds and it was carried out with the single cell oil. By the method, the methyl esters of fatty acids containing from 4 to 24 carbon atoms were separated, identified and quantified [24]. In a 50 ml volumetric flask, 6 ml of 2% KOH solution in methanol (m/v) was added under stirring and heating at 80 °C for 8 min at reflux. After this period, 7 ml of boron trifluoride-methanol were added with stirring for 2 min and 5 ml of 20% (w/v) sodium chloride solution. The organic phase containing the esterified fatty acids was separated using 20 ml of hexane and then evaporated on a rotary evaporator and dried to constant weight. These fatty acid methyl esters were analyzed from the normalized area and their respective retention times (TR) using a Flame Ionization Gas Chromatograph - GC / FID 2010 and SP 2560 column. For the analysis of the lipid profile, the operating conditions were: hydrogen as carrier gas in the flow of 1.2 ml min⁻¹, split mode 1:100, injected sample volume 1 µL; initial oven temperature 120°C with heating from 3°C min⁻¹ to 240°C. The injector and detector temperatures were set to 250°C.

2.8 Infrared spectroscopy

The analysis conditions were: scan from 400 cm⁻¹ to 4000 cm⁻¹, 32 scans, transmittance mode, resolution of 4 cm⁻¹, Shimadzu equipment, model IRPrestige-21.

2.9 Statistical analysis

Lipid production tests were statistically evaluated by analysis of variance (ANOVA) and, when significant, the Tukey test was performed to compare means at the 5% probability of error. Statistic 7.0 software (Statsoft, USA) was used for data interpretation.

3 Results and Discussions

3.1 *Rhodotorula RI* bio-oil

The metabolic pathway for lipid synthesis is defined as lipogenesis, which occurs when the yeast is in an environment with a poor nitrogen and carbon rich source, that is, in the presence of a high C/N ratio [11]. In this way, the accumulation of lipids occurs when a nutrient, usually nitrogen, in the medium in which it is inserted is exhausted, but there is still an excess of carbon. In this sense, the microbial growth conditions performed in this work were beneficial and the reddish coloration that became apparent in the 5-day incubation period indicated the multiplication of *Rhodotorula RI* and the accumulation of bio-oil inside its cells. It was possible to notice that the tone of the T4 treatment had lower intensity, leading to believe that this treatment was less efficient than the others. This data was confirmed after the oil extractions, as can be seen in the fig. 2. In the supernatants there were no relevant results for this research.

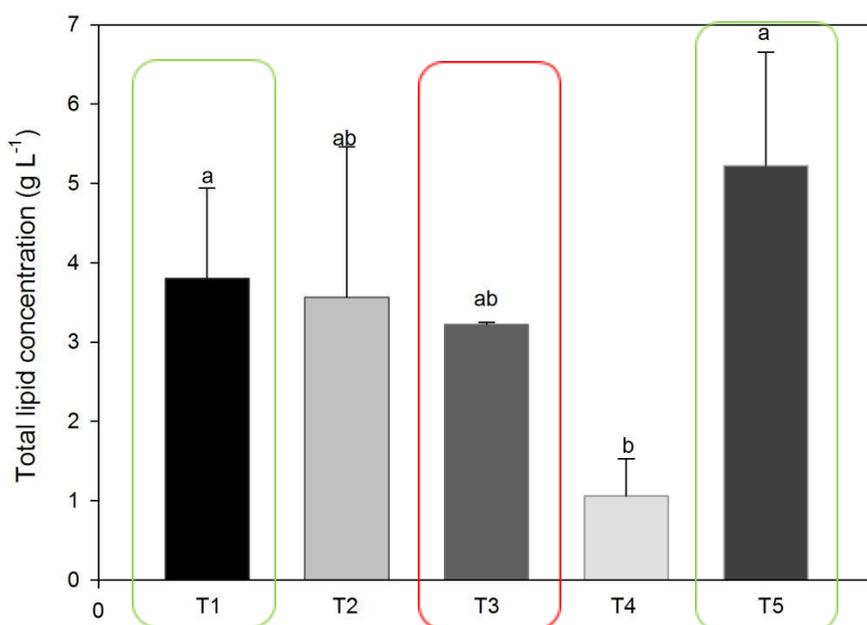


Figure 2: Oil extracted (g L⁻¹) from each treatment T1 (5% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose), T2 (10% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose), T3 (15% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose), T4 (10% fish waste) and T5 (5% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose, 6 g L⁻¹ peptona, 3 g L⁻¹ yeast extract). Bars with the same letter do not differ significantly according to Tukey's test at 5%.

From the data obtained, it was possible to verify that there was oil production by *Rhodotorula RI* using fish residue (after pre-treatment of fish oil extraction) (fig. 2). It was also possible to conclude that treatments T1 and T5, in which the culture medium contained a

concentration of 5% of fish residue supplemented with 20g L⁻¹ of glucose, were the ones that obtained the best results (fig. 3). This can be explained by the C/N ratio, as it is possible to regulate the accumulation of lipids inside the cell by adjusting the C:N ratio in the medium in which the microorganism is inserted, which can reach 70% of its dry weight [5,7,12]. As the other treatments had a greater amount of fish residue, it is likely that there was a greater amount of nitrogen in the medium, as this residue has around 9% and 12% of total nitrogen in its composition [16-18].

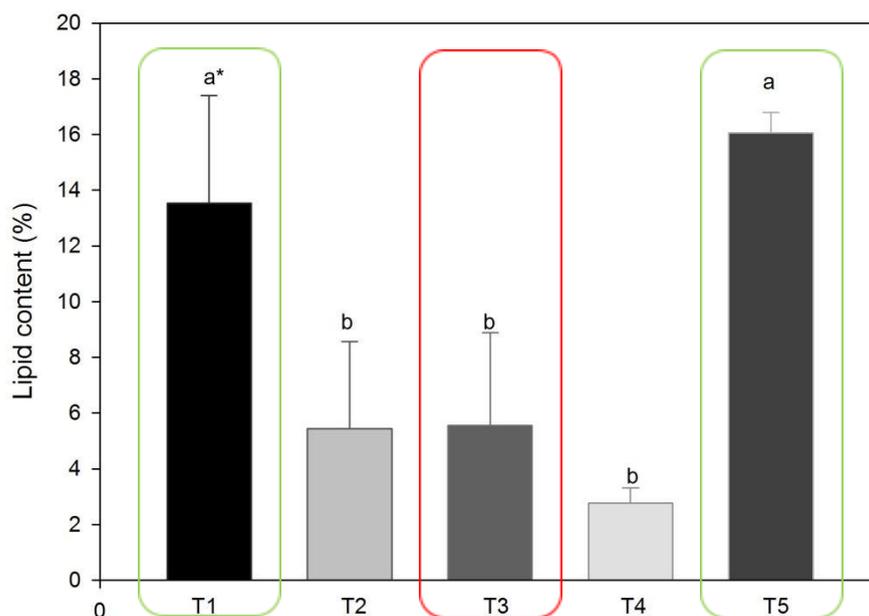


Figure 3: Oil concentration produced by *Rhodotorula R1* from each treatment T1 (5% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose), T2 (10% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose), T3 (15% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose), T4 (10% fish waste) and T5 (5% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose, 6 g L⁻¹ peptona, 3 g L⁻¹ yeast extract). Bars with the same letter do not differ significantly according to Tukey's test at 5%.

Oilseed yeasts have three phases of development: (i) exponential growth phase where cells go into a quick proliferation; (ii) lipid accumulation phase where cells show minimal growth due to nutrient limitation; and (iii) stationary phase or late accumulation phase [5]. Then, when analyzing the biomass production of the treatments (fig. 4), in cases where the culture medium contained a greater amount of fish residue (T2 treatment and T3 treatment), which the biomass production was higher than in the treatments T1 and T5 where it was obtained a higher percentage of oil. In this case, it is possible that *Rhodotorula R1* was still in the multiplication phase, where the accumulation of lipids would be carried out only after the nitrogen depletion in the medium, because normally, due to the C/N restriction, the parental strain accumulates only lipids after the nitrogen depletion in a narrow time window between 30 and 70 h. In this sense, the study of manipulated strains is an alternative to obtain better results, as they begin to accumulate lipids at an early stage during growth and continue this process throughout the fermentation [11, 12, 25].

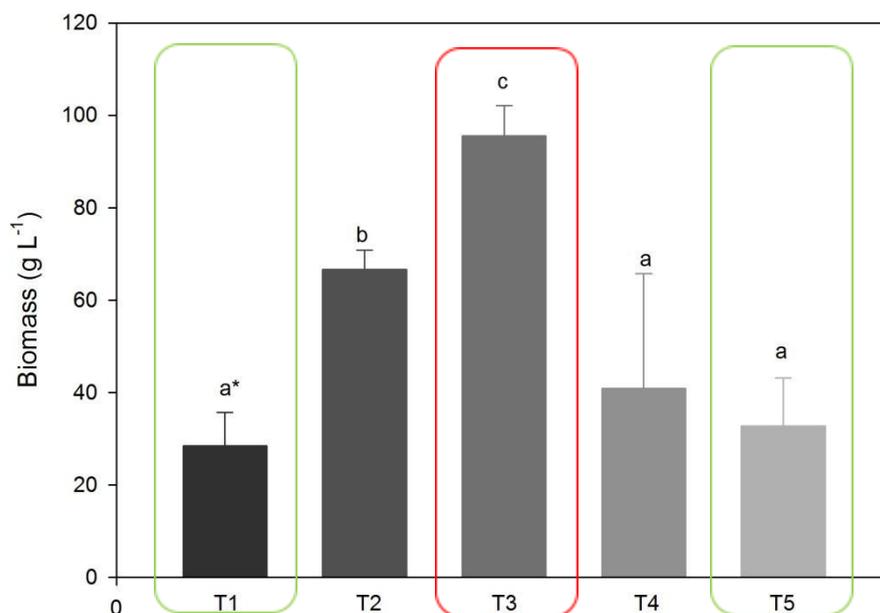


Figure 4: *Rhodotorula R1* dry biomass concentration from each treatment T1 (5% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose), T2 (10% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose), T3 (15% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose), T4 (10% fish waste) and T5 (5% fish waste; 20 g L⁻¹ glucose, 6 g L⁻¹ peptona, 3 g L⁻¹ yeast extract). Bars with the same letter do not differ significantly according to Tukey's test at 5%.

In the case of T4 treatment, the C/N ratio was also compromised. As can be seen in fig. 4, there was a growth of biomass cell, but the lack of glucose supplementation may have been the determining factor for the accumulation of less oil (fig. 2). Nitrogen was available for growth, but the amount of carbon was not sufficient for the accumulation of lipids in the cells. According to BUŠIĆ et al. [7] to achieve better single cell oil production, it is essential to maintain a better condition of the C/N ratio. In this case, a two-phase production with sugar supplementation could have optimized the accumulation of oil, since the two-stage batch culture (1st stage of growth and 2nd stage of lipid production) has already been shown to be more effective in other studies [3].

For treatment T5, the choice to perform it with 5% of fish supplemented with glucose (20 g L⁻¹) occurred after extraction and comparison of treatments T1, T2, T3 and T4, then the best treatment was chosen (in terms of percentage of oil accumulation) for comparison with the addition of nitrogen. And from the statistical analysis performed, it was possible to verify that the treatments T1 and T5 are grouped equally, according to the shades shown in fig. 3 (group a), indicating that the supplementation of the medium with the nitrogen through peptone and yeast extract did not change considerably the amount of lipids in the cells (fig. 3) nor the growth of biomass (fig. 4).

In addition, nitrogen quality can affect lipid accumulation in oleaginous yeasts. The species of *Rhodospiridium toruloides*, for example, accumulated more lipids when grown with an organic nitrogen source rather than a salt. Lipid accumulation at *Rs. toruloides* CBS 14 increased from 18% (w/w), with NH₄Cl as a nitrogen source to over 50% (w/w) when glutamate, urea or arginine were used. [26]. Other conditions of the culture medium, such as aeration rate, temperature, and pH, also affect the amount and composition of lipids in the cells of oleaginous microorganisms [5, 12]. Studies have shown that changes in metabolic pathways can increase lipid production. Five alternative routes were tested for the synthesis of acetyl-CoA in *Yarrowia lipolytica* and all modified strains showed lower sensitivity to the

availability of nitrogen in the médium and started to accumulate lipids from the initial stage of cultivation. The engineering of cytosolic acetyl-CoA pathways can be effectively synchronized with lipid production and cell growth leading to an approximately 3.1-fold increase in lipid productivity in relation to the parental strain [25].

The characterization of single cell oil is essential to verify the possibility of its conversion into biodiesel. Lipids produced by oleaginous microorganisms generally have a fatty acid profile composition similar to vegetable oils and, among their possible applications, their probability for biodiesel production can be highlighted [8, 11]. The main components of these lipids are the following acids: myristic (C14:0), palmitic (C16:0), palmitoleic (C 16:1), stearic (C18:0), oleic (C18:1), linoleic (C18:2) and linolenic (C18:3). However, the fatty acid profile of these microorganisms varies according to the species and conditions to which it was submitted [5]. To investigate the characteristics of this oil, gas chromatography analysis was performed (fig. 5).

The lipid profile of this oil in the condition that was established by the methodology of this work is presented in table 2. From table 3 it can be seen that the profile consists of long chain fatty acids (between C14 and C24). The composition of this oil is important to verify its possible conversion into biodiesel, as its quality depends directly on the lipid profile of the oil used in production.

Table 2: Fatty acid composition of single cell oil extracted from *Rhodotorula R1*. grown with fish waste.

Fatty Acids – Composition		(%)
Eicosanoic acid, methyl Ester	C20:0	0,55
Myristic acid, methyl Ester	C14:0	4,16
Pentadecanoic acid, methyl Ester	C15:0	0,30
Pentadecanoic acid, methyl Ester	C15:0	0,61
Methyl palmitelaidate	C16: 1T	11,87
Palmitic acid, methyl Ester	C16:0	29,04
Hexadecanoic acid, 15-methyl-, methyl Ester	C16:0	1,06
Hexadecanoic acid, 14-methyl-, methyl Ester	C16:0	0,57
1-Hexadecenoic acid, 15-methyl-, methyl ester	C16:1	0,68
Heptadecanoic acid, methyl Ester	C17:0	2,11
Elaidic acid, methyl Ester	C18:1n-9t	24,33
Elaidic acid, methyl Ester	C18:1n-9t	4,94
Stearic acid, methyl Ester	C18:0	15,52
Eicosanoic acid, methyl Ester	C20:0	1,15
Docosanoic acid, methyl Ester	C22:0	1,35
Tetracosanoic acid, methyl Ester	C24:0	1,75
	SATURATED	58,17
	UNSATURATED	41,82
	Total:	99,99

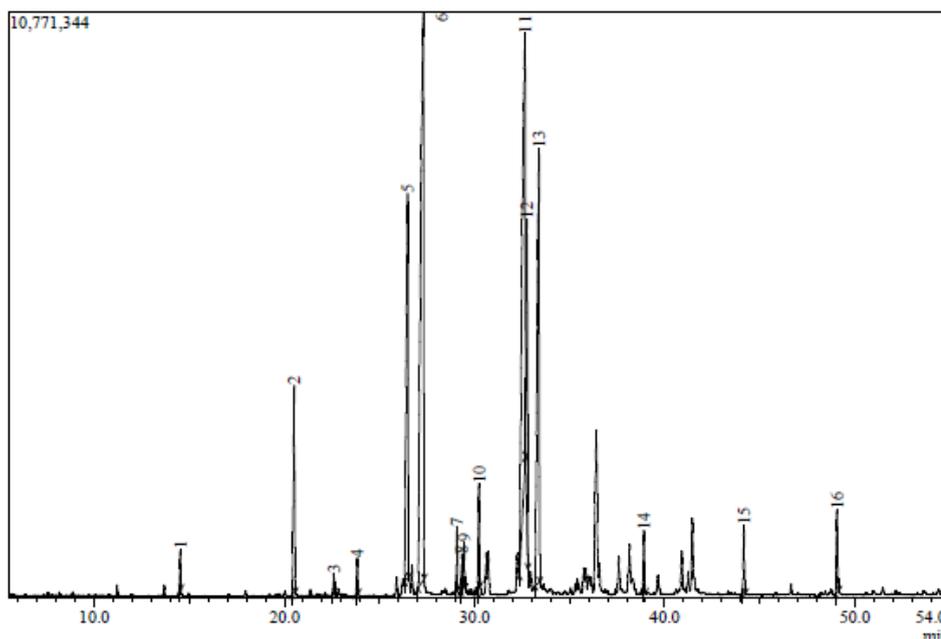


Figure 5: Fatty acid composition of single cell oil performed through chromatographic analysis.

