

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA
MBA – GESTÃO E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

**BIVALVES NO MERCADO DE CARBONO: POSSIBILIDADES E
PERSPECTIVAS DESSE RECURSO INEXPLORADO.**

SARAH ALEGRETTI MARQUES LIMA

Primeiro ciclo/2021

SARAH ALEGRETTI MARQUES LIMA

**BIVALVES NO MERCADO DE CARBONO: POSSIBILIDADES E
PERSPECTIVAS DESSE RECURSO INEXPLORADO.**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de MBA em Gestão e Tecnologias
Ambientais – MBA – USP.

Área de Concentração: Gestão e Tecnologias
Ambientais – MBA - USP

SÃO PAULO/2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, eu gostaria de agradecer à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pelos conhecimentos adquiridos durante o curso que me tornam hoje uma profissional oceanógrafa mais completa, e por todo o suporte, especialmente da professora Letícia, nos fóruns e desenvolvimento de atividades.

Deixo aqui registrado os meus agradecimentos ao meu orientador, o professor Luiz Antônio Abdalla, que com grande paciência me ajudou a navegar em territórios poucos explorados no Brasil para que eu trouxesse neste trabalho uma proposta de projeto único, que reúne meus conhecimentos prévios sobre o setor da aquicultura e os conhecimentos adquiridos durante os dois anos de MBA em gestão e tecnologias ambientais.

Apesar de não ter podido conhecê-los pessoalmente devido à crise sanitária mundial, agradeço aos colegas de curso com os quais interagi durante os trabalhos de grupo. Esta turma extremamente heterogênea fez com que eu tivesse sempre o aporte de especialistas de diferentes setores para solucionar problemas cujas respostas eu não possuía, o que foi fundamental para o meu sucesso durante os módulos. E fica meu reconhecimento especial à minha amiga Jussara, que em meio à troca de mensagens por WhatsApp e trabalhos de Avaliação de Impacto Ambiental, passou muitas noites acordada estudando comigo.

Finalmente, não posso deixar de agradecer à minha família que sempre me apoiou em todas as minhas decisões profissionais, e sempre esteve comigo em todas as fases do meu crescimento como oceanógrafa. A eles dedico, como sempre, todas as minhas conquistas, porque sempre crescemos juntos enquanto profissionais e pessoas.

GLOSSÁRIO

Animais exotérmicos – são aqueles animais que precisam de fontes externas para manutenção de sua temperatura corporal.

Calcinação – é o tratamento de remoção da água, CO₂ e de outros gases fortemente ligados a substâncias, tais como, hidratos e carbonatos a fim de, por exemplo, remover compostos voláteis em uma amostra, dentre outras finalidades químicas.

Malacocultura – termo utilizado para se referir toda atividade de cultivo de moluscos cuja finalidade é o consumo humano, sejam eles marinhos, de águas doces ou terrestres.

LISTA DE SIGLAS

- ABRACAL** – Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola
- AND** – Autoridade Nacional Designada
- B** – *Biocalcification* (biocalcificação)
- BB** – *Biodeposition burial* (enterro de biodepósitos)
- BM** – *Biodeposit mineralization* (mineralização de biodepósitos)
- C** – Carbono
- CEBDS** – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
- CIMGC** – Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
- CNI** – Confederação Nacional da Indústria
- CNUMAD** – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
- COV** – Compostos Orgânicos Voláteis
- DCP** – Documento de Concepção de Projeto
- DEB** – *Dynamic Energy Budget*
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EPAGRI** – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
- ETF** - *Enhanced Transparency Framework*
- FAO** – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- g** - gramas
- GEE** – Gases de Efeito Estufa
- Gt** – Giga toneladas
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IPAM** – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
- IPEA** – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
- IUCN** – *International Union for Conservation of Nature*
- LCO₂** – Lucro Potencial com comércio de CO₂
- MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
- MCTI** – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
- MDL** – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
- MDS** – Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável
- NASA** – *National Aeronautics and Space Administration*

NDC – *Nationally Determined Contributions*

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

ODS – Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável

ONG – Organizações Não- Governamentais

ONU – Organização das Nações Unidas

PC – Peso seco em cinzas

PCM – Peso das conchas de mexilhões

PCO₂ – Peso total de CaCO₃ provenientes das conchas de mexilhões

pCO₂ – pressão parcial de CO₂

PDD – *Project Design Document*

PIB – Produto Interno Bruto

PM – Peso Molhado (com concha)

PNMC – Política Nacional sobre Mudanças do Clima

ppm – partes por milhão

PS – Peso Seco

PSC – Potencial de Sequestro de Carbono

R – *Respiration* (respiração)

RCE – Reduções Certificadas de Emissões

S – *Shell* (concha)

SFG – *Scope for Growth*

T – *Tissue* (tecido)

T - toneladas

UF – Unidades Federativas

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNEP – *United Nations Environment Programme*

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*

RESUMO

Frente à problemática das mudanças climáticas, o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris estabeleceram mecanismos de mercado, entre eles, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável (MDS). Estes incentivam a proposta de projetos mitigadores de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Uma das potenciais ferramentas de armazenamento de carbono a longo prazo são as conchas de bivalves. O presente trabalho se propõe a calcular o potencial de sequestro de carbono (PSC) de conchas de bivalves e identificar as principais vantagens e dificuldades de se instituir um projeto de MDL para reuso de conchas de bivalves no Brasil. Segundo a EPAGRI, mais de 90% da produção brasileira de bivalves é realizada no Estado de Santa Catarina, e composta principalmente por mexilhões, ostras e vieiras. Este estudo demonstra que se 100% dessas conchas estivessem disponíveis para coleta e reuso em outros setores, como o do calcário, teria havido um ganho financeiro de R\$14.220.052,43 no período de 2013 a 2019, sendo produzidos como subproduto um adicional de calcário de 287.428,60t CaCO_3 (bivalve), um biomaterial sustentável que poderia substituir calcário de fontes geológicas. Tal quantidade não teria sido suficiente para suprir a necessidade de calcário de Santa Catarina, porém diminuiria a necessidade de aquisição desse produto de outros Estados.

Palavras-chave:

Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável, bivalves, malacocultura, sumidouros, carbono