For the conversion of oils into biodiesel, an ideal proportion of saturated and unsaturated fatty acids is sought, as both are important for biodiesel to meet legal specifications. Saturated fatty acids, for example, mitigate auto-oxidation and therefore increase the life of the biofuel. On the other hand, unsaturated fatty acids determine the cold flow blocking properties [5]. The analysis of the lipid composition of *Rhodotorula mucilaginosa* *IIPL32* was performed using different forms of oil extraction, including in situ, microwave and soxhlet, the latter being the same used in this work. It was concluded that the extraction method influences the fatty acid composition [27], and it is possible that there is a difference in the composition of the oil extracted from *Rhodotorula R1* if the extraction is carried out in another way. However, the fatty acid profile is similar to other published works that carried out the conversion of oil into biodiesel, according to table 3.

Table 3: Profile of Fatty Acids from different sources.

		Acid							
	A2	WFO (T2)*	WFO **	digestion ***	Soxhlet ***	Tallow ****	Palm ****	Soya ****	Colza ****
ΣSaturated (%)	58,17	34,66	25,81	26,3	49,55	42,6	48,3	15,5	4,34
ΣMUFA(%)	41,82	41,72	63,21	55,11	36,7	42,5	40,5	23,5	64,4
ΣPUFA(%)	-	23,62	9,56	18,61	13,75	2,9	10,3	61	30,53
ΣUnsaturated (%)	41,82	65,3	72,77	73,72	50,45	45,4	50,8	84,5	94,93

A2: Single cell oil *Rhodotorula sp.* from this work. *Fish Waste - WFO T2 (21). **Fish Waste - WFO (28). ****Rhodotorula mucilaginosa* *IIPL32* (27). **** fatty acid composition of common biodiesel feedstocks (29). *****Monounsaturated fatty acids. *****Polyunsaturated fatty acids.

According to table 3, it is possible to verify that the single cell oil extracted by the soxhlet method, had a fatty acid profile similar to the oil of *Rhodotorula mucilaginosa* IIP32 [26] extracted using the same methodology, even if the cell opening occurred differently. And it differs more from the fatty acid profile of soy and rapeseed which are plants that can produce oils used for the purpose of manufacturing biodiesel.

The single-cell oil using fish residue had a higher content of saturated fatty acid methyl esters (saturated FAMES) than the oil extracted directly from these residues, as shown in table 3. The higher content of saturated methyl acids gives the biodiesel better oxidative stability and helps to ensure good cold start properties with reduced smoke formation [22, 27]. This oil did not present polyunsaturated fatty acids, unlike the other oils shown in table 4, and large concentrations of these fatty acids can affect the storage of biodiesel, as they are more susceptible to oxidation [30]

However, the melting points of saturated FAMES are higher than unsaturated ones, which impairs the cold flow properties. For this reason, a certain amount of unsaturated fatty acids is needed to improve this property of biodiesel [27]. In addition, the presence of monounsaturated oils is important to guarantee the quality of biodiesel, because they can result in an increase in viscosity, and provide better characteristics in terms of ignition quality and flow properties. [27]. However, high levels of these monounsaturated fatty acids affect the quality of biodiesel in a negative way [21]. In this sense, the *Rhodotorula RI* oil presented an amount of monounsaturated (41.82%) close to some oils compared in table 3, with the highest percentage in the total composition of fatty acids being saturated (58.17%). This leads us to believe that the conversion of this oil into biodiesel tends to be effective, which will be verified in the following section.

3.2 Biodiesel with Bio-Oil From *Rhodotorula RI*

According to Medeiros et al. [22] Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis is effective in evaluating the conversion of triglycerides into methyl esters, and can confirm the conversion of oil into biodiesel. In addition, it is also used to investigate the composition of the functional groups of oils. Therefore, FTIR analyzes were performed both on biodiesel and on the oil extracted from *Rhodotorula sp.* fig. 6 shows the FTIR analysis of the single cell oil (SCO) extracted from *Rhodotorula RI* that was cultivated in the medium with fish waste and also the analysis performed with the biodiesel formed from this same oil.

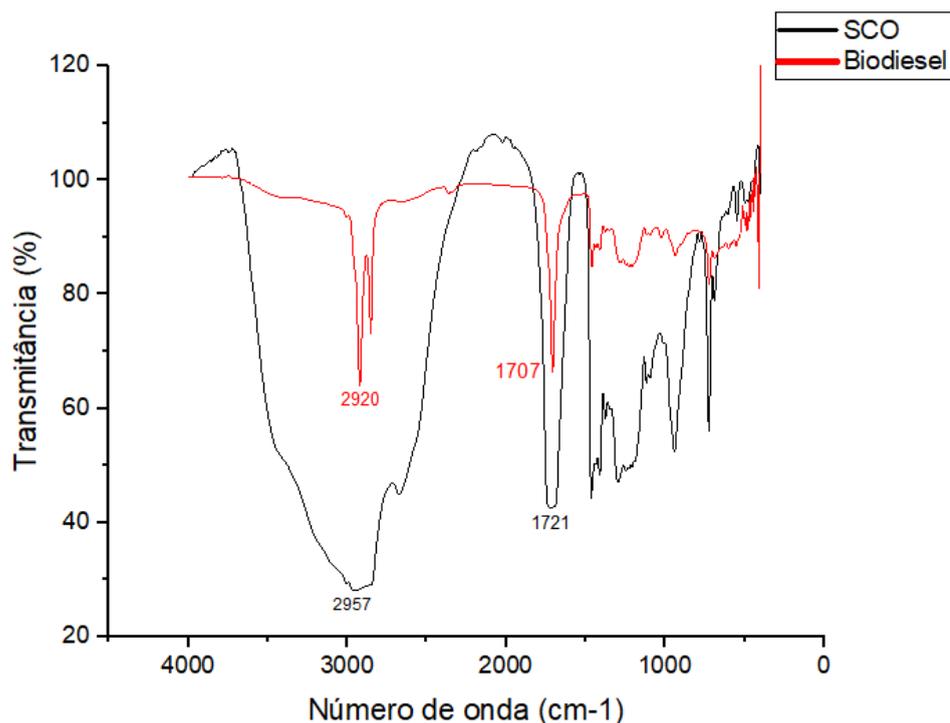


Figure 6: FTIR analysis of single cell oil (SCO) and biodiesel formed from the same oil.

The absence of peaks in the detection of absorption bands between wavenumbers $3,500\text{ cm}^{-1}$ and $3,100\text{ cm}^{-1}$ in biodiesel indicate that there was effective separation of the transesterification products (fig. 6). These bands are related to the axial deformation of the OH group, also suggesting that there are no residues such as water or alcohol [22].

The spectra obtained in the biodiesel and single-cell oil samples, $2,920\text{ cm}^{-1}$ and $2,957\text{ cm}^{-1}$ respectively (fig. 7), with symmetrical and asymmetrical stretching modes are associated with groups with C-H bond indicating the presence of aliphatic chains [31]. The vibrations $\sim 1700\text{ cm}^{-1}$ normally refer to C=O bonds, indicating the presence of the carbonyl group [22, 32]. It is possible to verify that this group presents peaks with greater absorption intensity in single-cell oil than in biodiesel, thus suggesting the conversion of triglycerides from the oil into fatty acid methyl esters [21].

As mentioned by Medeiros et al. [22] the realization of biodiesel from fish waste became effective, and when comparing with biodiesel from single cell oil (fig. 7), it is possible to verify the similarity between the products generated from different oils, confirming the effectiveness in the conversion of single-cell oil into biodiesel (fig. 7).

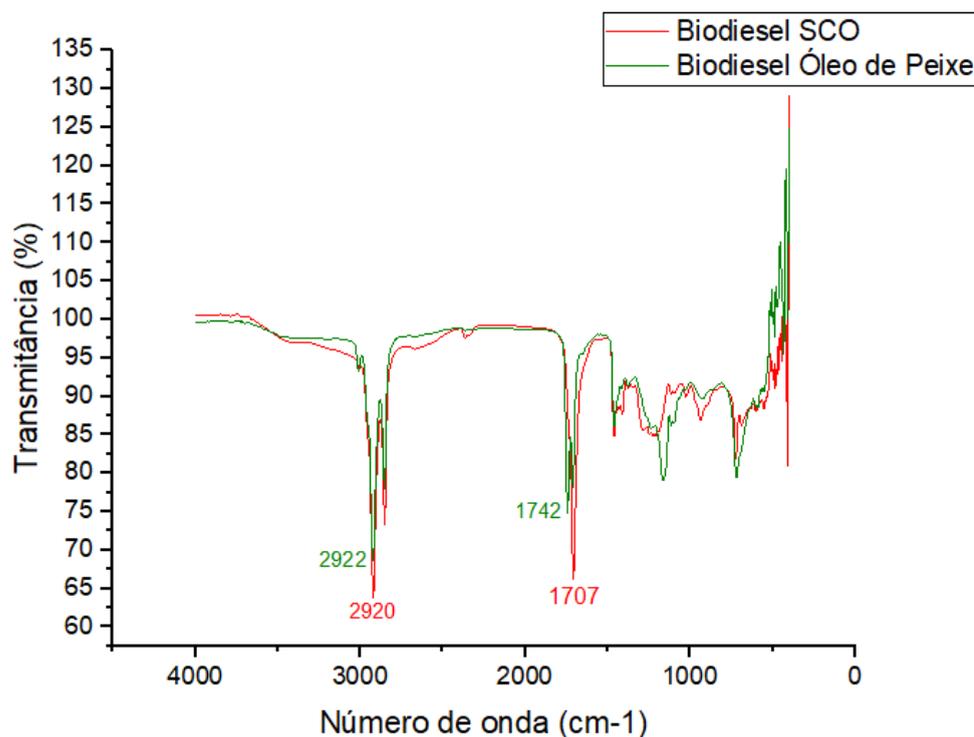


Figure 7: FTIR analysis of single cell oil biodiesel and fish oil biodiesel.

However, only the analysis of the conversion of oil into biodiesel is not enough to verify the employability of this biofuel, as there are regulations that need to be met. Properties such as moisture, density, kinematic viscosity, flash point, oxidation stability, saponification value, cetane number, iodine number, need to be within the limits of international biodiesel Standards [3, 14, 15]. Therefore, further research is needed related to the physicochemical characteristics of biodiesel generated from *Rhodotorula RI* yeast oil under the conditions used in this work.

Acknowledgements

This study was funded in part by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - Brazil (CAPES) - Finance Code 001. *Rhodotorula RI* was provided by the Bioprocessing and Biofuels Research Laboratory at Auburn University in Montgomery. Benedict Okeke received the US Scholar Fulbright Award.

4. Conclusions

1. The combination of oleaginous yeasts with residues is attractive for the generation of third-generation biodiesel, considering that by using residues for bio-oil production the costs of obtaining raw materials are reduced and the quantities of residues that are discarded are reduced.

2. The fish waste after extraction of fish oil proved to be effective as culture medium for the yeast *Rhodotorula RI*, confirming the generation of microbial oils and, after analysis of the single cell oil, it was concluded that it has suitable characteristics for biodiesel production.

3. The addition of nitrogen through peptone and yeast extract did not significantly alter the percentage of single cell oil, so fish waste after physical extraction of fish oil is a good alternative as a nitrogen source,

4. The use of fish waste was more effective when combined with glucose, which may increase the cost of production. Therefore, studies are suggested seeking its combination with residues rich in sugars to supplement the medium in order to reduce costs.

5. The conversion of this oil into biodiesel proved to be effective, but the quality of biodiesel produced is still unknown. Future analyses of the physical-chemical characteristics of biodiesel will be necessary to verify its adequacy to international norms and standards.

References

[1] HARTLEY, P., MEDLOCK, K. B., TEMZELIDES, T., ZHANG, X. Y. Energy Sector Innovation and Growth: An Optimal Energy Crisis. **Energy Journal**, Vol. 37, No. 1, 37, p. 233-290, 2016. DOI: 10.5547/01956574.37.1.phar

[2] AWAN, A.B., KHAN, Z. A. Recent progress in renewable energy – Remedy of energy crisis in Pakistan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 33, p. 236-253, 2014. DOI:10.1016/j.rser.2014.01.089.

[3] PEREIRA, A.S., LOPES, M., MIRANDA, S.M. et al. Bio-oil production for biodiesel industry by *Yarrowia lipolytica* from volatile fatty acids in two-stage batch culture. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 106, p. 2869–2881, 2022. Doi:10.1007/s00253-022-11900-7.

[4] ZAMBARE, V.; PATANKAR, R.; BHUSARE, B.; CHRISTOPHER, L. Recent Advances in Feedstock and Lipase Research and Development towards Commercialization of Enzymatic Biodiesel. **Processes**, v. 9, n. 10, 1743, 2021. Doi:/10.3390/pr9101743

[5] PATEL, A., ARORA, N., SARTAJ, K., PRUTHI, V., PRUTHI, P., Sustainable biodiesel production from oleaginous yeasts utilizing hydrolysates of various non-edible lignocellulosic biomasses. **Renewable Sustainable Energy Rev.**, v. 62, p. 836–855, 2016.

[6] CHRISTOPHE, G.; KUMAR, V.; NOUAILLE, R.; GAUDET, G.; FONTANILLE, P.; PANDEY, A.; SOCCOL, C.R.; LARROCHE, C. Recent developments in microbial oils production: a possible alternative to vegetable oils for biodiesel without competition with human food?. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Curitiba, v. 55, n. 1, p. 29-46, jan./feb. 2012. DOI: 10.1590/S1516-89132012000100004.

[7] BUŠIĆ, A., KUNDAS, S., MORZAK, G., BELSKAYA, H., MARĐETKO, N., ŠANTEK, M. I., KOMES, D., NOVAK, S., ŠANTEK, S. Recent Trends in Biodiesel and Biogas Production. **Food technology and biotechnology**, v. 5, n. 2, p. 152–173, 2018. DOI:10.17113/ftb.56.02.18.5547.

[8] SUBRAMANIAM, R., DUFRECHE, S, ZAPPI, M., BAJPAI, R. Microbial lipids from renewable resources: production and characterization. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v.37, p.1271–1287, 12/2010. DOI: 10.1007/s10295-010-0884-5.

[9] LEESING, R.; SIWINA, S.; NGERNYEN, Y.; FIALA, K. Innovative approach for co-production of single cell oil (SCO), novel carbon-based solid acid catalyst and SCO-based

biodiesel from fallen *Dipterocarpus alatus* leaves. **Renewable Energy**, v. 185, 2022, p. 47-60. Doi:10.1016/j.renene.2021.11.120.

[10] DI FIDIO, N.; MINONNE, F.; ANTONETTI, C.; RASPOLLI GALLETTI, A.M. *Cutaneotrichosporon oleaginosus*: A Versatile Whole-Cell Biocatalyst for the Production of Single-Cell Oil from Agro-Industrial Wastes. **Catalysts**, 2021, 11, 1291. DOI: 10.3390/catal11111291.

[11] CHATTOPADHYAY, A., MAITI, M.K. Lipid production by oleaginous yeasts. **Advances in Applied Microbiology**, v.116, p. 1-98, 2021. DOI: 10.1016/bs.aambs.2021.03.003.

[12] MENG, X., YANG, J., XU, X., ZHANG, L., NIE, Q., XIAN, M. Biodiesel production from oleaginous microorganisms. **Renewable Energy**, v. 34, n. 1, p. 1-5, 2009. DOI: 10.1016/j.renene.2008.04.014.

[13] MA, Y., GAOA, Z., WANG, Q., LIUA, Y. Biodiesels from microbial oils: Opportunity and challenges. **Bioresource Technology**, v. 263, p. 631-641, ISSN 0960-8524, 2018. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.05.028.

[14] VASAKI M., SITHAN M., RAVINDRAN G., PARAMASIVAN B., EKAMBARAM G., KARRI R.R. Biodiesel production from lignocellulosic biomass using *Yarrowia lipolytica*. **Energy Convers Manag X**, v. 13, p. 100-167. Doi: 10.1016/j.ecmx.2021.100167.

[15] MAZA, D., VIÑARTA, S., GARCÍA-RÍOS, E., GUILLAMÓN, J., AYBAR, M. *Rhodotorula glutinis T13* as a potential source of microbial lipids for biodiesel generation. **Journal of Biotechnology**, v. 331, p. 14-18, 2021. Doi:10.1016/j.jbiotec.2021.03.002.

[16] VALENTE, B. S., ANDREAZZA, R., XAVIER, E. G., GOMES, M. C., PEREIRA, H. da S., ÁVILA, F. D. Composting for valuation of marine fish waste. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 18, n. 4, p. 594-603, 2017. ISSN 1519-9940. DOI: 10.1590/S1519-99402017000400010.

[17] VALENTE, B. S., OTTO, I. O., DEMARCO, C. F., BUNDE, D. A. B., ÁVILA, F. D., GUIDONI, L. L. G., PIENIZ, S., CORREA, E. K., ANDREAZZA, R. Composting of fish waste and its phytotoxicity effects, **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, 56:10, 1051-1057, 2021. DOI: 10.1080/10934529.2021.1961541

[18] SERRANO, A., SILES, J. A., CHICA, A. F., MARTÍN, M. A. Agri-food waste valorization through anaerobic co-digestion: fish and strawberry residues. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 125-132, 2013, ISSN 0959-6526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.05.002.

[19] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. **La sostenibilidad en acción**. Roma, 2020, ISSN 2663-8649 DOI: 10.4060/ca9229es

[20] DECKER, A.; ANDREAZZA, R.; OTTO, I.; PRATES, R.; MAEHLER, A.; NASCIMENTO, S.; QUADRO, M.; NADALETTI, W. CADEIA PRODUTIVA DA PESCA ARTESANAL E GESTÃO AMBIENTAL: CRISE E OPORTUNIDADE EM UMA

COMUNIDADE NO SUL DO BRASIL. Revista **Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S. l.], v. 15, n. 5, 2019. DOI: 10.54399/rbgdr.v15i5.5040.

[21] MEDEIROS; E. F.; AFONSO, M DA S.; DOS SANTOS, M. A. Z.; BENTO, F. M.; QUADRO; M. S.; ANDREAZZA, R. Physicochemical characterization of oil extraction from fishing waste for biofuel production. **Renewable Energy**, v. 143, p. 471-477, 2019.

[22] MEDEIROS, E. F.; VIEIRA; B. M.; PEREIRA, C. M. P.; NADALETI, W. C.; QUADRO; M. S.; ANDREAZZA, R. Production of biodiesel using oil obtained from fish processing residue by conventional methods assisted by ultrasonic waves: Heating and stirring. **Renewable Energy**, v. 143, p. 1357-1365, 2019.

[23] ROCKEMBACH C. T., DIAS D., VIEIRA B. M., RITTER M., SANTOS M. A. Z., DE OLIVEIRA D. M. Synthesis of Biodiesel from Grape Seed Oil Using Ultrasound Irradiation. **Rev 502 Virtual Química** 2014;6. doi:10.5935/1984-6835.20140054.

[24] LUTZ, A. **Óleos e Gorduras**. Métodos Físico-Químicos para Análise Alimentos, p. 589-625, 2008. DOI:10.1017/CBO9781107415324.004.

[25] XU P., QIAO K., AHN W.S., STEPHANOPOULOS G. Engineering *Yarrowia lipolytica* as a platform for synthesis of drop-in transportation fuels and oleochemicals. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 113, p. 10848–10853, 2016. doi: 10.1073/pnas.1607295113.

[26] EVANS C. T., RATLEDGE C. Effect of nitrogen source on lipid accumulation in oleaginous yeasts. **Microbiology**, v. 130, p. 1693–704, 1984, doi:10.1099/00221287-130-7-1693.

[27] KHOT, M.; GHOSH, D. Lipids of *Rhodotorula mucilaginosa* IPL32 com potencial de biodiesel: Rendimento do óleo, perfil de ácidos graxos, propriedades dos combustíveis. **J Microbiol Básico**, v. 57, p. 345-352, 2017. DOI: 10.1002/jobm.201600618.

[28] LOPES DA SILVA T., SANTOS A.R., GOMES R., REIS A. Valorizing fish canning industry by-products to produce ω -3 compounds and biodiesel. **Environ Technol Innov** 2018; 9:74–81. doi:10.1016/j.eti.2017.11.002.

[29] MAHMUDUL H.M. et al. Production, characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72: 497-509, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.001.

[30] B.M. Vieira, C. Elicker, C.F.P. Nunes, A. V. Bairros, E.M. Becker, D.M. de Oliveira, E. Piva, L.A.M. Fontoura, C.M.P. Pereira, The synthesis and characterization of *Butia capitata* seed oil as a FAME feedstock, **Fuel**. 184 (2016) 533–535. doi:10.1016/j.fuel.2016.07.052

[31] CORREA, C., RUSCHEL, C. BENTO, F., FERRAO, M. Multivariate Control Charts Application to the Control and Quality Assurance of Biodiesel (B100). **Revista Virtual de Química**, v.7. p. 2273-2289, 2015. Doi: 10.5935/1984-6835.20150135.

[32] PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S. **Introdução à espectroscopia**. 1.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 716 p.

7 ARTIGO 2

O artigo **Cadeia produtiva da pesca: conversão de resíduo de pescado em biodiesel como proposta de Economia Circular** está de acordo com as normas da Revista: **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, Qualis A4 e fator de impacto 3.43.

Cadeia produtiva da pesca: conversão de resíduo de pescado em biodiesel como proposta de Economia Circular

Fernanda Dias de Ávila – Universidade Federal de Pelotas – fehavila@hotmail.com

Robson Andreazza – Universidade Federal de Pelotas –

robsonandreazza@yahoo.com.br

Benedict C. Okeke - Auburn University at Montgomery– bokeke@aum.edu

Resumo: A cadeia produtiva da pesca artesanal caracteriza-se pelo modelo econômico linear. Este modelo é baseado no uso e descarte de recursos naturais, o que vem causando problemas socio-ambientais. Nesse contexto, a economia circular aparece como uma alternativa visando o melhor aproveitamento dos recursos. O objetivo do presente trabalho é discutir o potencial da cadeia produtiva da pesca artesanal, repensando o modelo econômico adotado e propor a destinação correta dos resíduos oriundos desta atividade para fabricação de biodiesel de 2ª e 3ª geração. O biodiesel, além de menos poluente é também uma alternativa viável para a destinação adequada dos resíduos, transformando-os em um produto que tem aplicabilidade direta na atividade pesqueira, podendo ser utilizado nas embarcações da própria comunidade. Porém, na extração de óleo de peixe, há geração de um residual de pescado. Para este resíduo sugere-se a combinação com microrganismos oleaginosos para geração de óleos microbianos para conversão de biodiesel de 3ª geração, fechando o ciclo de aproveitamento de resíduos de peixe.

Palavras-Chave: economia circular; pesca artesanal; resíduo de peixe; bio-óleo; biocombustíveis; sustentabilidade.

Abstract: The artisanal fishing production chain is characterized by the linear economic model. This model is based on the use and disposal of natural resources, which has been causing social and environmental impacts. In this context, the circular economy appears as an alternative for the better use of resources. The objective of the present work is to discuss the potential of the artisanal fishing production chain, rethinking the economic model adopted and proposing the correct destination of the residues from this activity for the manufacture of 2nd and 3rd generation biodiesel. Biodiesel, in addition to being less polluting than fuels derived from petroleum, is also a viable alternative for the proper disposal of waste, transforming them into a product that has direct applicability in the fishing activity, and can be used in the vessels of the community itself. However, in the extraction of fish oil, there is a generation of residual fish. For this residue it is suggested the combination with oleaginous microorganisms to generate microbial oils for the conversion of 3rd generation biodiesel, closing the cycle of using fish residues.

Keywords: circular economy; artisanal fishing; fish waste; bio-oil; biofuels; sustainability.

Resumen: La cadena productiva de la pesca artesanal se caracteriza por el modelo económico lineal. Este modelo se basa en el uso y disposición de los recursos naturales, lo que ha causado daños sociales y ambientales. En este contexto, la economía circular aparece como una alternativa para el mejor aprovechamiento de los recursos. El objetivo del presente trabajo es discutir el potencial de la cadena productiva de la pesca artesanal, repensando el modelo económico adoptado y proponiendo el destino correcto de los residuos de esta actividad para la fabricación de biodiesel de 2ª y 3ª generación. El biodiesel, además de ser menos contaminante, también es una alternativa viable para la disposición adecuada de los residuos, transformándolos en un producto que tiene aplicabilidad directa en las actividades pesqueras,

pudiendo ser utilizado en las embarcaciones de la propia comunidad. Sin embargo, en la extracción de aceite de pescado, se genera pescado residual. Para este residuo se sugiere la combinación con microorganismos oleaginosos para generar aceites microbianos para la conversión de biodiesel de 3ra generación, cerrando el ciclo de aprovechamiento de los residuos.

Palabras-clave: economía circular; pesca artesanal; desechos de pescado; bioaceite; biocombustibles; sustentabilidad.

1 Introdução

O ano de 2022 foi declarado pela Assembleia Geral das Nações Unidas como o Ano Internacional da Pesca Artesanal e da Aquicultura, visando repensar as estruturas e interações socioambientais dessas atividades para manutenção das mesmas. Além disso, sabe-se que a preocupação mundial com a sustentabilidade se apresenta numa crescente desde a Revolução Industrial, as riquezas naturais, que são finitas, são extraídas tornando-as matérias-primas para transformação em produtos e energias visando atender as demandas que são cada vez maiores baseado em modelo econômico linear (MACHADO *et al.*, 2020). Esse sistema linear aliado ao crescimento em larga escala de consumo, diretamente relacionado ao crescimento populacional, ocasionou as problemáticas da geração de resíduos em grande escala e crescente demanda por energias.

Segundo a Organização das Nações Unidas (2020), estima-se que a média da produção mundial de resíduos em 2019 tenha sido de 457 kg/pessoa e que somente 13% do resíduo gerado no mundo tenham sido reutilizados, reciclados, compostados ou que tenham tido recuperação de energia. E é neste mesmo sistema, de extração, uso e descarte, em que se baseia também a atividade pesqueira mundial. Na atividade pesqueira, durante o processo de beneficiamento do pescado, a geração de resíduo pode chegar a ser de 70% do total da matéria prima do pescado dependendo da forma de beneficiamento que é realizada (DECKER *et al.*, 2019; DECKER; OTTO; ANDREAZZA, 2015).

Tendo em vista a problemática dos conflitos entre resíduos e meio ambiente, estudos são realizados buscando o tratamento de resíduos, destinação final adequada e, principalmente, em como esses materiais considerados resíduos podem ser matérias-primas para fabricação de outros produtos. Neste sentido, um novo modelo econômico vem sendo proposto que se baseia nos ciclos naturais do planeta como, por exemplo, da água ou do nitrogênio, onde nada se cria nem se joga fora, tudo se transforma (LEITÃO, 2015). A economia circular surge com a proposta de um modelo de produção com fluxo fechado de

materiais (SANGUINO *et al.*, 2020). A utilização de biomassas para produção de biocombustíveis é também uma das alternativas para reaproveitamento de resíduos visando à substituição nos motores à combustão os combustíveis oriundos do petróleo e de gás natural (VIDAL, 2019). Para esta finalidade considera-se biomassa todo o material orgânico de origem animal ou vegetal que pode ser transformado em combustível. (LOPES; MARTINS; MIRANDA, 2019. FÉLIX *et al.*, 2019).

No ano de 2018, o consumo mundial de petróleo teve um crescimento de 1,5% em comparação ao ano de 2017, esse aumento equivale a 1,4 milhões de barris/dia. No cenário mundial de consumo de petróleo em 2018 destacaram os países, por ordem de consumo: Estados Unidos, China e Índia. O Brasil ficou com o sétimo lugar consumindo aproximadamente 3,1 milhões de barris/dia, tendo um aumento de 1% com relação ao ano anterior (ANP, 2019). Esses números mostram que, apesar da preocupação dos efeitos causados pelo uso dos combustíveis fósseis para o meio ambiente, ainda há uma dependência mundial deles (VIDAL, 2019), porém são recursos finitos e faz-se necessário repensar a forma de consumo energético mundial. Neste sentido, o biodiesel tem sido considerado um substituto as fontes de petróleo mais ambientalmente correto, pois sua utilização nos veículos pode reduzir as emissões de enxofre e monóxido de carbono em 30% e 10%, respectivamente (MA *et al.*, 2018; SUBRAMANIAM *et al.*, 2010).

Visando a possibilidade de implementação do formato de economia circular em uma realidade local, o presente artigo tem o objetivo de fomentar a discussão sobre a cadeia produtiva da pesca, com base nos encontros ao longo dos projetos de extensão com a comunidade de pescadores Z-3 (Pelotas/RS, Brasil), buscando repensar o modelo linear de produção adotado, propor a destinação correta dos resíduos oriundos desta atividade para fabricação de biodiesel tendo como objetivo uma fonte de renda extra através de um produto que pode ser utilizado nas próprias embarcações dos moradores da comunidade.