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	4
3.	ESTADO DA TÉCNICA.....	5
3.1.	Acordos internacionais	5
3.2.	Bivalves e formação de conchas	8
3.2.1.	Bivalves.....	8
3.2.2.	O sistema carbonático oceano-atmosfera.....	9
3.2.3.	Calcificação de conchas por bivalves	11
3.2.4.	Processos metabólicos de bivalves	12
3.3.	Aquicultura de bivalves e sistemas de cultivo	14
3.4.	Quantificação de carbono em conchas de bivalves	18
3.4.1.	Potencial de Sequestro de Carbono (PSC) em bivalves.....	18
3.5.	Processo de aprovação de projetos no âmbito MDL.....	19
4.	DESENVOLVIMENTO	23
4.1.	Métodos	23
4.1.1.	Aquicultura de bivalves	23
4.1.2.	Potencial de sequestro de carbono (PSC)	23
4.1.3.	Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	28
4.2.	Resultados e Discussões	30
4.2.1.	Panorama da aquicultura global e nacional.....	30
4.2.2.	Modelos de crescimento e alocação de energia.....	39
4.2.3.	Desenvolvimento de atividades de projetos no âmbito MDL.	41
4.2.4.	Potenciais aplicações de conchas de bivalves	46
5.	CONCLUSÕES.....	48
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Anatomia de bivalves. Concha fechada (à esquerda) e anatomia interna.	9
Figura 2 – Diagrama ilustrando as interações oceano-atmosfera.	9
Figura 3 - Fluxo de CO ₂ através da interface Ar-Oceano em 2000.	11
Figura 4 - Esquema dos fluxos de carbono envolvidos nos processos metabólicos de um mexilhão individual.	12
Figura 5 - Morfologia interna de um bivalve mostrando o caminho percorrido pelos alimentos e materiais de excreção.	14
Figura 6 - Cultivo de ostras na lama.	15
Figura 7 - Cultivo de ostras em sistema long-line na Baía de Guaratuba.	16
Figura 8 - Cultivo em balsas.	16
Figura 9 - Técnica de cultivo de ostras em mesas.	17
Figura 10 - Ostras dos Pacífico selvagens na Baía de Bpurgneuf, França.	18
Figura 11 - Critérios para projetos de créditos de carbono de acordo com o IPAM.	22
Figura 12 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.	30
Figura 13 – Fluxograma de processos para indústria de processamento de conchas de bivalves.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estimativas de captura de carbono para um mexilhão individualmente.	26
Tabela 2 - Maiores Produtores globais e regionais de aquicultura de animais aquáticos.....	32
Tabela 3 - Principais espécies produzidas pela aquicultura Mundial.....	32
Tabela 4 - Distribuição das principais espécies de bivalves produzidas pela aquicultura.....	34
Tabela 5- Produção de bivalves no Brasil.....	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Mapa da produção total da aquicultura global em 1000 t, em 2019.....	31
Gráfico 2 - Produção da malacocultura brasileira entre os anos de 2009 e 2019.	33
Gráfico 3 - Participação das diferentes espécies na produção total de bivalves do Estado de Santa Catarina entre 2009 e 2019.	34
Gráfico 4 - Lucro potencial com a comercialização de carbono, por municípios de Santa Catarina dentre 2013 e 2019.....	37
Gráfico 5 - Ganho econômico potencial com comércio de carbono azul.	38

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), a temperatura média da superfície do planeta aumentou cerca de 1,18 °C desde o final do século 19, uma mudança impulsionada em grande parte pelo aumento das emissões de dióxido de carbono na atmosfera associado às atividades humanas (NASA, 2021). Dados registrados por satélites, prospecções de gelo no Ártico, e demais metodologias modernas indicam que a maior parte do aquecimento ocorreu nos últimos 40 anos, sendo que apenas nos últimos 5 anos (2016 – 2021) a concentração mensal média de CO₂ na atmosfera registrada pelo Observatório de Mauna Loa, no Havaí, aumentou de, aproximadamente, 402 ppm de CO₂ para 416 ppm de CO₂ (NOAA, 2021a). Esse aquecimento gerou consequências em diferentes ecossistemas, por exemplo, aquecimento e acidificação dos oceanos, diminuição das camadas e/ou coberturas de gelo, recuo glacial, aumento do nível do mar, e, eventos climáticos extremos.

Frente a essa problemática, em junho de 1992 foi realizada no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), conhecida como Cúpula da Terra ou Rio-92, ou ainda, Eco-92 (BRASIL, 2003; UNITED NATIONS, 2021a). Ratificado em 2005, o Protocolo de Kyoto foi a primeira ação efetiva em prol do desenvolvimento sustentável e fruto importante dessa conferência (UNITED NATIONS, 2021b).

A grande inovação do Protocolo de Kyoto foi propor mecanismos de mercado para redução e limitação da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs), particularmente o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o qual permite a participação voluntária de países em desenvolvimento através da venda das chamadas Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) para países desenvolvidos, de maneira que estes possam cumprir suas metas individuais (IPEA, 2018). No dia 4 de novembro de 2016, um segundo dispositivo foi implementado, o Acordo de Paris (CEBDS, 2019). No seu Artigo 6, tal acordo trata dos mecanismos de mercado, fornecendo um sistema de comércio de emissões que permite aos países cumprirem suas obrigações de redução de emissões por meio de créditos de carbono, o Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável, MDS (CNI, 2020; UNITED NATIONS, 2021c).

Acredita-se que com o início, em 2021, da Década dos Oceanos implementada pelas Nações Unidas que deve durar até 2030, projetos de MDS envolvendo atividades marítima-

costeiras devem ser incentivados, uma vez que os oceanos são responsáveis por absorver 25% das emissões de dióxido de carbono por ano através das trocas oceano-atmosfera (IOC, 2019; NOAA, 2021a). Porém, até o presente momento, este mecanismo vem enfrentando impasses para sua regulamentação e implementação.

Um dos facilitadores do armazenamento de CO₂ antropogênico pelos oceanos são os bivalves, moluscos majoritariamente marinhos que possuem uma concha com duas valvas. Estes vêm sendo estudados ao longo dos anos pois são excelentes fixadores de carbono, retirando-o das águas durante o processo de filtração e produção de conchas (NOAA, 2021b).

A produção de bivalves marinhos para consumo humano é de, aproximadamente, 15 milhões de toneladas por ano (média referente ao período de 2010 – 2015), o que corresponde a 14% da produção global de produtos marinhos, sendo que a maior parte da produção de bivalves (89%) provém da aquicultura e apenas 11% provém da pesca (WIJSMAN *et al.*, 2019). A Ásia, principalmente a China, é de longe o maior produtor de bivalves, sendo responsável por 85% da produção mundial e pelo crescimento da produção nos anos mencionados (WIJSMAN *et al.*, 2019).

Por meio da aquicultura de bivalves, a produção de conchas com carbonato de cálcio (CaCO₃) pode chegar a cerca de 13 milhões de toneladas métricas por ano; porém, por não serem consumidas assim como a carne do animal, essas tornam-se resíduos dessa indústria, enquanto que o carbonato de cálcio é explorado na forma de calcário e considerado uma commodity valiosa (FILGUEIRA; STROHMEIER; STRAND, 2019). Logo, em um país pioneiro no desenvolvimento de projetos MDL, aqueles relacionados ao uso de conchas como biomaterial poderiam trazer um impacto econômico positivo para o Brasil.

De acordo com Alonso *et al.* (2021), a integração da aquicultura bivalve no mercado de carbono seria possível nos casos em que o CaCO₃ fosse empregado em atividades que sequestram seu CO₂ por períodos de tempo prolongados, fornecendo o máximo valor agregado ao biomaterial, produzindo menor pegada de carbono durante seu ciclo de vida e preservando a integridade do CaCO₃ pelo maior tempo possível.

Considerando que a aquicultura de bivalves é uma atividade com uma pegada de carbono baixa, em torno de 500 kgCO₂ eq/t no caso de mexilhões (Iribarren *et al.*, 2012; Sarf, 2012 *apud.*

Alonso *et al.*, 2021) e, 1500 kgCO₂ eq/t no caso de ostras (Tamburini *et al.*, 2019), quando comparada com a aquicultura de pescado, o carbonato das conchas pode ser uma alternativa sustentável ao calcário, maior fonte de CaCO₃, onde a escala de tempo de fixação é geológica e portanto, não sustentável.