Os projetos aqui mencionados tiveram duração de 5 anos, de 2015 a 2020, na comunidade Z-3 e foram interrompidos pela pandemia da COVID-19. Os encontros com a comunidade nos projetos de extensão vivenciados pelo grupo de pesquisa do laboratório de qualidade ambiental do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Pelotas nortearam a construção deste trabalho.

2 Metodologia

Para a viabilização deste estudo, realizou-se inicialmente uma pesquisa exploratória utilizando técnica de observação participante (MARCONI; LAKATOS, 2017) através de idas a comunidade que possibilitou a observação *in loco*, conversas informais com moradores e funcionários das peixarias, entrevistas não estruturadas com participantes dos dois Sindicatos de Pescadores existentes na comunidade e participação ativa semanalmente no grupo de apoio da comunidade intitulado “Comunidade em Rede”, grupo este composto por moradores, líderes locais e instituições públicas.

Além disso, através dos projetos de extensão “Compostagem: transferência de tecnologia para o tratamento de resíduos de pescados da colônia de pescadores Z-3” e “Transferência de Tecnologias para a Transformação de resíduos de pescado em outros produtos” visitou-se as residências de moradores e participou-se dos festivais culturais da localidade, onde, através de observação participante e conversas informais, foi possível compreender as dinâmicas socioeconômicas do local, além verificar a pré-disposição da comunidade para novas tecnologias utilizando resíduos de pescado.

As ações tinham por objetivo compreender as dinâmicas das inter-relações entre os atores envolvidos, descrever e caracterizar o local de estudo, e de buscar uma aproximação com a comunidade (MARCONI; LAKATOS, 2017). Além da coleta de dados através da pesquisa exploratória, utilizou-se artigos e trabalhos acadêmicos para desenvolvimento do trabalho, a metodologia utilizada nesta etapa caracteriza-se como revisão bibliográfica que, segundo Creswell (2007), busca a partir da compreensão e união de outros autores e estudos fornecer ao leitor discussões sobre determinado tema.

3 Referencial bibliográfico

3.1 Economia Circular e a Cadeia Produtiva da Pesca Artesanal

Hoje a expansão do consumo é impulsionada não apenas pelo aumento da produção, mas também por diversos fatores, entre eles a redução do desperdício (COPPOLA *et al.*, 2021), e apesar de já existirem mecanismos jurídicos que responsabilizam as empresas pelos resíduos gerados na sua produção, a economia ainda é baseada em uso e descarte, gerando resíduos em grandes escalas. Neste sentido, o conceito de sustentabilidade assenta totalmente com a circularidade de todos os materiais, logo a transição de uma economia linear para uma

circular é atualmente um aspecto indispensável para uma gestão eco-eficiente dos recursos (COPPOLA *et al.*, 2021). Na economia circular a abordagem que vem sendo amplamente difundida é o princípio dos ‘3Rs’: redução, reutilização e reciclagem de matérias e energias (SANGUINO *et al.*, 2020). Segundo a Fundação Ellen Macarthur, economia circular é uma forma melhor de fazer a gestão dos recursos naturais:

A economia circular é concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produtividade de recursos e minimiza riscos sistêmicos gerindo estoques finitos e fluxos renováveis. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, s/d).

O sistema linear de produção que ainda é amplamente adotado, e que vem sendo questionado, é também o modelo praticado nas atividades pesqueiras, onde sua característica principal baseia-se na extração, fabricação, uso e descarte (MACHADO *et al.*, 2020). A pesca é uma atividade milenar (DIEGUES, 2004), há vestígios arqueológicos da atividade na América do Sul que datam 12 mil anos (WAGNER; SILVA, 2020). No Brasil há vestígios arqueológicos nos sambaquis localizados nas regiões litorâneas do país que apontam que haviam componentes oriundos da pesca na dieta alimentar de populações pré-históricas (CARDOSO, 2009). E assim como as demais atividades humanas, a pesca também acompanhou o processo evolutivo da humanidade. Inicialmente o objetivo da pesca era a busca por alimento para si e com o passar dos anos passou a ser exercida também como atividade comercial (DIEGUES, 2004). A partir da década de 1970 o pescador passou a ser visto como camponês do mar, um pequeno produtor familiar buscando atender as demandas agrícolas e exercendo uma atividade cada vez mais mecanizada. (WAGNER; SILVA, 2020).

A atividade pesqueira deve, então, ser compreendida como um fenômeno social que além de depender de saberes técnicos, exige conhecimentos relacionados aos territórios, meteorologia e navegação. Além disso, há todos os aspectos simbólicos nas co-relações ali existentes (WAGNER; SILVA, 2020). Por tanto, pode-se dizer que sua importância vai para além de somente uma atividade econômica, sendo também uma atividade cultural e simbólica da sociedade ao longo da história da atividade humana (DIEGUES, 2004). Essa relação com a pesca pode ser explicada pela ampla disponibilidade de recursos hídricos no país, de acordo com o Ministério das Relações Exteriores, o Brasil detém 12% das reservas de água doce do planeta, o que equivale a 53% dos recursos hídricos da América do Sul, além de contar com

uma extensa zona costeira marítima. O que torna o Brasil um ambiente favorável para a atividade de pesca.

Compreende-se a atividade de pesca como todas as operações que buscam extrair recursos pesqueiros: animais e os vegetais hidróbios passíveis de exploração, para fins de estudos ou pela pesca em todos os seus âmbitos (BRASIL, 2009). Para Diegues (1983) há três tipos principais de atividade pesqueira: de auto-subsistência, pequena produção mercantil simples e produção capitalista na pesca. O primeiro grupo de pescadores mencionado por Diegues (1983) é de fácil interpretação, seria pesca para alimentação própria. Os demais casos tratam da pesca como atividade econômica para sua própria manutenção seja como pescador independente ou assalariado.

A diferença principal entre as duas últimas categorias é a forma como se conduz a pesca, equipamentos e autonomia do pescador com relação à atividade. Por exemplo, pescadores artesanais se encontram no grupo mercantil simples, em grande parte possuem suas próprias embarcações, a atividade é realizada manualmente ou com aparelhos semi-automáticos. Já na produção que Diegues (1983) chamou de capitalista da pesca, mas que atualmente é conhecida por pesca industrial, a propriedade dos instrumentos de produção é de uma empresa de pesca e os trabalhadores são assalariados. Geralmente essas empresas possuem embarcações maiores e com equipamentos mais mecanizados e automatizados.

Segundo a FAO (2020), em 2018 aproximadamente 59,51 milhões de pessoas trabalhavam no setor primário de pesca e aquicultura, sendo que em torno de 38,98 milhões estão no setor primário da pesca, porém a quantidade de trabalhadores informais é de difícil mensuração, principalmente na pesca artesanal e de subsistência. Macusi *et al.* (2022) demonstram em seu trabalho que a maior parte dos seus entrevistados iniciaram na pesca com 20 anos ou menos, vendo outros exercendo a função, em grande parte influenciados por seus parentes e na maior parte das vezes buscando ajudar suas famílias. Daw *et al.* (2022) perceberam em seu trabalho que pescadores que foram motivados a iniciar a atividade pesqueira por tradição ou simplesmente livre escolha são menos propensos a optar pela saída da pesca. Porém, a partir de estudos em comunidades de pesca artesanal é possível perceber que esses espaços estão passando por um processo de envelhecimento e esvaziamento devido às oportunidades restritas aos familiares dos pescadores e também pela baixa remuneração da atividade (DECKER, 2016; OTTO, 2017).

Estudos relatam que há uma relação entre a multiplicidade ocupacional e a saída da pesca, e que essa multiplicidade está mais relacionada às ocupações dos demais membros da família do que dos próprios pescadores, sugerindo que a adaptação dos pescadores a

distúrbios ou declínios pesqueiros e a redução do esforço de pesca podem ser facilitados por meios de subsistência alternativos, mesmo que não sejam adequados para os próprios pescadores (DAW *et al.*, 2022). A relação positiva muitas vezes assumida entre o desenvolvimento econômico e a mobilidade da mão de obra pesqueira foi contrariada, mostrando que a continuidade ou não na atividade pesqueira é complexa e possui forte dependência com o contexto da comunidade, do núcleo familiar e do pescador. (DAW *et al.*, 2022).

As famílias dos pescadores atuam também em outros ramos da cadeia produtiva da pesca como auxílio nos desembarques, beneficiamento do pescado e na comercialização local quando esta ocorre. Essas pessoas em muitas situações acabam por não receber o auxílio do Seguro Defeso², pois não se encaixam nas condições para tal, porém também dependem da pesca para sua manutenção (AMANAJÁS, 2018). Por tanto, as ocupações dos membros da família podem subsidiar a pesca continuada ou a saída da pesca dependendo de outras variáveis contextuais, como escolhas de trabalho e afinidade cultural com a pesca (DAW *et al.*, 2022), o fato é que pescadores que possuem multiplicidade ocupacional na família tendem a permanecer na pesca. Neste sentido, repensar o modelo econômico da atividade, o pescador e sua rede de relações é o primeiro passo para continuidade da pesca e das comunidades de pesca artesanal.

3.1.1 Colônia de Pescadores Z-3 e a Pesca Artesanal

Fundada em 29 de junho de 1921 (MICHEL, 2018) e localizada às margens da Lagoa dos Patos bem ao Sul do Brasil, mais precisamente na cidade de Pelotas/RS, com aproximadamente 20 km de distância do centro da cidade, encontra-se a Colônia de Pescadores Z-3 ou, como também é conhecida, Colônia de São Pedro (fig. 1).

² O pescador que exerça sua atividade profissional ininterruptamente, de forma artesanal e individualmente ou em regime de economia familiar, fará jus ao benefício do seguro-desemprego, no valor de 1 (um) salário-mínimo mensal, durante o período de defeso de atividade pesqueira para a preservação da espécie (Lei nº 10.779, de 25 de novembro de 2003, Brasil).



Figura 1: Colônia de Pescadores Z-3 localizada na cidade de Pelotas no estado do Rio Grande do Sul/BR às margens da Lagoa dos Patos (Fonte: elaborado pela autora).

De acordo com o último Censo Demográfico realizado no Brasil em 2010, Pelotas tinha 328.275 habitantes (IBGE, 2010) e 3166 destes habitantes estavam residindo na Colônia de Pescadores Z-3 (BANCO DE DADOS ZONA SUL, 2011). Em 2020 aproximadamente 748.950 pessoas foram contempladas com o seguro defeso no Brasil. No Rio Grande do Sul o total de pescadores do estado que receberam o Seguro Defeso foi de 7.502. E, destas 7.502, somente na comunidade de pescadores Z-3, foram 568 pessoas contempladas com o benefício (Portal da transparência, 2021).

Porém, a quantidade de trabalhadores informais é de difícil mensuração na pesca artesanal e de subsistência (FAO, 2020), logo acredita-se que o número de pessoas na atividade de pesca na comunidade de Pescadores Z-3 seja maior do que o número cadastrado nos mecanismos de controle do governo nacional. Além disso, o número de pessoas envolvidas com o processamento da pesca não é contabilizado nos números acima citados. O fato é que aproximadamente 8% dos beneficiários do estado do Rio Grande do Sul residiam na colônia de Pescadores Z-3 no ano de 2020, o que demonstra a importância dessa comunidade para a economia local e manutenção das atividades pesqueiras no estado.

De forma geral, a cadeia da pesca é composta por três etapas, sendo a primeira a pesca extrativista, o segundo a unidade de beneficiamento e o terceiro o ponto de venda que pode ser diretamente ou não ao consumidor final. No caso da cadeia produtiva da pesca na Colônia de Pescadores Z-3 (fig. 2), tem-se a seguinte configuração: inicia com a pesca extrativista principalmente na Lagoa dos Patos realizada pelos pescadores artesanais; o pescado capturado passa por uma classificação, onde são descartados diretamente na lagoa os peixes desqualificados; o pescado qualificado é separado, transportado e desembarcado na Colônia de Pescadores Z-3, onde é vendido a atravessadores ou diretamente às peixarias, e armazenado até seu posterior beneficiamento; na filetagem (forma de beneficiamento) as tarefas são comumente realizadas por trabalhadoras do sexo feminino, que possuem um vínculo empregatício com as peixarias e salgas, e na maioria das vezes, recebem seus pagamentos na forma de diárias; depois de beneficiado, o pescado é transportado até o varejo, como por exemplo, as peixarias existentes no Mercado Público de Pelotas, onde são vendidos ao consumidor final (DECKER *et al.* , 2019).

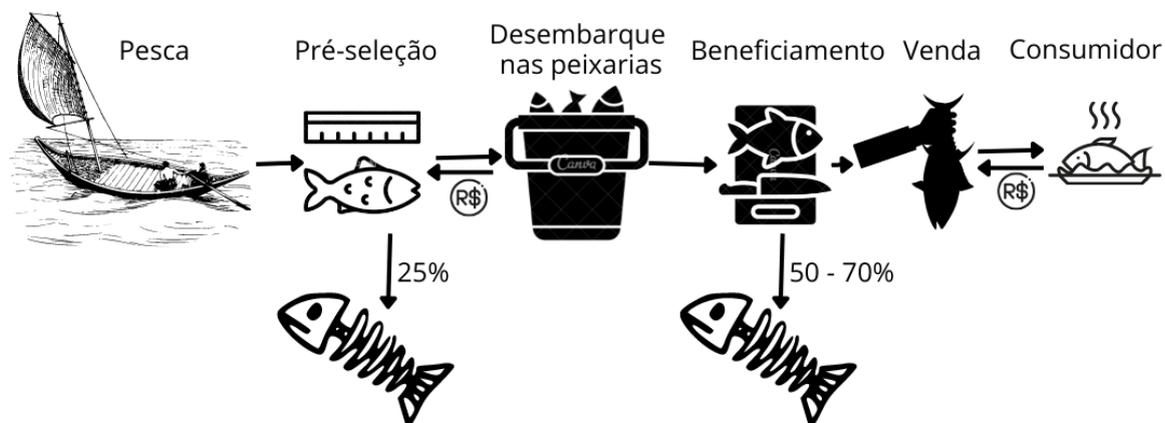


Figura 2: Imagem ilustrativa do modelo empregado na cadeia produtiva de pesca artesanal na comunidade de Pescadores Z-3.

Esse modelo linear de produção na pesca vem impactando negativamente o meio ambiente devido ao aumento da extração de matérias primas e a grande produção de resíduos. Acredita-se que mais de 70% do pescado passe por algum tipo de beneficiamento que ocasiona na geração de resíduos e, dependendo do nível de processamento e da espécie, cerca

de 50% a 70% do peso do pescado é descartado. Esses descartes incluem principalmente cortes musculares, ossos, cabeças, vísceras, escalas, peles e barbatanas (COPPOLA *et al.*, 2021; DECKER; OTTO; ANDREAZZA, 2015; AGUIAR; LIMBERGER; SILVEIRA, 2014). Além disso, acredita-se que quase 25% de todo o pescado capturado nunca chega ao mercado (COPPOLA *et al.*, 2021).

Neste contexto, a modernização da atividade pesqueira, que permitiu a captura em larga escala, contribuiu para desencadear a crise na pesca mundial. Segundo a FAO (2020), a porcentagem de unidades populacionais exploradas a níveis biologicamente insustentáveis aumentou de 10% em 1974 para 34,2% em 2017. Estima-se que de 1961 a 2016 houve um aumento anual médio do consumo mundial de peixe para alimentação humana de 3,2%, excedendo o crescimento populacional de 1,6% e o de consumo de carne de animais terrestres que juntos atingiram o valor de 2,8%, ambos para o mesmo período. E que a atividade de pesca mundial tenha produzido 171 milhões de toneladas no ano de 2016 (FAO, 2018) e 179 milhões de toneladas em 2018. A exploração excessiva dos recursos naturais acabou por desencadear a depreciação dos recursos hídricos, extinção de espécies e produção de uma grande quantidade de resíduos (ALVES; MOURA; VERA, 2012). Somente na comunidade de pescadores Z-3 a produção média de resíduos de pescado no ano de 2014 e parte de 2015 foi de 27.294,67 toneladas/mês (DECKER *et al.*, 2019).

Neste sentido, uma melhor gestão dos resíduos de pescado é necessária para superar as questões ambientais e, ao mesmo tempo, para o aproveitamento integral da biomassa para fins de alto valor comercial (COPPOLA *et al.*, 2021). Tendo em vista que o consumo de pescado continuar a crescer e a mecanização dos processos se tornam cada vez mais eficientes, a tendência é que a produção de resíduos oriundos da atividade aumente e que os pescadores artesanais percam espaço no mercado. Isso mostra a importância do debate relacionado à destinação correta desses resíduos, gestão da atividade e manutenção das comunidades de pesca artesanal.

4 Resultados e Discussões

4.2 Produção de Biodiesel com Resíduo de Pescado

O Biodiesel é um combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzidos a partir de transesterificação e/ou esterificação de materiais graxos (SUBRAMANIAM *et al.*, 2010). O biodiesel, se comparado com o diesel de petróleo, tem

algumas características que fazem com que ele emita menos hidrocarbonetos e monóxido de carbono. Além disso, seus átomos de carbono não se originam da crosta terrestre e sim dos disponíveis atualmente na atmosfera (BUŠIĆ *et al.*, 2018). Ou seja, não há adição de novos átomos de carbono, mas sim utilização do ciclo dos já existentes na atmosfera. Portanto, o uso de biodiesel tem um impacto muito menor na emissão dos gases de efeito estufa.

No Brasil, o incentivo para produção desse biocombustível vem através do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. Este programa estabelece, desde 2005, que a mistura deste biocombustível ao diesel seja obrigatória, iniciando com 2% (B2) aumentando progressivamente até 2018 quando passou a vigorar o B10 (BRASIL, Lei nº 13.263/2016). Naquele mesmo ano, ficou estabelecido o novo cronograma de evolução da mistura obrigatória em um ponto percentual ao ano, até alcançar o B15 em 2023. Porém, devido à pandemia da Covid-19, o governo brasileiro voltou a diminuir para 10% esse percentual que já estava em 13%, este quadro tem se mantido pelo Conselho Nacional de Política Energética através da resolução 04, de 09 de abril de 2021.

É amplamente abordada na literatura a existência de três gerações de biodiesel, e cada uma correspondente a diferentes fontes de matéria prima para sua produção: a primeira tem como origem os óleos derivados de vegetais; a segunda a partir de óleos não comestíveis como resíduos de fritura; e, por último, a terceira geração tem sua produção a partir dos óleos extraídos de microrganismos oleaginosos (BUŠIĆ *et al.*, 2018). Porém, já há estudos que mencionam o que seria a quarta geração: uma tecnologia baseada em energia solar de separação fotossintética de água como sistema de combustível solar fotobiológico (ZAMBARE *et al.*, 2021). Dentre os óleos não comestíveis componentes da segunda geração, pode-se citar os óleos oriundos de resíduos de pescado.

Em uma comunidade de pescadores artesanais, como a Colônia de Pescadores Z-3, o impacto positivo da conversão do resíduo em biodiesel não seria somente ambiental, mas também econômico e social. Entre processos de beneficiamento e pescados desqualificados que desembarcam na colônia, a geração de resíduos é em torno de 1.410 kg dia⁻¹, as coletas dos resíduos possuem uma periodicidade de mais de 19 dias de coleta por mês, sendo assim, são recolhidos em média 27 toneladas mensais de resíduos de peixe na localidade (DECKER, *et al.*, 2019). Esses dados foram divulgados pela empresa que recolhe os resíduos na comunidade, porém estima-se que a coleta não alcance a totalidade de resíduos gerados. Além disso, há também aqueles pescados que acabam sendo descartado antes mesmo do desembarque na comunidade, acredita-se que quase 25% de todo o pescado capturado nunca chega ao mercado (COPPOLA *et al.*, 2021). A taxa de óleo presente nos resíduos de pescado

varia de acordo com a espécie e a alimentação, porém a extração de óleo nos resíduos da comunidade é de em torno de 8% por kg de resíduo (MEDEIROS *et al.*, 2019a). A extração deste óleo é obtida através da fervura dos resíduos de peixe e pode ser convertido em biodiesel através de um processo chamado transesterificação (MEDEIROS *et al.*, 2019b. AMRUTH; SUDEV, 2019).

O processo de transesterificação para conversão de óleo de peixe em biodiesel pode ocorrer através de diversos processos biológicos e químicos, dentre eles pode-se citar: transesterificação catalisada por ácido, transesterificação catalisada por álcalis, transesterificação catalisada por enzimas, reação de transesterificação assistida por micro-ondas, e reação de transesterificação assistida por ultrassom, reação de transesterificação realizada em reator contínuo sob condições supercríticas, transesterificação com ácido seguido por transesterificação alcalina, entre outros métodos e associações de métodos complementares. A taxa de rendimento na conversão do óleo de peixe em biodiesel através de reações de transesterificação varia de 70% a 98%. (ESPOOTIN; SAMETI; ZAKER, 2021; GARCÍA-MORENO *et al.*, 2014; KUDRE; KARKAL, 2020; MEDEIROS *et al.* 2019a; 2019b; FADHIL; AL-TIKRITY; ALBADREE, 2015; FADHIL; AL-TIKRITY; ALBADREE, 2017; AMRUTH; SUDEV, 2019)

Considerando os dados divulgados pela empresa que coleta os resíduos na comunidade de Pescadores Artesanais da Colônia Z-3, mas que não abrange a totalidade gerada, a produção média de resíduos de pescado é de 27.294,67 toneladas/mês (DECKER *et al.*, 2019), tendo uma taxa média de extração de óleo de 79,4 kg ton-1 (MEDEIROS *et al.*, 2019a, 2019b) e buscando uma conversão em biodiesel utilizando o método de transesterificação ácido/base, que é a mais amplamente utilizada, com rendimento em torno de 90% e massa específica a 20°C de 875,64 kg/m³ (MOTA; FILHO; BARRETO, 2019), a produção mensal média de biodiesel na comunidade seria de aproximadamente 1707 litros por mês, conforme apresentado na tabela 1. O preço médio para biodiesel no Brasil no mês de agosto de 2022 foi de R\$ 5.832,67 por metros cúbicos (ANP, 2022), usando este valor como referencia teríamos uma média/mês de R\$ 9.954,41 a mais circulando na economia da localidade.

Tabela 1: potencial de produção de biodiesel na comunidade de pescadores da Colônia Z-3 a partir dos dados de resíduos coletados pela empresa responsável de janeiro de 2014 a março de 2015, com base na taxa média de óleo gerado a partir dos resíduos de pescado da mesma comunidade.

Período	Peso mensal (t)	Dias coletados	Kg óleo gerado mês	Biodiesel gerado (m ³)	Valor de comercialização Biodiesel BR (R\$)
jan/14	15.580	16	1237,052	0,97	R\$5.682,05
fev/14	37.230	20	2956,062	2,33	R\$13.577,84
mar/14	35.370	20	2808,378	2,21	R\$12.899,50
abr/14	28.950	18	2298,63	1,81	R\$10.558,11
mai/14	25.455	20	2021,127	1,59	R\$9.283,48
jun/14	18.565	17	1474,061	1,16	R\$6.770,69
jul/14	23.950	21	1901,63	1,50	R\$8.734,61
ago/14	30.120	21	2391,528	1,88	R\$10.984,81
set/14	29.540	21	2345,476	1,85	R\$10.773,29
out/14	29.750	22	2362,15	1,86	R\$10.849,88
nov/14	31.570	20	2506,658	1,97	R\$11.513,63
dez/14	17.580	19	1395,852	1,10	R\$6.411,46
jan/15	18.220	20	1446,668	1,14	R\$6.644,86
fev/15	23.840	14	1892,896	1,49	R\$8.694,49
mar/15	43.700	20	3469,78	2,73	R\$15.937,46
Média/mês	27.295	20	2167,19653	1,71	R\$9.954,41

Fonte: elaborado pela autora com bases nos artigos de Decker *et al.*, 2019; Medeiros *et al.*, 2019a, Medeiros *et al.*, 2019b; MOTA; FILHO; BARRETO, 2019; e ANP, 2022.

Este valor de R\$9.954,41 média/mês seria correspondente a venda de biodiesel produzido somente de óleo de peixe extraído dos resíduos da comunidade de Pescadores Z-3, se fosse descontado o custo médio de produção do biodiesel de pescado considerando os custo de produção sendo de 0,17 a 0,31 U\$ kg⁻¹ (MORAES *et al.*, 2021), se teria em torno de R\$6.840 (tabela 2) a mais circulando na economia local (adotou o custo de 0,31 U\$ kg⁻¹ e valor médio para conversão de 1 U\$ por R\$5,15).

Tabela 2: Estimativa de lucro para biodiesel produzido com óleo de peixe a partir do preço médio que para biodiesel no Brasil no mês de agosto de 2022 foi de R\$ 5.832,67 por metros cúbicos (ANP, 2022), dos custos de produção pelo valor de 0,31 U\$ kg⁻¹ (MORAES *et al.*, 2021) e valor referência para conversão de 1 dólar por 5,15 reais.

Kg óleo gerado mês*	Biodiesel gerado (kg)	Custo de produção (VP) (R\$)	Biodiesel gerado (m ³)	Valor de comercialização (VC) BiodieselBR (R\$ m ³ -1)	Lucro (VC - CP) (R\$)
1237,052	1113,35	R\$ 1.777,46	0,97	R\$ 5.682,05	R\$ 3.904,59
2956,062	2660,46	R\$ 4.247,42	2,33	R\$ 13.577,84	R\$ 9.330,43
2808,378	2527,54	R\$ 4.035,22	2,21	R\$ 12.899,50	R\$ 8.864,28
2298,63	2068,77	R\$ 3.302,79	1,81	R\$ 10.558,11	R\$ 7.255,33
2021,127	1819,01	R\$ 2.904,06	1,59	R\$ 9.283,48	R\$ 6.379,43
1474,061	1326,65	R\$ 2.118,00	1,16	R\$ 6.770,69	R\$ 4.652,68
1901,63	1711,47	R\$ 2.732,36	1,50	R\$ 8.734,61	R\$ 6.002,25
2391,528	2152,38	R\$ 3.436,27	1,88	R\$ 10.984,81	R\$ 7.548,55
2345,476	2110,93	R\$ 3.370,10	1,85	R\$ 10.773,29	R\$ 7.403,19
2362,15	2125,94	R\$ 3.394,06	1,86	R\$ 10.849,88	R\$ 7.455,82
2506,658	2255,99	R\$ 3.601,69	1,97	R\$ 11.513,63	R\$ 7.911,94
1395,852	1256,27	R\$ 2.005,63	1,10	R\$ 6.411,46	R\$ 4.405,83
1446,668	1302,00	R\$ 2.078,64	1,14	R\$ 6.644,86	R\$ 4.566,22
1892,896	1703,61	R\$ 2.719,81	1,49	R\$ 8.694,49	R\$ 5.974,68
3469,78	3122,80	R\$ 4.985,55	2,73	R\$ 15.937,46	R\$ 10.951,91
2167,196533	1950,48	R\$ 3.113,94	1,71	R\$ 9.954,41	R\$ 6.840,47

Nos valores acima mencionados (tabela 2) estão incluídos todos os custos de produção, porém os custos de implementação da usina de biodiesel não foram analisados para verificar a taxa de retorno em anos do empreendimento. Além disso, acredita-se que a produção de resíduos na comunidade seja maior do que os dados divulgados pela empresa de coleta, tendo em vista que a empresa não coleta todos os dias e as peixarias da comunidade não possuem espaço de refrigeração para resíduos e os peixes que são descartados no processo de classificação, onde são descartados os peixes desqualificados (DECKER *et al.*, 2019), não são contabilizados na comunidade. Portanto, acredita-se que um valor superior a este estaria incrementando o potencial econômico da atividade pesqueira na comunidade. A geração de biodiesel auxiliaria também no controle do pescado que atualmente é descartado na classificação, pois haveria motivação monetária aumentando o interesse dos pescadores no

desembarque desses resíduos secundários, e reduzindo a disposição inadequada destes resíduos.

Neste sentido, a empresa fabricante de biodiesel poderia rentabilizar os pescadores pelos resíduos coletados, gerando renda extra aos pescadores artesanais. Segundo Mota, Filho e Barreto (2019) estima-se que o custo médio por kg de vísceras de pescado para produção de biodiesel seja de U\$0,05 e utilizando este valor como base, a média mensal seria de U\$ 1.364,73 a mais circulando na economia da localidade, o que tornaria a atividade de produção de biodiesel inviável quando compara-se a quantidade de biodiesel produzida pelo resíduo gerado e o valor de venda do biodiesel no Brasil. Porém, o valor estimado por Mota, Filho e Barreto (2019) são para vísceras que possuem um percentual de óleo maior do que o resíduo sem separação. Segundo IASTIAQUE MARTINS *et al.*(2015) na obtenção de óleo de resíduo de tilápia foi de 22,02% para vísceras e 9,23% para cabeça. Portanto, utilizou-se este valor base para compra do óleo (kg) gerado, o que daria uma média de R\$559,00 a mais por mês na comunidade. Este valor teria um baixo impacto econômico quando divididos pela quantidade de moradores da comunidade (tabela 3).

Tabela 3: Estimativa de valores que estariam circulando na comunidade de pescadores Z-3 caso o resíduo fosse destinado para produção de biodiesel por empresa privada com pagamento por kg de resíduos. Valores de referência: U\$0,05 kg/resíduo (MOTA; FILHO; BARRETO, 2019), U\$1 equivalente a R\$5,15, valor médio de agosto/22 (Banco Central do Brasil, 2022), 3166 habitantes na colônia de pescadores Z-3 (IBGE, 2010).