As conchas também podem atuar como sumidouros de CO₂ antropogênico. Este papel, entretanto, é discutido pela comunidade científica devido parcialmente à falta de consenso em relação aos processos biológicos a serem incluídos ou como incluí-los nos cálculos de orçamento de CO₂, nas diferentes metodologias para estimar esses processos, e na escala relevante para aplicar o orçamento de CO₂, do indivíduo ao nível do ecossistema (FILGUEIRA *et al.*, 2015; FILGUEIRA; GRANT; ROSLAND, 2019).

Assim sendo, o presente trabalho se propõe a analisar dados referentes à produção brasileira e mundial de bivalves, para identificar as espécies mais produzidas a nível nacional e realizar um levantamento do seu potencial em termos de sequestro de carbono (kCO₂/tonelada de bivalve), podendo-se assim averiguar a possibilidade da utilização do carbono de bivalves como biomaterial em um suposto projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

2. OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é avaliar os respectivos potenciais em termos de sequestro de carbono (kCO₂/tonelada de bivalve) de três espécies de bivalves identificadas como amplamente cultivadas no Brasil para uso em atividades de projeto no âmbito de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

3. ESTADO DA TÉCNICA

3.1. Acordos internacionais

Na Rio-92, ficou acordado que os países em desenvolvimento deveriam receber apoio financeiro e tecnológico para alcançarem um modelo de desenvolvimento sustentável, baseado na redução dos padrões de consumo – especialmente de combustíveis fósseis, ou seja, petróleo e carvão mineral (BRASIL, 2003). Desde então, surgiram diversas propostas cuja base é o equilíbrio entre o progresso econômico e a preservação da natureza, a fim de garantir a qualidade de vida tanto para a geração atual quanto para as gerações futuras no planeta.

O Protocolo de Kyoto foi a primeira ação efetiva em prol do desenvolvimento sustentável e fruto importante dessa conferência (UNITED NATIONS, 2021b). Aprovado em 11 de dezembro de 1997 e ratificado em 26 de fevereiro de 2005 com 192 assinaturas, as quais representavam 55% do total de países-membros da Convenção-Quadro das Nações Unidas, esse acordo firmou em seu Anexo B o comprometimento dos países signatários em reduzir, em média, 5% de suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) de acordo com seus objetivos individuais entre os anos de 2008 a 2012. No seu segundo ciclo, as Partes se comprometeram a reduzir as emissões em, pelo menos, 18% abaixo dos níveis de 1990 entre os anos de 2013-2020 (BRASIL, 2021a).

A grande inovação do Protocolo de Kyoto foi propor mecanismos de mercado para redução e limitação da emissão de GEEs, particularmente o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o qual permite a participação voluntária de países em desenvolvimento (IPEA, 2018).

MDL é o nome dado a projetos que visam reduções nas emissões de GEEs e que podem ser implementados voluntariamente em países menos desenvolvidos ou em desenvolvimento por meio da venda das chamadas Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) para países desenvolvidos, de maneira que estes possam cumprir suas metas individuais. As atividades devem contemplar reduções além das esperadas no caso de ausência de não realização do projeto, com benefícios mensuráveis e de longo prazo (BRASIL, 2021b).

Tal mecanismo foi baseado na premissa de que, devido à circulação atmosférica, qualquer emissão de gás GEE é difundida através do globo (REBOITA *et al.*, 2015); assim sendo, o fator primordial para mitigação do aquecimento global é diminuir as emissões e mantê-las em um nível estacionário, independentemente de onde as reduções ocorram. Razão também pela qual as Partes podem se comprometer com maiores ou menores reduções dependendo de seus objetivos individuais, contanto que o nível mínimo seja atingido.

O Acordo de Marrakesh, assinado em 15 de abril de 1994, estabeleceu as bases para o MDL. De acordo com este, cabe à Autoridade Nacional Designada (AND) atestar a participação voluntária das Partes e a eficiência da atividade prevista pelos projetos em fomentar o desenvolvimento sustentável do país por meio da emissão da carta de aprovação da atividade de projeto (FRANGETTO; VEIGA; LUEDEMANN, 2018). Segundo o Decreto nº10.223 de 5 de fevereiro de 2020 (BRASIL, 2020), cabe à Coordenação-Geral do Clima do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações o papel de AND no Brasil (BRASIL, 2019). A Lei nº12.187, de 29 de dezembro de 2009, em seu art. 7º, inciso II, estabeleceu a CIMGC como instrumento institucional para a atuação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e estabeleceu também, em seu art. 6º, inciso V, as resoluções da CIMGC como instrumentos desta política (FERNANDES; LEITE, 2021).

Fernandes e Leite (2021) analisaram a contribuição, participação e desenvolvimento de projetos MDL no Brasil até setembro de 2019, englobando praticamente ambos os ciclos do Protocolo de Quioto. Nessa data, o Brasil havia registrado na UNFCCC 343 projetos, correspondendo a 5% do total mundial, tornando-se o terceiro maior anfitrião de projetos do gênero, após a China (48%) e a Índia (21%), porém está longe de atingir seu potencial. Para isso são necessários investimentos na capacitação de profissionais, incentivo e divulgação do mecanismo por parte do governo (BRASIL, 2021b).

Ainda, de acordo com dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA, foram investidos em torno de US\$ 32 bilhões nos últimos 15 anos na economia brasileira através de projetos MDL, resultando em uma redução de 124 milhões de toneladas de emissões de GEEs na atmosfera, sendo que 50% dessas estão vinculadas a esforços da indústria (FRANGETTO; VEIGA; LUEDEMANN, 2018; IPEA, 2018). Tais projetos, que ocorrem no Brasil desde 2004, podem ser consultados no site do MCTI (<https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/index.html>). O setor de

energia elétrica (27,7%), de prevenção de metano (19,0%) e, energia eólica (16,6%) detém o recorde de aprovações pela AND até então (FERNANDES; LEITE, 2021).

No dia 4 de novembro de 2016, um segundo dispositivo foi implementado através do Acordo de Paris, após uma Conferência realizada na cidade francesa no dia 4 de novembro de 2016, com a adesão de 196 países responsáveis por, aproximadamente, 55% das emissões totais de gases de efeito estufa (CEBDS, 2019). Tal acordo se dá em ciclos de 5 anos, começando em 2020 com o estabelecimento dos NDCs (*Nationally Determined Contributions*) por parte de cada país signatário, com metas de redução de emissão de gases de efeito estufa, atividades mitigatórias e, planos de adaptação para variações climáticas. A partir de 2024, os países terão de reportar as ações tomadas e resultados obtidos pelas estratégias declaradas em seus NDCs, por meio da iniciativa *Enhanced Transparency Framework* (ETF). A partir dos resultados obtidos, os NDCs serão reavaliados e modificados, se necessário, antes do início de seu segundo ciclo em 2025 (UNITED NATIONS, 2021c).

No seu Artigo 6, o Acordo de Paris, que foi assinado pelo Brasil em 2015, trata dos mecanismos de mercado, e assim como o Protocolo de Kyoto fornece um sistema de comércio de emissões que permite aos países cumprirem suas obrigações de redução de emissões por meio de créditos de carbono, o Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável, MDS (CNI, 2020; UNITED NATIONS, 2021c).

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), projetos no âmbito MDS podem proporcionar um aumento de aproximadamente R\$ 30 bilhões no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, porém, o MDS vem enfrentando entraves para sua regulamentação tais como, a forma de se calcular de maneira proporcional o quanto de RCEs podem ser vendidas de acordo com as metas de emissões de GEEs previstas nas NDCs, e, as regras e metodologias para transferência de créditos de projetos do MDL para o MDS (CNI, 2020).