Período	Peso mensal (kg)	Óleo gerado mês (kg)	Valor mensal (US\$) resíduos	Valor mensal (R\$) Resíduos	Valor venda do óleo de peixe (R\$/mês)	Valor venda do óleo de peixe (R\$/hab)
jan/14	15.580	1237	\$ 779,00	R\$ 4.011,85	R\$318,54	R\$0,10
fev/14	37.230	2956	\$ 1.861,50	R\$ 9.586,73	R\$761,19	R\$0,24
mar/14	35.370	2808	\$ 1.768,50	R\$ 9.107,78	R\$723,16	R\$0,23
abr/14	28.950	2299	\$ 1.447,50	R\$ 7.454,63	R\$591,90	R\$0,19
mai/14	25.455	2021	\$ 1.272,75	R\$ 6.554,66	R\$520,44	R\$0,16
jun/14	18.565	1474	\$ 928,25	R\$ 4.780,49	R\$379,57	R\$0,12
jul/14	23.950	1902	\$ 1.197,50	R\$ 6.167,13	R\$489,67	R\$0,15
ago/14	30.120	2392	\$ 1.506,00	R\$ 7.755,90	R\$615,82	R\$0,19
set/14	29.540	2345	\$ 1.477,00	R\$ 7.606,55	R\$603,96	R\$0,19
out/14	29.750	2362	\$ 1.487,50	R\$ 7.660,63	R\$608,25	R\$0,19
nov/14	31.570	2507	\$ 1.578,50	R\$ 8.129,28	R\$645,46	R\$0,20
dez/14	17.580	1396	\$ 879,00	R\$ 4.526,85	R\$359,43	R\$0,11
jan/15	18.220	1447	\$ 911,00	R\$ 4.691,65	R\$372,52	R\$0,12
fev/15	23.840	1893	\$ 1.192,00	R\$ 6.138,80	R\$487,42	R\$0,15
mar/15	43.700	3470	\$ 2.185,00	R\$ 11.252,75	R\$893,47	R\$0,28
Média/mês	27.295	2167	\$ 1.364,73	R\$ 7.028,38	R\$558,05	R\$0,18

Fonte: elaborado pela autora a partir dos dados gerados por Decker *et al.*, 2019; Medeiros *et al.*, 2019a; MOTA; FILHO; BARRETO, 2019; e Banco Central do Brasil, 2022.

Por tanto, somente a utilização do óleo gerado na comunidade talvez não provoque o efeito econômico desejado. Então, uma possibilidade é combinar óleos microbianos com óleo de peixe para aumento da produção de biodiesel na comunidade. Essa combinação é interessante do ponto de vista social e ambiental, tendo em vista que são fontes de óleo não comestíveis e também não seria necessária a utilização de terras férteis para produção de matéria-prima (MENG *et al.*, 2009). Além disso, a atividade agregaria valor na cadeia produtiva do pescado ao utilizar o resíduo após a extração de óleo, comumente chamada de torta, para a conversão de óleos microbianos aumentando, assim, o potencial de produção de

biodiesel na comunidade. Tendo em vista que, de acordo com Medeiros *et al.* (2019a), a taxa de óleo extraído no resíduo gerado na comunidade é somente 8%, ou seja, 92% do peso do resíduo de peixe ainda sobra nesse processo de conversão de resíduo em biodiesel, este residual da produção de biodiesel seria utilizado como meio de cultura para os microrganismos oleaginosos.

4.2.1 Biodiesel de Terceira Geração

A produção de óleos microbianos é possível a partir de microrganismos oleaginosos que são definidos como aqueles que possuem mais de 20% de lipídios microbianos em sua composição, esses lipídios provenientes dos microrganismos oleaginosos são coletivamente denominados como óleo de célula única (SCO) (KHOT; GHOSH, 2017; MENG *et al.*, 2009; CHRISTOPHE *et al.*, 2012). Por conta desta característica, esses microrganismos estão despertando o interesse mundial para produção de biodiesel a partir de seu óleo (MENG *et al.*, 2009; SUBRAMANIAM *et al.*, 2010). As leveduras oleaginosas, por exemplo, possuem alto teor de óleo e sua fração de triacilglicerol (TAG) é semelhante à dos vegetais (SUBRAMANIAM *et al.*, 2010), e esses microrganismos possuem vantagens sobre as plantas para produção de lipídios. Dentre as vantagens pode-se citar que seus ciclos de vida são mais curtos, demandam menos espaço e possuem maior facilidade de ampliação de escala (SUBRAMANIAM *et al.*, 2010). Além disso, sua aplicação não exige o uso de terras potencialmente agrícolas.

Estes microrganismos podem utilizar diversas fontes de carbono para seu desenvolvimento (SUBRAMANIAM *et al.*, 2010) e a acumulação lipídica nestes organismos é determinada pela constituição genética, podendo variar muito entre as espécies e até mesmo entre as cepas individuais. As diferentes concentrações vão variar de acordo com as condições de cultura a que forem submetidos, como, por exemplo, temperatura e pH (MENG *et al.*, 2009). E segundo Khot e Ghosh (2017) um dos desafios para alcançar o sucesso na produção de biodiesel de terceira geração é justamente a eficiência na obtenção de níveis de produção intracelular, dependendo da espécie do microrganismo e das condições a que for submetido, a quantidade de óleo acumulada pode chegar a ser de 70% do peso da sua biomassa seca (CHRISTOPHE *et al.*, 2012).

Esse acúmulo de lipídios nos microrganismos oleaginosos ocorre quando um nutriente do meio em que está inserido esgota, geralmente o nitrogênio, mas ainda há um excesso de carbono, e este na forma de glicose continua assimilado pelas células e acaba por ser

convertido em triacilgliceróis (TAG). A limitação do nitrogênio impede a proliferação celular e o lipídio gerado é armazenado dentro das células existentes, ou seja, a célula que já não pode mais se dividir acaba por acumular lipídios (MENG *et al.*, 2009). Então, é possível regular o acúmulo de lipídios dentro da célula ao ajustar a relação de carbono e nitrogênio (C:N) no meio em que o microrganismo está inserido, a manutenção da melhor condição dessa relação C:N é o mais importante para alcançar uma melhor produção de SCO (BUŠIĆ *et al.*, 2018).

Com a finalidade de se alcançar a melhor condição de produção de óleos de célula única que viabilize uma produção mais limpa de biocombustíveis, muitos experimentos de escala laboratorial estão sendo realizados. Há relatos do uso de resíduos industriais sem tratamentos prévios e fluxos de subprodutos como esgoto municipal, lodo de esgoto e efluente de moinho de óleo de palma, soro de queijo, entre outros (KHOT; GHOSH, 2017). Xue *et al.* (2008) utilizam em seu trabalho águas residuais de glutamato monossódico (MSG) como meio de cultura para produção de lipídios pela fermentação de *Rhodotorula glutinis* e mostram o efeito da adição de diferentes concentrações de glicose no meio. Já Khot e Ghosh (2017) demonstraram que é possível produzir biodiesel através do uso de óleo de célula única da levedura *Rhodotorula mucilaginosa* *IPL32* utilizando a xylose derivada do bagaço de cana-de-açúcar. Meng *et al.* (2009) ressalta que há um potencial para o desenvolvimento do biodiesel a partir de óleo de célula única, mas que somente através de estudos e melhorias biotecnológicas será possível melhorar a qualidade e o custo de produção do biodiesel, e que este fato é essencial para que possa competir com os combustíveis convencionais.

Desse modo, apesar da conversão de resíduo de pescado em biodiesel de segunda geração já ser uma possibilidade devido a quantidade e as características do óleo presentes nestes resíduos (MEDEIROS *et al.*, 2019a. NARANJO; JIMÉNEZ, 2016.), o estudo da viabilidade para conversão de resíduos de pescado em biodiesel de terceira geração pode vir a ser mais um mecanismo para o desenvolvimento de comunidades de pesca artesanal na busca por um sistema de economia circular, tendo em vista que este resíduo pode possuir em torno de 12% de nitrogênio em sua composição total (VALENTE *et al.*, 2014; VALENTE *et al.*, 2017; SERRANO *et al.*, 2013). Além disso, pode-se pensar em sistema de produção de biodiesel com óleos de diferentes fontes, pois as propriedades podem ser complementares.

4.3 Mudança de modelo na cadeia produtiva da pesca artesanal

Para Abramovay (2000) o meio rural não deve ser visto como exclusivamente produtor de bens primários, como a atividade de pesca em comunidades ribeirinhas, por exemplo, mas sim ser compreendido por um conjunto diversificado de atividades potenciais para que seus horizontes possam ser ampliados. E essa diversificação pode ser feita a partir da valorização dos saberes locais que resgatam conhecimentos tradicionais, vinculados ao território, como é o caso da pesca artesanal. Dessa forma, a atividade tradicional é mantida, mas também se abrem caminhos para novas atividades com a finalidade de promover a dinâmica do local.

Partindo desse princípio, a economia circular vem com a proposta de desenvolver novos sistemas de produção com fluxo fechado, onde os materiais retornam ao ciclo produtivo (MACHADO *et al.*, 2020). Neste sentido, a transformação de resíduos em outros produtos traria a dinâmica mencionada, a partir do melhor aproveitamento dos recursos pesqueiros fazendo uma gestão mais eficiente dos resíduos oriundos da atividade onde a disposição final inadequada poderia ser praticamente anulada, uma vez que esse resíduo passaria a ser matéria prima para geração de outro produto, com uma valoração significativa na economia local.

Além das questões ambientais, novos postos de trabalho diretos e indiretos seriam gerados no local aumentando as oportunidades aos moradores, reduzindo o êxodo local e melhorando as questões socioeconômicas da região. E assim, possibilitando também a manutenção de uma atividade econômica e cultural que é a pesca artesanal. É fundamental também a compreensão que os custos de transporte, um dos que são mais pronunciados quando falamos em resíduos de pescado, são reduzidos ao ter-se o beneficiamento na comunidade, podendo tornar a produção do biodiesel mais viável. Além da diminuição das emissões dos gases do efeito estufa durante o transporte destes resíduos.

Dentre as possibilidades para transformação de resíduos oriundos da pesca temos, por exemplo, a produção de farinha de peixe (DOS SANTOS *et al.*, 2017) ou a compostagem (VALENTE *et al.*, 2017; VALENTE *et al.*, 2021) que é de baixa complexidade e com menores custos de investimento. A quitina é um exemplo a partir de resíduos oriundos da pesca de crustáceos, também praticada na Colônia de Pescadores Z-3, ela é um biopolímero extraído do exoesqueleto do camarão e pode ser usado na remoção de corante azul de metileno (OTTO *et al.*, 2021). Além disso, temos a obtenção de óleo de peixe (MEDEREIROS *et al.*, 2019a) para produção de biodiesel a partir do resíduo da comunidade Z-3 (MEDEREIROS *et al.*, 2019b) que é a destinação proposta por este trabalho, pois além de auxiliar na diminuição do uso de diesel oriundo do petróleo, é um produto final que poderia

ser utilizado na própria atividade pesqueira abastecendo as embarcações e assim fechando o ciclo produtivo da atividade, conforme fig. 3 :

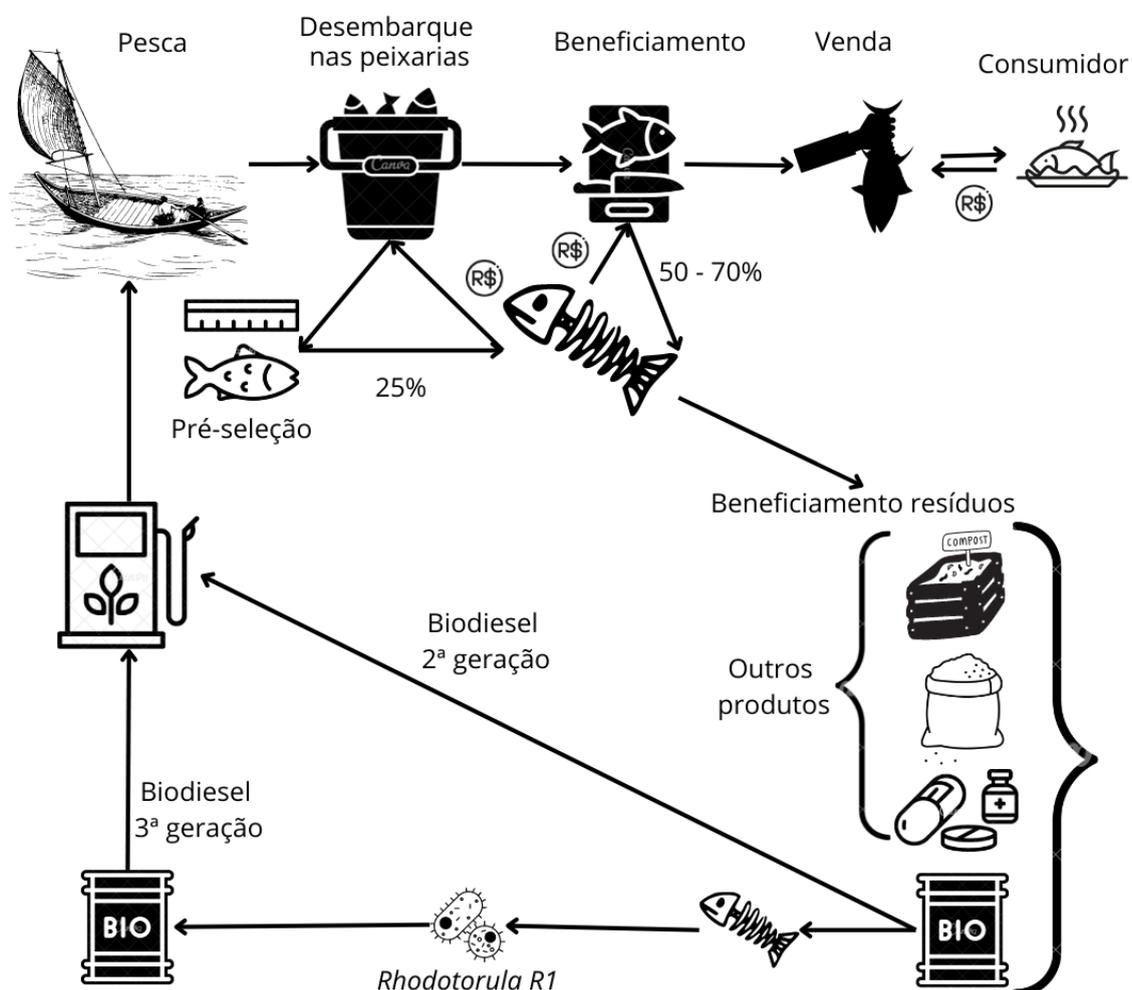


Figura 3: Proposta de alteração do sistema produtivo da pesca artesanal para um sistema de fluxo fechado com aproveitamento de resíduos para produção de biodiesel de 2ª e 3ª geração.

O novo sistema produtivo visa melhores oportunidades para comunidades de pesca artesanal e busca valorizar a força de trabalho do pescador onde, a partir do uso de resíduos oriundo da atividade, é possível a obtenção um produto passível de uso pelos próprios pescadores, neste contexto a cadeia produtiva estaria inserida em um sistema de economia circular.

4 Conclusão

Devido aos impactos ambientais que podem ser ocasionados pelo descarte inadequado dos resíduos produzidos pela pesca e das dificuldades de manutenção da atividade de pesca artesanal faz-se necessário repensar o modelo linear praticado, já que o mesmo não tem se mostrado efetivo para a sustentabilidade da atividade. A mudança do modelo atual é urgente e necessária, com a perspectiva de utilização do resíduo gerado para a produção em outros produtos que podem gerar renda, interesse na utilização do resíduo, e postos de trabalho na comunidade.

O biodiesel é um produto que reduz as emissões de gases do efeito estufa quando comparado aos combustíveis fósseis e, além disso, o uso de resíduos para conversão energética pode ser uma possibilidade interessante, pois o que anteriormente era visto como descartável passa a ser matéria-prima, e busca-se a melhor utilização dos recursos já presentes na crosta terrestre.

Os lipídios microbianos aparecem como uma alternativa interessante por terem ciclos mais curtos do que as produções de óleos vegetais e por não utilizarem de terras férteis, sua geração pode ocorrer a partir de resíduos. Porém ainda são necessários estudos sobre melhor relação C:N para que se consiga alcançar maiores concentrações de óleo e estudos sobre a viabilidade econômica de projetos para fabricação em larga escala.

Além disso, para a efetivação de um novo modelo econômico na cadeia produtiva da pesca é necessário que no processo de planejamento do produto, neste caso o pescado, já se tenha previsto o tratamento e aproveitamento do resíduo gerado. Neste sentido, a conversão dos resíduos de pescado em biodiesel, bem como outras alternativas, pode vir a ser uma fonte de renda extra para as comunidades pesqueiras, além de ser um produto que tem aplicabilidade na localidade, podendo ser usado em suas próprias embarcações. Para isso, deve-se pensar não só no processo de produção, mas após sua utilização como produto final, para que assim complete-se o ciclo do produto, onde ele é fabricado, consumido/utilizado e reutilizado para fabricação de outros. A diversificação da utilização do resíduo deve ser pensada de acordo com o interesse da comunidade e também das condições de investimento e acompanhamento técnico.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Finanças 001, e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referencial bibliográfico

ABRAMOVAY, R. O capital social dos territórios: repensando o desenvolvimento rural. **Economia Aplicada**, n. 2, v. IV, p. 379-397, abril/junho, 2000.

AGUIAR, G. P.; LIMBERGER, G.; SILVEIRA, É. Alternativas tecnológicas para o aproveitamento de resíduos provenientes da industrialização de pescados. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 1, p. 225-229, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265049992_ALTERNATIVAS_TECNOLOGICAS_PARA_O_APROVEITAMENTO_DE_RESIDUOS_PROVENIENTES_DA_INDUSTRIALIZACAO_DE_PESCADOS>. Acesso em: dez 2019.

ALVES, D. C.; MOURA, R. L. de; VERA, C. V. M. Estimativa da captura total: desenhos amostrais para pesca artesanal. **Interciencia**, v. 37, n. 12, p. 899-905, 2012.

AMANAJÁS, V. V. de V. Pesca e perfil socioeconômico dos pescadores artesanais da fronteira setentrional do Brasil: a comunidade pesqueira de Oiapoque, Amapá. **Confins [Online]**, v. 37, out 2018. DOI: 10.4000/confins.15619. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/15619>. Acesso em: 02 maio 2019.

AMRUTH, E.; SUDEV, L. J. Optimization of Transesterification Reaction Parameters For Fish Oil Biodiesel Production: A Response Surface Methodology Approach. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1240, 012140, 2019. DOI:10.1088/1742-6596/1240/1/012140.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2019. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro: ANP, 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/5237-anuario-estatistico-2019>. Acesso em: 07 abril 2020

BRASIL. Lei 11.959, de 29 de junho de 2009. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras, revoga a Lei no 7.679, de 23 de novembro de 1988, e dispositivos do Decreto-Lei no 221, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 jun 2009.

BUŠIĆ, A. *et al.* Recent Trends in Biodiesel and Biogas Production. **Food technology and biotechnology**, v. 5, n. 2, p. 152–173, 2018. DOI:10.17113/ftb.56.02.18.5547.

CARDOSO, E. S. Trabalho e Pesca: Apontamentos para a Investigação. **Revista Pegada Eletrônica**, Presidente Prudente, vol. 10, n. 2, 31 dez. 2009. Disponível em: <http://www.fct.unesp.br/ceget/pegada102/05eduardo1002.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2019.

CHRISTOPHE, G. *et al.* Recent developments in microbial oils production: a possible alternative to vegetable oils for biodiesel with out competition with human food?. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Curitiba, v. 55, n. 1, p. 29-46, jan./feb. 2012. DOI: 10.1590/S1516-89132012000100004.

CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. Tradução de Luciana de Oliveira da Rocha. - 2. ed. - Porto Alegre: Artmed, 2007. 248 p.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA – CNPE. Resolução nº 4, de 9 de abril de 2021. Estabelece como de interesse da Política Energética Nacional a redução do teor de mistura obrigatória do biodiesel no óleo diesel fóssil de 13% (treze por cento) para 10% (dez por cento), no 79º Leilão de Biodiesel. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 abril 2021.

CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO. **Portal da Transparência**: Detalhamento do Benefício Seguro Defeso para Brasil, Rio Grande do Sul e Pelotas no ano de 2010. Disponível em: <http://www.transparencia.gov.br/beneficios?ano=2020>. Acesso em: 25 de março de 2021.

COPPOLA D, LAURITANO C, PALMA ESPOSITO F, RICCIO G, RIZZO C, DE PASCALE D. Fish Waste: From Problem to Valuable Resource. **Marine Drugs**, v. 19, n.2, 116, 2021. Doi:10.3390/md19020116.

DAW, T.; CINNER, J.; MCCLANAHAN, T.; BROWN, K.; STEAD, S.; GRAHAM, N.; MAINA, J. To Fish or Not to Fish: Factors at Multiple Scales Affecting Artisanal Fishers' Readiness to Exit a Declining Fishery. **PLOS One**, v. 7 (2): e31460, 2012. DOI:10.1371/journal.pone.0031460. 10.1371/journal.pone.0031460.

DECKER, A. T.; OTTO, I. M.; ANDREAZZA, R. Diagnóstico dos processos da cadeia produtiva do pescado e o gerenciamento dos resíduos sólidos: estudo de caso de uma tradicional peixaria da colônia de pescadores Z-3 – Pelotas/RS. In: XVII ENPOS, Universidade Federal de Pelotas, 2015, Pelotas. Anais eletrônicos do XVII ENPOS. Pelotas: UFPel, 2015. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/enpos/anais/anais2015/>> Acesso em: 20 de outubro de 2018.

DECKER, A. T. Gestão Socioambiental de Comunidade de Pescadores Artesanais Colônia de Pescadores Z-3, Pelotas/RS. 2016. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Territorial e

Sistemas Agroindustriais) – Faculdade de Administração e Turismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

DECKER, A.; ANDREAZZA, R.; OTTO, I.; PRATES, R.; MAEHLER, A.; NASCIMENTO, S.; QUADRO, M.; NADALETTI, W. Cadeia Produtiva Da Pesca Artesanal E Gestão Ambiental: Crise E Oportunidade Em Uma Comunidade No Sul Do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S. l.], v. 15, n. 5, 2019. DOI: 10.54399/rbgdr.v15i5.5040.

DIEGUES, A. C. S. **Pescadores, camponeses e trabalhadores do mar**. São Paulo: Editora Ática, 1983.

DIEGUES, A. C. S. **A pesca construindo sociedades**. São Paulo: NUPAB/USP, 2004.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Rumo À Economia Circular: O Racional De Negócio Para Acelerar A Transição. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/publicacoes>>. Acesso em: 10 de outubro de 2018.

DOS SANTOS, W.M.; VALENTE, B. S.; NADALETTI, W. C.; QUADRO, M. S.; PIENIZ, S.; ANDREAZZA, R.; DEMARCO, C. F. Production of flour as a tool for valuation of the fish residues. **Ciência e Natura**, Santa Maria v.39 n.3, 2017, Set - Dez, p. 767 – 771. DOI:10.5902/2179460X28032.

ESPOOTIN, S.; SAMETI, M.; ZAKER, S. Biodiesel from fish waste oil: synthesis via super critical methanol and thermodynamic optimization. **Clean Energy**, 2021, Vol. 5, No. 2, 187–195

FADHIL, A. B.; AL-TIKRITY, E. T. B.; ALBADREE, M. A. Transesterification of a novel feedstock, Cyprinus carpio fish oil: Influence of co-solvent and characterization of biodiesel. **Fuel**, v. 162, p. 215–223, 2015. DOI:10.1016/j.fuel.2015.09.001.

FADHIL, A. B.; AL-TIKRITY, E. T. B.; ALBADREE, M. A. Biodiesel production from mixed non-edible oils, castor seed oil and waste fish oil. **Fuel**, v. 210, p. 721–728, 2017. DOI:10.1016/j.fuel.2017.09.009.

FÉLIX, I.B.; SOUZA, L L. R. de; DE SÁ, R. J. da S.; AIRES, G. C. M. A importância da biomassa para a geração de energia: aspectos econômicos e ambientais. **Multidisciplinary Reviews**, V.2, Ago/ 2019.

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

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pelotas/panorama>. Acesso em: 31 mar. 2020.

IASTIAQUE MARTINS, G.; SECCO, D.; TOKURA, L. K.; BARICCATTI, R. A.; DOLCI, B. D.; SANTOS, R. F. Potential of tilapia oil and waste in biodiesel production, *Renew. Sustain. Energy Rev.* (2015). doi:10.1016/j.rser.2014.10.020.

KARKAL, S. S.; KUDRE, T. G. Valorization of fish discards for the sustainable production of renewable fuels. *Journal of Cleaner Production* 275 (2020) 122985, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122985>

KHOT, M.; GHOSH, D. Lipids of *Rhodotorula mucilaginosa* IPL32 com potencial de biodiesel: Rendimento do óleo, perfil de ácidos graxos, propriedades dos combustíveis. *J Microbiol Básico*, v. 57, p. 345-352, 2017, doi:10.1002/jobm.201600618.

LEITÃO, Alexandra. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*. ISSN: 2183-3826, v. 1, n. 2, set/2015.

LOPES, K.; MARTINS, E. M.; MIRANDA, R. L. de. A Potencialidade Energética da Biomassa no Brasil. *Revista Desenvolvimento Socioeconômico em debate*, v.5, n.1, 2019.

MA, Y.; GAO, Z.; WANG, Q.; LIU, Y. Biodiesels from microbial oils: Opportunity And Challenges. *Bioresource Technology*, v. 263, p. 631-641, ISSN 0960-8524, 2018. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.05.028.

MACHADO, T. M; CATAPRETA, L. de C.; FURLAN, É. F.; NEIVA, C. R. P. ECONOMIA CIRCULAR E RESÍDUO DE PESCADO. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, v.55, n.4, dez/2020, doi: 10.5327/Z2176-947820200677.

MACUSI, EDISON D; MORALES, ILAH DIANNE G; MACUSI, ERNA S.; PANCHO, AIJELYN; DIGAL, LARRY N. Impact of closed fishing season on supply, catch, price and the fisheries market chain. *Marine Policy*, v. 138, 2022, 105008, ISSN 0308-597X. Doi:10.1016/j.marpol.2022.105008.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 8 ed. São Paulo: Ed. Atlas S.A., 2017.

MEDEIROS, E. F.; VIEIRA; B. M.; PEREIRA, C. M. P.; NADALETI, W. C.; QUADRO; M. S.; ANDREAZZA, R. Production of biodiesel using oil obtained from fish processing residue by conventional methods assisted by ultrasonic waves: Heating and stirring. *Renewable Energy*, v. 143, p. 1357-1365, 2019a.

- MEDEIROS; E. F.; AFONSO, M DA S.; DOS SANTOS, M. A. Z.; BENTO, F. M.; QUADRO; M. S.; ANDREAZZA, R. Physicochemical characterization of oil extraction from fishing waste for biofuel production. **Renewable Energy**, v. 143, p. 471-477, 2019b.
- MENG, X. *et al.* Biodiesel production from oleaginous microorganisms, *Renewable Energy*, v. 34, n. 1, p. 1-5, 2009, doi: 10.1016/j.renene.2008.04.014.
- MICHEL, J. de O. **Jornalismo Comunitário na construção, compartilhamento e permanência das Memórias Sociais: O caso do Jornal “O Pescador” na/da Colônia de Pescadores Z-3/Pelotas**. 2018. 204 f. Tese (Doutorado em Memória Social e Patrimônio Cultural) - Programa de Pós-Graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.
- MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. **Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/176-recursos-hidricos>>. Acesso em: 10 jun. 2019.
- MORAES, P. S.; ENGELMANN, J. I.; IGANSI, A. V.; CADAVAL JR, T. R. S.; PINTO, L.A.DE A. Nile tilapia industrialization waste: Evaluation of the yield, quality and cost of the biodiesel production process. **Journal of Cleaner Production**, v. 287, 125041, 2021. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.125041.
- MOTA, F. A. S.; COSTA FILHO, J.T.; BARRETO, G. A. The Niletilapia viscera oil extraction for biodiesel production in Brazil: An economic analysis. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 108, p.1-10, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.035>.
- NARANJO, L. M.P.; JIMÉNEZ, C. A. S. Aprovechamiento de las vísceras de pescado como fuente de energía para minimizar el problema de contaminación ambiental del sector piscícola. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, v. 7, n. 2, 3 jun. 2016.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Programa das Nações Unidas para o Ambiente. Tornando o Relatório Azul 2020: A pegada ambiental do Sistema das Nações Unidas e os esforços para reduzi-la. Genebra: UNEP, 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplirlos objetivos de desarrollo sostenible. Roma, 2018.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. **La sostenibilidad en acción**. Roma, 2020, ISSN 2663-8649 DOI: 10.4060/ca9229es

- OTTO, Iliane Müller. Valorização de resíduos de pescado visando a sustentabilidade de uma colônia de pescadores. 2017. 136f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais, Faculdade de Administração e Turismo e Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.
- OTTO, I. M.; MORSELLI, L. B. G. A.; BUNDE, D. A. B.; PIENIZ, S.; QUADRO, M. S.; ANDREAZZA, R. Adsorption of methylene blue dye by different methods of obtaining shrimp residue chitin. **Brazilian Journal of Environmental Sciences** (Online), Rio de Janeiro, v. 56, n. 4, p. 589–598, 2021. DOI: 10.5327/Z217694781170.
- SANGUINO, R., BARROSO, A., FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, S. SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, M. I. Current Trends in economy, sustainable development, and energy: a circular economy view. **Environ Sci Pollut Res**, v. 27, p. 1–7, 2020, doi: 10.1007/s11356-019-07074-x
- SERRANO, A., SILES, J. A., CHICA, A. F., MARTÍN, M. A. Agri-food waste valorization through anaerobic co-digestion: fish and strawberry residues. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 125-132, 2013, ISSN 0959-6526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.05.002.
- SUBRAMANIAM, R. *et al.* Microbial lipids from renewable resources: production and characterization. **J Ind Microbiol Biotechnol**, v.37, p.1271–1287, 201, doi: 10.1007/s10295-010-0884-5.
- VALENTE, B. S., XAVIER, E. G., PEREIRA, H. da S., PILOTTO, M. V. T. COMPOSTAGEM NA GESTÃO DE RESÍDUOS DE PESCADO DE ÁGUA DOCE. **Bol. Inst. Pesca**, São Paulo, 40(1): 95 –103, 2014.
- VALENTE, B. S., ANDREAZZA, R., XAVIER, E. G., GOMES, M. C., PEREIRA, H. da S., ÁVILA, F. D. Composting for valuation of marine fish waste. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 18, n. 4, p. 594-603, 2017. ISSN 1519-9940. DOI: 10.1590/S1519-99402017000400010.
- VALENTE, B. S.; OTTO, I. M.; DEMARCO, C. F.; BUNDE, D. A. B.; ÁVILA, F. D.; GUIDONI, L. L. G.; PIENIZ, S.; CORREA, R. K.; ANDREAZZA, R. Composting of fish waste and its phytotoxicity effects. **Journal of environmental science and health, PART A** 2021, v. 56, n. 10, 1051–1057. DOI:10.1080/10934529.2021.1961541.
- VIDAL, M. F. Produção e Uso de Biocombustíveis no Brasil. **Caderno Setorial ETENE**, ano 4, n.79, maio/2019.