Mesmo com a dominância do setor de energia e gás em projetos de MDL acredita-se que com o início, em 2021, da Década dos Oceanos implementada pelas Nações Unidas que deve durar até 2030, projetos de MDS envolvendo atividades marítima-costeiras devem ser incentivados. Um dos desafios chaves identificados para esta década é desenvolver uma economia oceânica sustentável e equilibrada baseada em soluções inovadoras que combatam as mudanças climáticas (IOC, 2019).

3.2. Bivalves e formação de conchas

3.2.1. Bivalves

Como citado na introdução, bivalves podem ser ferramentas chaves para o desenvolvimento da economia circular e do mercado de carbono azul (*Blue Carbon Market*) uma vez que estes animais capturam o CO₂ dos oceanos durante o processo de formação de sua concha. O carbono azul foi um termo cunhado no relatório escrito pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (*United Nations Environment Programme*, UNEP) e pela União Internacional para Conservação da Natureza (*International Union for Conservation of Nature*, IUCN) para descrever o carbono sequestrado e armazenado pelos oceanos (COTT; BECA-CARRETERO; STENGEL, 2021).

Bivalves marinhos são moluscos cujos corpos estão cobertos por uma concha formada por duas valvas, Figura 1, tais como ostras e mariscos (DAME; KENNETH, 2011). Existem aproximadamente 15.000 espécies de bivalves, incluindo espécies estuarinas e de água doce. Estas espécies podem ser grosseiramente divididas entre espécies da infauna, que vivem nos sedimentos e epifauna ou epibênticos que vivem na superfície/acima do sedimento (SEBRAE, 2015). Bivalves como vôngoles, mariscos e ostras ocorrem naturalmente em todo o globo e são amplamente consumidos e produzidos no mundo todo. Os bivalves filtram da água o seu alimento chamado seston, o qual consiste de microalgas e outras pequenas partículas orgânicas (SHUMWAY, 2011). Esses organismos filtradores podem ocorrer em grandes densidades acumulando-se em manchas ou campos extensos, fixando-se em substratos duros como rochas e outras conchas através do uso de seus “pés”, Figura 3 (GOSLING, 2015).

Bivalves epibênticos como os mariscos e ostras podem formar estruturas similares a recifes extremamente resistentes que proporcionam uma gama de serviços ecossistêmicos. Por exemplo, bivalves podem atuar como eco-engenheiros construindo barreiras de proteção contra ondas, habitat para outras espécies e regular a qualidade d'água através da filtração (FILGUEIRA; STROHMEIER; STRAND, 2019).

O manto, tecido revestindo as partes moles dos bivalves, é responsável por secretar as conchas. A água que adentra a cavidade paleal presente nesse tecido será então filtrada (GIA, 2010).

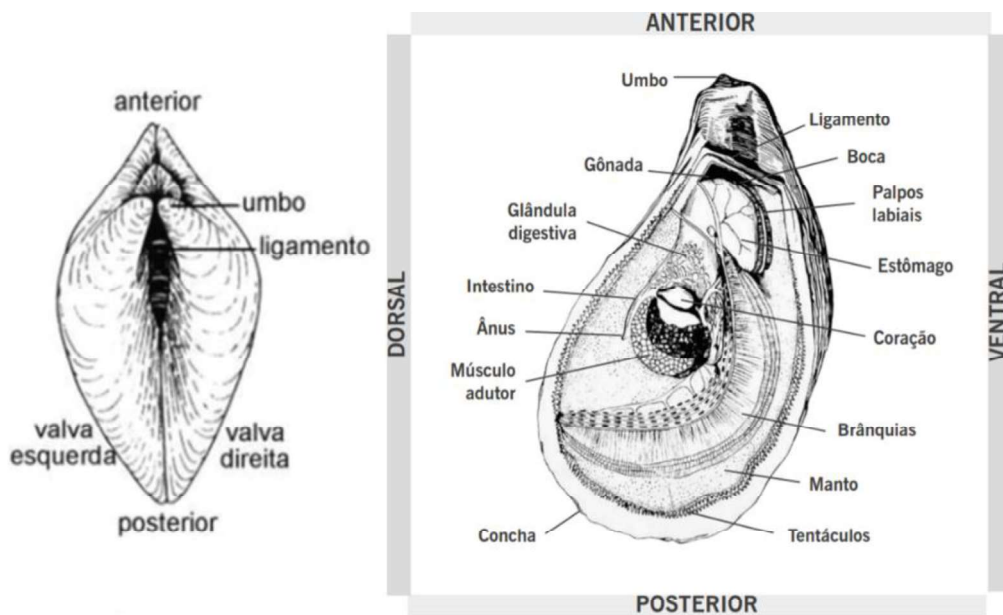


Figura 1 - Anatomia de bivalves. Concha fechada (à esquerda) e anatomia interna. Fonte: SEBRAE (2015).

3.2.2. O sistema carbonático oceano-atmosfera

As trocas de gases como o CO_2 entre o oceano e a atmosfera é governada pelas diferenças de concentrações, como ilustrado no diagrama da Figura 2. Nesse caso, a atmosfera tem uma concentração mais alta de CO_2 ($p\text{CO}_2$) que o oceano, então o CO_2 irá fluir para o oceano (seta amarela); conseqüentemente, ocorrerá uma diminuição da concentração na atmosfera e aumento no oceano. Entretanto, se o gradiente de concentração for na direção oposta – mais elevada na água do mar que na atmosfera – o fluxo de CO_2 se inverte (ou seja, a seta amarela passa a ser para cima).

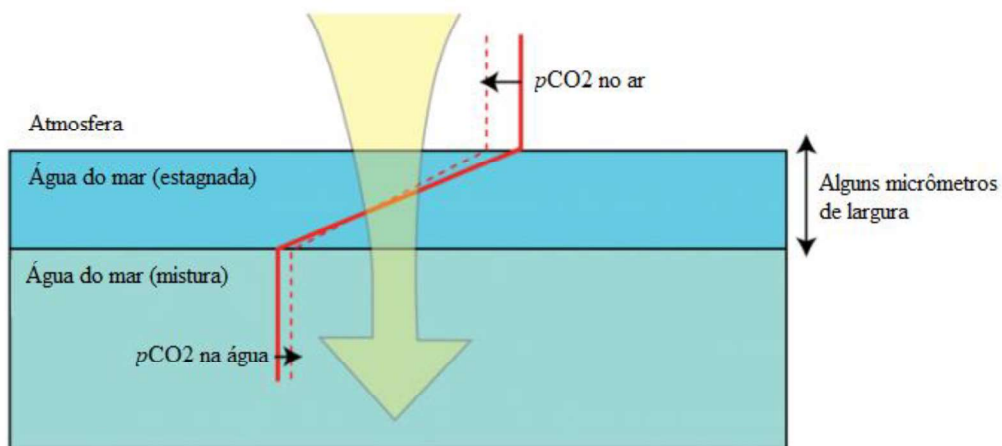
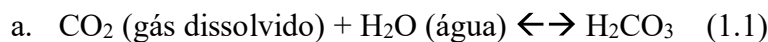


Figura 2 – Diagrama ilustrando as interações oceano-atmosfera. Fonte: Bralower e Bice (2021)

No caso, então, a linha vermelha representa a concentração de CO₂ no ar e no oceano, enquanto a linha vermelha pontilhada representa a nova concentração depois da ocorrência da troca de CO₂ entre esses dois compartimentos – concentração mais baixa na atmosfera, e mais alta no oceano.