XUE, F. *et al.* Studies on lipid production by *Rhodotorula glutinis* fermentation using monosodium glutamate wastewater as culture medium. *Bioresour. Technol.*, v. 99, p. 5923–5927, 2008.

ZAMBARE, V.; PATANKAR, R.; BHUSARE, B.; CHRISTOPHER, L. Recent Advances in Feedstock and Lipase Research and Development towards Commercialization of Enzymatic Biodiesel. *Processes*, v. 9, n. 10, 1743, 2021. Doi:/10.3390/pr9101743

WAGNER, G. P.; DA SILVA, L. A. A pesca e o pescador: por uma haliêutica historicizada. *Oficina do Historiador*, v. 13, n. 1, p. e36763, 13 jun. 2020.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho abordou problemáticas atuais como a possível escassez de recursos, emissão de gases de efeito estufa por combustíveis oriundos do petróleo, geração de resíduos em larga escala e crise na cadeia produtiva da pesca artesanal. A partir do estudo dessas questões buscou-se uni-los através da utilização do resíduo pescado para produção de óleo da levedura *Rhodotorula R1* visando melhores condições socioambientais nas comunidades de pesca artesanal.

A partir dos experimentos realizados, o presente estudo comprovou que a levedura *Rhodotorula R1* se desenvolveu e acumulou lipídios quando combinada com o resíduo de pescado após extração de óleo de peixe. Dentre as combinações realizadas, o tratamento T1 que continha 5% de resíduo suplementado com glucose (20 g L⁻¹) foi o que obteve melhor resultado (em torno de 14%), porém ainda são necessários estudos futuros buscando uma melhor relação C/N para que se obtenham maiores teores lipídicos nas células.

Tendo em vista que geralmente as abordagens dos trabalhos com óleo de célula única são relacionadas ao uso de resíduos lignocelulósicos como fonte de carbono suplementada com nitrogênio comercial, a principal contribuição desse experimento está relacionada ao uso do resíduo de pescado como fonte principal de nitrogênio. Conforme mencionado anteriormente, o tratamento T5 continha os mesmos 5% de resíduo de pescado suplementado com glucose (20 g L⁻¹), porém com o acréscimo de peptona e extrato de levedura como fontes de nitrogênio, e após as análises realizadas verificou-se que não houve efeito significativo entre os tratamentos. Portanto, concluiu-se que o resíduo de pescado é uma fonte de nitrogênio promissora para a levedura *Rhodotorula R1*, podendo ser combinada com resíduos ricos em açúcares visando a diminuição dos custos de produção.

A composição do óleo gerado foi semelhante aos encontrados na literatura, realizou-se a reação de transesterificação com este óleo e após análises FTIR foi possível verificar que a conversão do óleo em biodiesel de 3ª geração foi efetiva, porém não foram realizadas outras análises físico-químicas, portanto a qualidade deste biodiesel ainda é desconhecida.

Para finalizar, este trabalho propôs mostrar um novo modelo para a pesca artesanal, adicionando o valor do resíduo de pescado, e seu próprio uso para transformação em outros produtos, o que é visto em grande parte como um

problema poderia fazer parte da cadeia produtiva da pesca agregando valor ao trabalho do pescador artesanal, gerando mais oportunidades de emprego e renda nas comunidades. Além disso, ao transformar esse resíduo em biodiesel de 2ª e 3ª geração a atividade pesqueira estaria saindo do seu processo produtivo linear em direção a um sistema econômico circular onde o produto gerado através dos resíduos poderia retornar ao pescador para ser utilizado nas embarcações e ou venda, gerando renda e emprego a comunidade. O impacto ambiental positivo seria multiplicado ao dar uma destinação mais branda ao resíduo, não precisando realizar deslocamentos através de caminhões por longas distâncias e seria realizada a ciclagem de matérias produzindo um biocombustível mais sustentável em busca de uma melhor gestão dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, G. P.; LIMBERGER, G.; SILVEIRA, É. Alternativas tecnológicas para o aproveitamento de resíduos provenientes da industrialização de pescados. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 1, p. 225-229, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265049992_ALTERNATIVAS_TECNOLOGICAS_PARA_O_APROVEITAMENTO_DE_RESIDUOS_PROVENIENTES_DA_INDUSTRIALIZACAO_DE_PESCADOS>. Acesso em: dez 2019.
- ALVES, D. C.; MOURA, R. L. de; VERA, C. V. M. Estimativa da captura total: desenhos amostrais para pesca artesanal. **Interciencia**, v. 37, n. 12, p. 899-905, 2012.
- ALVES, J. E. D. Sustentabilidade, Aquecimento Global e o Decrescimento Demo-econômico. **Revista Espinheiro | UFVJM**, p. 4-16, mar. 2017. ISSN 2317-0611. Disponível em: <http://www.revistaespinhaco.com/index.php/journal/article/view/44>. Acesso em: 12 maio 2020.
- AMANAJÁS, V. V. de V. Pesca e perfil socioeconômico dos pescadores artesanais da fronteira setentrional do Brasil: a comunidade pesqueira de Oiapoque, Amapá. **Confins [Online]**, v. 37, out 2018. DOI: 10.4000/confins.15619. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/15619>. Acesso em: 02 maio 2019.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2019**. Agencia Nacional do Petróleo,

Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro: ANP, 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/5237-anuario-estatistico-2019>. Acesso em: 07 abril 2020.

_____. **Biocombustíveis**. 2020a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>>. Acesso em: 04 abril 2020.

_____. **Biodiesel**. 2020b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 04 abril 2020.

BRASIL. Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 fev 1998.

_____. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, n. 10, p. 8, 14 jan. 2005. DOU 14.1.2005.

_____. Lei 11.959, de 29 de junho de 2009. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras, revoga a Lei no 7.679, de 23 de novembro de 1988, e dispositivos do Decreto-Lei no 221, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 jun 2009.

BUŠIĆ, A. *et al.* Recent Trends in Biodiesel and Biogas Production. **Food technology and biotechnology**, v. 5, n. 2, p. 152–173, 2018. DOI:10.17113/ftb.56.02.18.5547.

CARDOSO, E. S. Trabalho e Pesca: Apontamentos para a Investigação. **Revista Pegada Eletrônica**, Presidente Prudente, vol. 10, n. 2, 31 dez. 2009. Disponível em: <http://www.fct.unesp.br/ceget/pegada102/05eduardo1002.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2019.

CHATTOPADHYAY, A., MAITI, M.K. Lipid production by oleaginous yeasts. **Advances in Applied Microbiology**, v. 116, p. 1-98, 2021. DOI: 10.1016/bs.aambs.2021.03.003.

CHRISTOPHE, G. *et al.* Recent developments in microbial oils production: a possible alternative to vegetable oils for biodiesel without competition with human food?. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Curitiba, v. 55, n. 1, p. 29-46, jan./feb. 2012. DOI: 10.1590/S1516-89132012000100004. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132012000100004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 15 mai. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA – CNPE. Resolução nº 4, de 9 de abril de 2021. Estabelece como de interesse da Política Energética Nacional a redução do teor de mistura obrigatória do biodiesel no óleo diesel fóssil de 13% (treze por cento) para 10% (dez por cento), no 79º Leilão de Biodiesel. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 abril 2021.

CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO. **Portal da Transparência**: Detalhamento do Benefício Seguro Defeso para Brasil, Rio Grande do Sul e Pelotas no ano de 2010. Disponível em: <http://www.transparencia.gov.br/beneficios?ano=2020>. Acesso em: 25 de março de 2021.

COPPOLA D, LAURITANO C, PALMA ESPOSITO F, RICCIO G, RIZZO C, DE PASCALE D. Fish Waste: From Problem to Valuable Resource. **Marine Drugs**, v. 19, n.2, 116, 2021. Doi:10.3390/md19020116.

DECKER, A.T.; RODRIGUES, E.A.; ALMEIDA, J.C.; QUADRO, M.S.; LEANDRO, D.; ANDREAZZA, R. BARCELOS, A.A. Avaliação dos possíveis impactos ambientais dos resíduos de pescado na localidade de Pelotas/RS. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.2, n.1, p.1-10, jul. 2016.

DECKER, A.; ANDREAZZA, R.; OTTO, I.; PRATES, R.; MAEHLER, A.; NASCIMENTO, S.; QUADRO, M.; NADALETTI, W. Cadeia Produtiva Da Pesca Artesanal E Gestão Ambiental: Crise E Oportunidade Em Uma Comunidade No Sul Do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S. l.], v. 15, n. 5, 2019. DOI: 10.54399/rbgdr.v15i5.5040.

DIEGUES, A. C. S. **Pescadores, camponeses e trabalhadores do mar**. São Paulo: Editora Ática, 1983.

DIEGUES, A C. S. **A pesca construindo sociedades**. São Paulo: NUPAB/USP, 2004.

DI FIDIO, N.; MINONNE, F.; ANTONETTI, C.; RASPOLLI GALLETTI, A.M. *Cutaneotrichosporon oleaginosus*: A Versatile Whole-Cell Biocatalyst for the Production of Single-Cell Oil from Agro-Industrial Wastes. **Catalysts**, 2021, 11, 1291. DOI: 10.3390/catal11111291.

FAVARETO, A. da S. **Paradigmas do desenvolvimento rural em questão - do agrário ao territorial**. 2006. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Ciência

Ambiental, University of São Paulo, São Paulo, 2006. DOI:10.11606/T.90.2006.tde-24042008-113514. Acesso em: 01 jun. 2020.

FAVARETO, A da S. A abordagem territorial do desenvolvimento rural-mudança institucional ou "inovação por adição"? **Estudos avançados**. São Paulo, v. 24, n. 68, p. 299-319, 2010.

FAVARETO, A da S. A dimensão territorial do desenvolvimento brasileiro recente e os vetores de uma transição ecológica nos marcos da Agenda 2030. **INFORME GEPEC (ONLINE)**. v. 23, p. 172-190, ISSN: 1679-415X, 2019.

GOULART, S. O conhecimento local: produção, desafios e embates. **Revista de Estudos Organizacionais e Sociedade: Núcleo de estudos organizacionais e sociedade**, Belo Horizonte: UFMG, v. 05, N. 12, p. 268-296, abril 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pelotas/panorama>. Acesso em: 31 mar. 2020.

INSS – Instituto Nacional do Seguro Social. **Benefícios: Seguro Desemprego do Pescador Artesanal**. Disponível em: <https://www.inss.gov.br/beneficios/seguro-desemprego-do-pescador-artesanal/>. Acesso em: 01 abr. 2020.

KHOT, M.; GHOSH, D. Lipids of *Rhodotorula mucilaginosa* IIP32 com potencial de biodiesel: Rendimento do óleo, perfil de ácidos graxos, propriedades dos combustíveis. **J Microbiol Básico**, v. 57, p. 345-352, 2017. DOI: 10.1002/jobm.201600618.

MA, Y.; GAO, Z.; WANG, Q.; LIU, Y. Biodiesels from microbial oils: Opportunity and challenges. **Bioresource Technology**, v. 263, p. 631-641, ISSN 0960-8524, 2018. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.05.028.

MACUSI, E. D.; MORALES, I. D.G.; MACUSI, E. S.; PANCHO, A.; DIGAL, L. N. Impact of closed fishing season on supply, catch, price and the fisheries market chain. **Marine Policy**, v. 138, 2022, 105008, ISSN 0308-597X. DOI:10.1016/j.marpol.2022.105008.

MARTINS, W. S. **Inquérito exploratório referente à geração, armazenamento, transporte e descarte de resíduos em indústrias de pesca no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MEDEIROS, E. F. de *et al.* Production of biodiesel using oil obtained from fish processing residue by conventional methods assisted by ultrasonic waves: Heating and stirring. **Renewable Energy**, v. 143, p. 1357-1365, 2019a.

MEDEIROS, E. F. de *et al.* Physicochemical characterization of oil extraction from fishing waste for biofuel production. **Renewable Energy**, v. 143, p. 471-477, 2019b.

MENG, X. *et al.* Biodiesel production from oleaginous microorganisms, **Renewable Energy**, v. 34, n. 1, p. 1-5, 2009. DOI: 10.1016/j.renene.2008.04.014.

MICHEL, J. de O. **Jornalismo Comunitário na construção, compartilhamento e permanência das Memórias Sociais: O caso do Jornal “O Pescador” na/da Colônia de Pescadores Z-3/Pelotas**. 2018. 204 f. Tese (Doutorado em Memória Social e Patrimônio Cultural) - Programa de Pós-Graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. **Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-m-eio-ambiente/176-recursos-hidricos>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible**. Roma, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción**. Roma, 2020, ISSN 2663-8649 DOI: 10.4060/ca9229es

OTTO, Iliane Müller. **Valorização de resíduos de pescado visando a sustentabilidade de uma colônia de pescadores**. 2017. 136f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais, Faculdade de Administração e Turismo e Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

PATEL, A., Arora, N., Sartaj, K., Pruthi, V., Pruthi, P., Sustainable biodiesel production from oleaginous yeasts utilizing hydrolysates of various non-edible lignocellulosic biomasses. **Renewable Sustainable Energy Rev.**, v. 62, p. 836–855, 2016.

RAMBO, A. G.; MICHAELSEN, A. M.; SCHNEIDER, S. Produção de Agroenergia pela Agricultura Familiar: a contribuição dos “pequenos” empreendimentos aos

“grandes” problemas atuais. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v.34, n.125, p.163-189, jul./dez. 2013.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. **Estudos Avançados: Dossiê Energia**, São Paulo: USP, v.21, n.59, p.21-38, 2007.

SACHS, I. Entering the anthropocene: ‘Geonauts’ or sorcerer’s apprentices? **Social Science Information**, v.50, n.3–4, p.462–471, 2011. DOI: 10.1177/0539018411411028.

SILVA, L. A. da. Com o vento a lagoa vira mar: uma etnoarqueologia da pesca no litoral norte do RS. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 10, n. 2, p. 537-547, 2015.

SUBRAMANIAM, R. *et al.* Microbial lipids from renewable resources: production and characterization. **J Ind Microbiol Biotechnol**, v.37, p.1271–1287, 2010. DOI: 10.1007/s10295-010-0884-5.

VEIGA, J. E. da. A face territorial do desenvolvimento. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, vol. 3, n. 5, set. 2002.

VEIGA, J. E. da. Destinos da ruralidade no processo de globalização. **Estudos avançados**, São Paulo , v. 18, n. 51, p. 51-67, Ago. 2004. DOI: 10.1590/S0103-40142004000200003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142004000200003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 01 jun. 2020.

VIDAL, M. F. Produção e Uso de Biocombustíveis no Brasil. **Caderno Setorial ETENE**, ano 4, n.79, maio/2019.

XUE, F. *et al.* Studies on lipid production by *Rhodotorula glutinis* fermentation using monosodium glutamate wastewater as culture medium. **Bioresour. Technol.**, v. 99, p. 5923–5927, 2008.

ZAMBARE, V.; PATANKAR, R.; BHUSARE, B.; CHRISTOPHER, L. Recent Advances in Feedstock and Lipase Research and Development towards Commercialization of Enzymatic Biodiesel. **Processes**, v. 9, n. 10, 1743, 2021. Doi:/10.3390/pr9101743

WANDERLEY, M.N.B. A emergência de uma nova ruralidade nas sociedades modernas avançadas; o rural como espaço singular e ator coletivo. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v.15, p. 87-145, 2000.