Na maior parte da coluna de ar e de água, as concentrações dos gases são praticamente espacialmente (não temporalmente) constantes uma vez que ambos os fluidos são rapidamente misturados, balanceando qualquer variação sistemática. A exceção a essa regra é uma camada fina de água, de apenas 20 a 40 micrômetros de largura (um micrômetro equivale a 1/1000 de milímetro), a qual, devido à tensão de superfície da água é incapaz de sofrer mistura. Essa película estagnada age como uma barreira contra a difusão. A taxa de transferência do gás é, então, uma função da diferença de concentração entre os compartimentos e a largura dessa película, a qual se torna mais fina sob a ação de ventos fortes (BRALOWER e BICE, 2021).

As eq. (1.1), (1.2), (1.3), a seguir, representam as reações químicas que ocorrem durante o processo de dissolução do CO₂ da atmosfera quando em contato com a água do mar e seus respectivos produtos:



As reações químicas mostram que a quantidade de CO₂ como gás dissolvido é o que controla a concentração de CO₂ na água, como esquematizado na Figura 1. A presença desse gás dissolvido, por sua vez, depende fortemente da temperatura – ela será baixa em águas frias e alta em águas quentes, o que significa que as partes mais frias dos oceanos absorvem CO₂, enquanto as partes mais quentes liberam CO₂ para a atmosfera, o que confirma que o CO₂ é mais solúvel em águas frias (GOODWIN *et al.*, 2007; SIEGENTHALER e SARMIENTO, 1993).

A Figura 3 apresenta uma síntese dos fluxos de transferência de gases entre o oceano e a atmosfera ao redor do globo. As unidades aqui são gramas (g) de carbono (C) por m² por ano, gC/ m².ano, e cada quadrado tem uma área de aproximadamente 10⁶ m². As cores, vermelho, laranja, e amarelo representam os locais onde os oceanos expõem CO₂ para a atmosfera; as cores azul e roxo são as áreas onde os oceanos extraem CO₂ da atmosfera.

Média Anual do Fluxo Oceano-Atmosfera para 2000 (Rev Jun 09) (NCEP II Wind, 3,040K, $\Gamma = 26$)

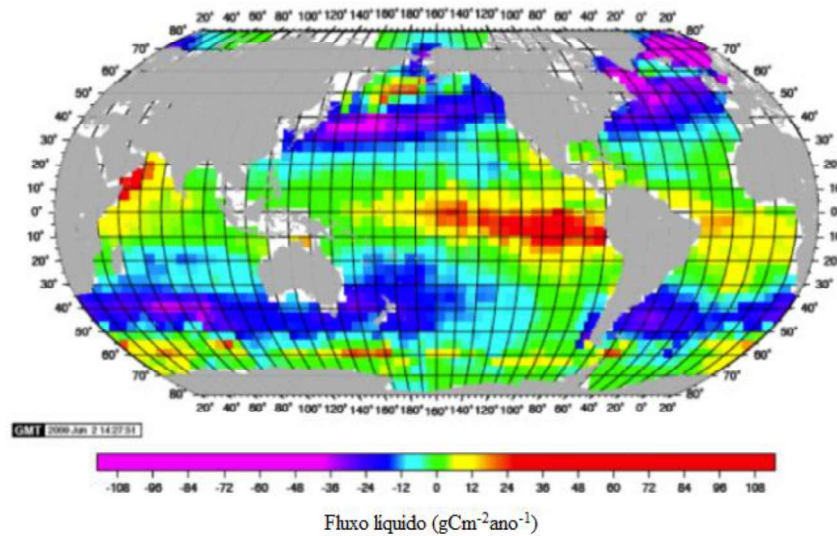


Figura 3 - Fluxo de CO₂ através da interface Ar-Oceano em 2000. Fonte: Bralower e Bice (2021)

Somando estes fluxos avaliamos que os oceanos extraem 92-93 GtC/ano¹ e expõem aproximadamente 90 GtC/ano – logo, há um fluxo resultante de 2-3 GtC/ano sendo retido nos oceanos – o qual representa aproximadamente 25 a 30% do carbono que é injetado na atmosfera através das atividades antrópicas. Essa troca também varia no espaço e no tempo (BRALOWER e BICE, 2021).

Outro resultado do processo da dissolução de CO₂ é a formação de bicarbonato e carbonato, o que diminui a concentração de CO₂ presente na água, fazendo com que a concentração deste seja menor.

3.2.3. Calcificação de conchas por bivalves

A concha é um exoesqueleto que oferece proteção contra predadores e condições ambientais adversas (SCALES, 2016). Esta é formada durante o processo denominado de calcificação, o qual pode ser quimicamente descrito pela eq. (2.0) (GATUSO; PICHON; FRANKIGNOULLE, 1995; MISTRI e MUNARI, 2012; JANSEN e VAN DEN BOGAART, 2020):



¹ 1Gt equivale à 10⁹t (WIKIPÉDIA, 2017)

Ou seja, os bivalves irão usufruir do íon bicarbonato, resultado da eq. (1.2), e dos íons de cálcio presentes na coluna d'água, para formar sua concha através da deposição de CaCO_3 , carbonato de cálcio, motivo que os torna organismos fixadores de carbono.

Porém, como se pode observar, esse processo acaba por gerar CO_2 , eq. (2.0), logo a relação entre a quantidade de bicarbonato fixado e a quantidade de CO_2 gerado (biocalcificação) será um dos fatores determinantes na conclusão de que os bivalves são ou não, fixadores de carbono atmosférico. Outros fatores importantes na determinação do Potencial de Sequestro de Carbono (PSC) de bivalves são os processos metabólicos e os tipos de sistema de cultivos.

3.2.4. Processos metabólicos de bivalves

O metabolismo de bivalves é regido por 5 processos principais: formação de tecido (*tissue*, T), formação da concha (*shell*, S), respiração (*respiration*, R), biocalcificação (*biocalcification*, B) e, biodeposição (enterro do sedimento, BB ou, mineralização, BM), Figura 4.

Filgueira *et al.* (2015) concluíram que, do ponto de vista químico, o balanço de concentração entre respiração, sequestro de carbonato de cálcio para conchas e emissão de CO_2 na calcificação biogênica são os fluxos mais significantes de CO_2 na calcificação marinha por organismos. Portanto, estes devem ser considerados quando se busca utilizar uma metodologia confiável de quantificação de sequestro e emissão de CO_2 . Estes processos são apresentados nos tópicos a seguir.

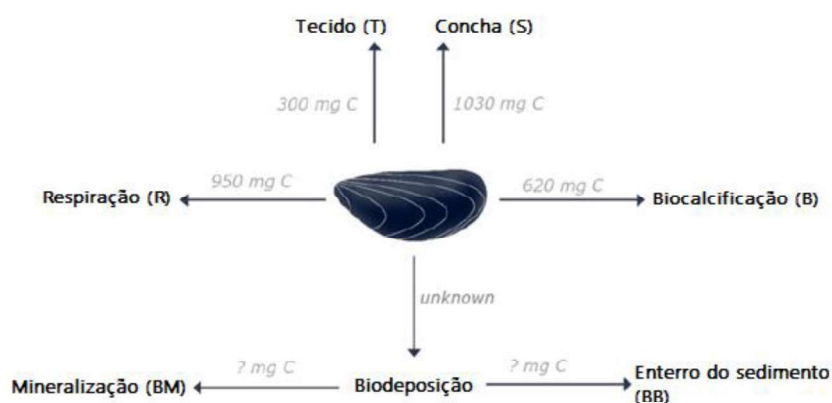


Figura 4 - Esquema dos fluxos de carbono envolvidos nos processos metabólicos de um mexilhão individual. Fonte: Jansen e van den Bogaart (2020).

Respiração

Como em todos os organismos, o catabolismo da matéria orgânica ingerida resulta na emissão de CO₂ e produção de água, eq. (3.0), durante o processo conhecido como respiração. As taxas nas quais a respiração ocorre depende, por exemplo, da temperatura (pois bivalves são ectodérmicos), espécie, ou estágio de maturação (JANSEN e VAN DEN BOGAART, 2020).



Kennedy e Mihursky (1972) mostraram que as taxas respiratórias de *Macoma balthica*, *Mulinia lateralis* e *Mya arenaria* diminuem com o aumento do tamanho (ou idade) e em geral variam com a temperatura, sendo que altas temperaturas (30°C) diminuiram o metabolismo de *Mulinia lateralis* e *Mya arenaria* aclimatadas ao frio e espécimes jovens de *Mya arenaria* foram menos afetados pela alta temperatura (30°C) do que espécimes de *Mya arenaria* alguns meses mais velhos.

Alimentação e crescimento de tecido

Bivalves marinhos são organismos heterotróficos e precisam consumir, entre outros elementos, carbono orgânico para sustentar seu crescimento e metabolismo. A maioria dos bivalves são filtradores, Figura 5, os quais se alimentam bombeando água da coluna com seu sifão inalante e passando-a através de suas brânquias, responsáveis por filtrarem o material particulado que servirá de alimento (JØRGENSEN, 1996; SHUMWAY, 2011). Uma vez que as partículas entram na cavidade do manto, elas são transferidas através do *ctenidium* para os palpos labiais, os quais funcionam como um funil que direciona o alimento até a boca do organismo. Neste, ocorrerá a seleção de partículas, sendo que algumas destas serão excretadas sem serem digeridas (pseudofezes) e outras, ingeridas através da boca (SEBRAE, 2015).

O estômago então selecionará novamente algumas partículas, as menores e/ ou mais leves, que passarão para o intestino, onde irão ser incorporadas aos bolos fecais (fezes) e ejetadas pelo ânus próximo ao sifão exalante (ARAPOV; PEHARDA; GLADAN, 2010). Bivalves podem filtrar consideráveis quantidades de água; mexilhões podem filtrar até 5 litros por hora, e ostras até 25 litros por hora (JANSEN e VAN DEN BOGAART, 2020).

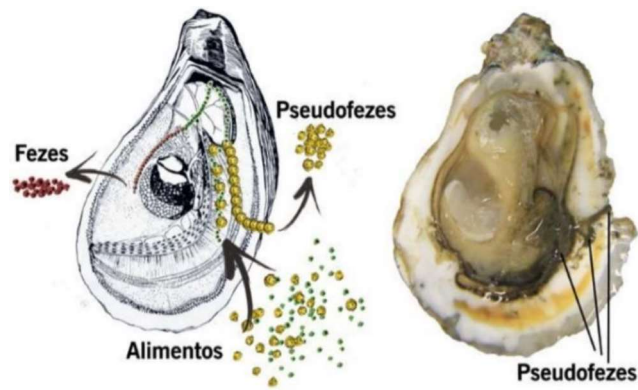


Figura 5 - Morfologia interna de um bivalve mostrando o caminho percorrido pelos alimentos e materiais de excreção (SEBRAE, 2015).

Os alimentos digeridos são usados para construção e manutenção de tecidos, incluindo as conchas, crescimento e reprodução.

Produção de biodepósitos e mineralização

Fezes e pseudofezes são coletivamente chamadas de biodepósitos, e contêm carbono orgânico. A produção de biodepósitos representa um caminho significativo no ciclo dos nutrientes de bivalves. O conteúdo de carbono em biodepósitos depende da concentração e tipo de alimento, variando conforme as estações e tipos de sistemas de cultivo (sistemas de aquicultura ou sistema de captura de bivalves selvagens). Uma vez expelidas as fezes, elas serão mineralizadas por bactérias e durante esse processo é emitido CO₂. O material refratário (carbono) é enterrado no sedimento e pode ser considerado como um depósito de carbono de longo prazo (JANSEN e VAN DEN BOGAART, 2020).

3.3. Aquicultura de bivalves e sistemas de cultivo

De acordo com dados da FAO (2020), estima-se que a produção aquícola global de moluscos com casca atingiu cerca de 17,3 milhões de toneladas em 2018, representando 56,3 % da produção da aquicultura marinha e costeira. O mesmo relatório estimou que 20,5 milhões de pessoas estavam engajadas (em tempo integral, parcial ou ocasional) no setor da aquicultura em 2018, tendo sido mulheres 14% do total (aquicultura e pesca de captura), com participações de 19% na aquicultura. De todos aqueles 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 está na Ásia (85

%), seguido pela África (9 %), Américas (4 %) e Europa e Oceania (1 % cada). Quando os dados das operações pós-colheita são incluídos, estima-se que um em cada dois trabalhadores do setor seja mulher.

Em termos de metodologia e tecnologia, a aquicultura de mexilhões, ostras e vieiras é simples em comparação a dos peixes, pois não demanda grandes investimentos financeiros relacionados a infraestrutura e cultivo, com material de fácil aquisição e manuseio. As estruturas usadas para conter as ostras se diferenciam de acordo com a sua posição na coluna d'água, em superfície, fundo ou no meio dessa, podendo ainda estarem suspensas ou fixadas (SEBRAE, 2015). A escolha da estrutura de cultivo deve ir de acordo com as características naturais da espécie, sendo que aquelas naturalmente encontradas no fundo (infauna) deverão ser cultivadas também no fundo, enquanto que espécies de epifauna podem ser cultivadas na coluna d'água. Mundialmente, os sistemas de cultivo comerciais mais utilizados são os *long-lines* (espinhéis), as mesas e as balsas por permitirem o cultivo em larga-escala mesmo em áreas pequenas (GIA, 2013).

Conforme explicado por GIA (2013), os cultivos de bivalves nos principais sistemas acima mencionados se dão da seguinte maneira:

Cultivo de fundo



Figura 6 - Cultivo de ostras na lama. Fonte: GIA (2010).

É o método mais próximo ao crescimento natural das ostras selvagens, Figura 6, pois especula-se que as conchas por absorverem minerais presentes na lama, e por estarem sujeitas as mudanças da maré, as conchas resultantes são mais fortes e grossas. Porém, as chances de

mortalidade são maiores uma vez que as ostras estarão sujeitas a predação, sufocamento pela lama e variações climáticas (LU, 2015).

Long-lines de superfície (espinhel)



Figura 7 - Cultivo de ostras em sistema long-line na Baía de Guaratuba. Fonte: GIA (2010).

Espinhéis são usados para o cultivo em meia-água, entre 4 e 40 m de profundidade (Figura 7). Por serem fixados no fundo do mar, são típicos de áreas sujeitas a maiores forças, como baías e enseadas e até mesmo em mar aberto (GIA, 2013).

Balsas



Figura 8 - Cultivo em balsas. Fonte: Lu (2015).

As balsas (Figura 8) são as estruturas comumente usadas para cultivos em superfície sendo formadas por um conjunto de boias e armações de madeira mantido e ancoradas por poita(s). No Brasil costumam medir entre 4 x 6 m a 7 x 14 m (GIA, 2013).

Mesas



Figura 9 - Técnica de cultivo de ostras em mesas. Fonte: GIA (2010).

Em baías e locais rasos de até 3m de profundidade, usa-se tipicamente varais, mesas ou “racks”, Figura 9, os quais são sistemas fixos feitos artesanalmente de estacas ou postes com diferentes materiais, por exemplo, PVC, enfileirados com um espaçamento de 2 ou metros e ligados entre eles. Sobre eles são colocados lanternas com malha que permite a passagem d’água (GIA, 2013).

Atualmente, no sul do Brasil, são utilizados de modo geral, o sistema suspenso fixo do tipo varal, em regiões de profundidade até 4 m, e o sistema de cultivo suspenso flutuante do tipo espinhel, em locais com profundidades variando de 4 a 40 m. Essas estruturas são utilizadas de acordo com a maré. Sendo que as estruturas de superfície permitem que os bivalves fiquem expostos ao ar ou imersos dependendo da altura da maré, enquanto que outros sistemas como os espinhéis, permitem que os bivalves fiquem submersos durante todo o período de cultivo através do uso de flutuadores (SEBRAE, 2015).

Em seu estudo, Jansen e Van Den Bogaart (2020) comparam os resultados obtidos sobre a relação do sistema de cultivo na Holanda e o PSC de mexilhões, com aqueles obtidos por Filgueira *et al.* (2019) para cultivos na Noruega, e concluem que como sistemas de cultivos de fundo resultam em conchas mais grossas e, portanto, mais carbonato é armazenado; as conchas atuam, nesse caso, como sumidouros de CO₂.

Populações cultivadas ou selvagens

O potencial para sequestro de carbono é diferente para populações cultivadas ou não cultivadas, denominadas selvagens (FILGUEIRA; STROHMEIER; STRAND, 2019). As conchas de bivalves selvagens, Figura 10, eventualmente passam pelo processo de biodeposição, enquanto que aquelas cultivadas acabam em aterros ou serão utilizadas em outras indústrias (ALONSO; ÁLVAREZ-SALGADO; ANTELO, 2021).



Figura 10 - Ostras dos Pacífico selvagens na Baía de Bourgneuf, França. Fonte: LIMA (2018).

Além disso, a composição da matriz orgânica varia entre tais populações, uma vez que o cultivo em altas densidades e condições ótimas favorecem as taxas de crescimento, enquanto as populações selvagens estão expostas a intempéries ambientais e variação nas condições da água (ALONSO; ÁLVAREZ-SALGADO; ANTELO, 2021).

RODHOUSE *et al.* (1984) constataram que mexilhões selvagens levavam de 6 à 7 anos para acumular a mesma quantidade de carbono, enquanto aqueles cultivados levavam apenas 1,5 ano.

3.4. Quantificação de carbono em conchas de bivalves

3.4.1. Potencial de Sequestro de Carbono (PSC) em bivalves

Ainda que o foco do presente trabalho não seja desenvolver técnicas de medição do potencial de sequestro de carbono, optou-se por apresentar aqui opções de cálculo encontradas

na literatura especializada, devido à importância da quantificação das cotas de carbono para aprovação de projetos no âmbito do MDL.

A contribuição de bivalves no sequestro de carbono é ainda debatida na literatura, uma maneira muito utilizada para quantificar o papel de bivalves como retentores de CO₂ é através da dinâmica de acreção da concha e de diferentes métodos para quantificá-la. Globalmente, as hipóteses estudadas variam de acordo com a inclusão ou não de processos metabólicos e alocação de CO₂ em diferentes compartimentos, podendo ser resumidas conforme indicado por Jansen e van den Bogaart (2020), em:

- a. As conchas são bons reservatórios de carbono uma vez que o extraem da água;
- b. As conchas não são bons reservatórios, pois liberam CO₂ através da respiração e biocalcificação;
- c. As conchas não são bons reservatórios pois liberam CO₂ através da respiração, biocalcificação, produtos da excreção e mineralização.
- d. As conchas são ou não são bons reservatórios se a formação da concha for desassociada da formação de tecido, tendo em vista que os recursos extraídos da água são usados de maneira desigual nos dois processos. Assim sendo, respeitando-se as devidas proporções, deve-se alocar, aproximadamente, 10% dessa produção de CO₂ metabólica para a formação da concha (ALONSO; ÁLVAREZ-SALGADO; ANTELO, 2021).

Essas hipóteses são trabalhadas de diferentes maneiras, sendo mais comum o uso de modelos de crescimento e/ ou alocação de energia (BERNARD; DE KERMOYSAN; POUVREAU, 2011; FILGUEIRA; GRANT; ROSLAND, 2011; VAN DER MEER, 2006), porém eles demandam tempo para realização de experimentos e análises numéricas, aquém do disponível para o presente trabalho. Assim sendo, apesar de tais modelos serem descritos no capítulo 4, com a finalidade de sinalizar a existência de métodos de maior acurácia, optou-se por realizar cálculos mais simples, baseados principalmente na taxa de alocação de CO₂ em conchas pelas espécies amplamente produzidas no Brasil, encontradas em literatura específica.

3.5. Processo de aprovação de projetos no âmbito MDL

Para apoiar o desenvolvimento sustentável nas Partes Não Anexo 1 e as reduções de emissões de GEEs nas Partes Anexo 1 através da implantação de atividades de projeto baseadas

em fontes renováveis de energia e técnicas de preservação, o Protocolo de Kyoto instituiu o mecanismo de flexibilização denominado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

De maneira geral, os projetos de MDL passam por 9 etapas, a saber: concepção do projeto, preparo do Documento de Concepção de Projeto (DCP), validação do projeto, aprovação do país anfitrião, registro, implementação, monitoramento, verificação e certificação, e emissão dos RCEs (BRASIL, 2021c; CNI, 2020; FRANGETTO; VEIGA; LUEDEMANN, 2018).

As atividades de projeto podem contemplar um ou mais setores dentre os seguintes previstos: geração de energia (renovável e não-renovável), distribuição de energia, demanda de energia (projetos de eficiência e conservação de energia), indústrias de produção, indústrias químicas, construção, transporte, mineração e produção de minerais, produção de metais, emissões de gases fugitivos de combustíveis, emissões de gases fugitivos na produção e consumo de halocarbonos e hexafluorido de enxofre, uso de solventes, gestão e tratamento de resíduos, reflorestamento e florestamento, e agricultura (BRASIL, 2021c).

De acordo com o Decreto nº10.145, de 28 de novembro de 2019 (BRASIL, 2019), para obter a aprovação das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, seus proponentes residentes no Brasil devem enviar à Secretaria Executiva da Comissão Interministerial sobre a Mudança do Clima os documentos a seguir:

- Documento de Concepção de Projeto (em inglês e em português);
- Anexo III;
- Cartas-convite a comentários;
- Relatório de Validação (em inglês e em português);
- Declaração sobre responsável pela comunicação e dados para contato;
- Declaração sobre conformidade com a legislação ambiental;
- Declaração sobre conformidade com a legislação trabalhista;
- Declaração sobre a situação da Entidade Operacional Designada – EOD.

A documentação então é examinada pela Secretaria Executiva da Comissão Interministerial e o projeto debatido na primeira reunião ordinária da Comissão Interministerial subsequente ao protocolo da documentação. Uma vez considerada submetida, a documentação do projeto pode ser consultada na página do MCTI ([https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe)

o-mcti/cgcl/clima), iniciando-se o prazo de 60 (sessenta) dias para manifestação por parte da Comissão Interministerial.

O Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, IPAM, em seu relatório de critérios de sustentabilidade para projetos de MDL no Brasil discute os princípios fundamentais e critérios necessários para a aprovação de projetos de MDL no país (MANZONI e LLOSA, 2004). De acordo com este relatório, há dois princípios fundamentais a serem seguidos, Figura 11:

- a. De conteúdo: os indicadores de sustentabilidade aplicáveis às atividades de projeto propostas são elencados pelo empreendedor para estudo da sustentabilidade do projeto.
- b. De processo: identificação das modalidades previstas pelo empreendedor para engajamento e consulta das partes interessadas.

Ou seja, para serem candidatos a créditos de carbono, empreendedores deverão apresentar indicadores de sustentabilidade social, ambiental, econômica, étnica, cultural, tecnológica, etc., uma vez que a sustentabilidade é um princípio para sua elegibilidade. O grupo de critérios propostos pelo IPAM estão resumidos na Figura 11 em forma de check-list para que eventuais proponentes possam utiliza-la de acordo com as especificações de seus projetos.

Uma maneira de se garantir a sustentabilidade como base central das ações de projeto seria estruturar sua proposta de maneira a aliar os 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) aos indicadores de sustentabilidade propostos pelo IPAM.

CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE PARA PROJETOS MDL NO BRASIL

PRINCIPIO I - CRITÉRIOS PROCESSUAIS

1. ENGAJAMENTO

- Qualidade e abrangência da participação

2. CONSULTA PÚBLICA

- Qualidade e abrangência das ferramentas de comunicação entre o empreendedor e o público
- Qualidade e abrangência da publicidade necessária
- para alcançar todos os públicos
- Frequência e periodicidade
- Prazo de consulta
- Local e hora escolhidos

PRINCIPIO II - CRITÉRIOS DE CONTEÚDO

1. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS SOCIAIS

- Impacto étnico, cultural, arqueológico e sobre povos indígenas e populações tradicionais
- Capacitação e compartilhamento do conhecimento
- Responsabilidade social (público interno e externo)

2. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

ÁGUA

- Consumo absoluto e relativo
- Reutilização (consumo/ unidade produtiva)
- Descarga de efluentes e infiltração
- Monitoramento de contaminação por fertilizantes, herbicidas e inseticidas

- Turbidez
- Eutrofização
- Partículas sólidas em suspensão

AR

- Emissões aéreas
- Poluição sonora
- Odor, entre outros

SOLO

- Tratamento de efluentes
- Erosão
- Compactação
- Contaminação
- Salinização

BIODIVERSIDADE E ECOSISTEMAS

- Compatibilidade com biomas nativos
- Monitoramento de populações de espécies endêmicas
- Conectividade entre fragmentos remanescentes
- Criação de zonas de buffers
- Alteração de período de reprodução e crescimento
- Antecipação ou retardamento dos períodos de migração de pássaros e/ ou insetos
- Distribuição geográfica de populações
- Alterações em ciclos reprodutivos de espécies
- Variação das taxas de infecção de espécies hospedeiras e aumento de vetores, entre outros.

Figura 11 - Critérios para projetos de créditos de carbono de acordo com o IPAM. Fonte: Manzoni e Llosa (2004).

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. Métodos

4.1.1. Aquicultura de bivalves

Os dados globais do setor aquícola para diferentes países foram obtidos por meio da base de dados da *Food and Agriculture Organization* das Nações Unidas (FAO) denominada FishStatJ, do relatório *The State of the World Fisheries and Aquaculture 2020* (FAO, 2020) e do Anuário de Estatísticas de Pesca e Aquicultura (FAO, 2018). A particularidade das plataformas de dados da FAO é que sua série temporal data desde 1976 até o ano de 2018, somando décadas de informações sobre a pesca e aquicultura das principais espécies de pescado do mundo. Assim sendo, além de centralizar e disponibilizar gratuitamente informações de diferentes países, pode-se obter uma imagem clara da variação da produção e crescimento da aquicultura mundial nos últimos 42 anos.

Porém, no caso da produção brasileira optou-se por utilizar os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) uma vez que as informações estavam mais atualizadas, com dados até o ano de 2019 (IBGE, 2021a). Como se mostrará na seção de resultados, o Estado de Santa Catarina é responsável por mais de 90% da malacocultura brasileira, assim sendo, optou-se por se concentrar nos números de produção deste estado. No caso particular de Santa Catarina, os dados apresentados neste estudo foram extraídos do site e relatório da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, EPAGRI (EPAGRI, 2020; EPAGRI, 2021).

4.1.2. Potencial de sequestro de carbono (PSC)

O papel da malacocultura no ciclo do CO₂ tem sido comumente avaliado como o equilíbrio entre respiração, sequestro de carbonato de cálcio e liberação de CO₂ durante a fase biogênica de calcificação. No entanto, esta abordagem negligencia as implicações para o ecossistema do cultivo de bivalves em altas densidades, por ex. o impacto na dinâmica do fitoplâncton e no acoplamento bentônico-pelágico, o que pode contribuir significativamente para o ciclo de CO₂ (ALONSO; ÁLVAREZ-SALGADO; ANTELO, 2021).

Seguindo tal raciocínio, sugere-se que, ao estudar o potencial de ação como fonte ou sumidouro de CO₂ das conchas de bivalves, deve-se usar técnicas que permitam a abordagem ecossistêmica englobando assim as interações tróficas relacionadas à aquicultura de bivalves e seus respectivos fluxos de carbono orgânico dissolvido e particulado, e o ciclo do carbono inorgânico. Para tal, modelos de crescimento (*Scope for Growth*, SFG) e de alocação de energia (*Dynamic Energy Budget*, DEB) são ótimas ferramentas, como sugerido no capítulo 3.

Segundo estes modelos, a componente concha é calculada através de equações alométricas, que na verdade estudam relações de escala para atributos morfológicos (como a relação entre o tamanho de um determinado órgão e o corpo), fisiológicos (relação entre a taxa metabólica e o tamanho do corpo em mamíferos), ecológicos (relação entre o tamanho da asa e a performance de voo em aves), e até comportamentais (SILVA, 2007).

Modelos SFG investigam a produção energética líquida, calculando o balanço energético ao aplicar curvas alométricas para extrapolar o crescimento de um indivíduo para diferentes tamanhos, enquanto que modelos DEB investigam a energia perdida por processos metabólicos (por exemplo, respiração e excreção), convertendo-a em crescimento se o balanço for positivo (BERNARD; DE KERMOYSAN; POUVREAU, 2011; VAN DER MEER, 2006).

A diferença predominante entre os dois é que modelos SFG assumem que a energia assimilada está imediatamente disponível para o catabolismo (respiração e excreção), enquanto a modelagem DEB assume que a energia assimilada é primeiramente armazenada em reservas e posteriormente utilizada nesses processos metabólicos (FILGUEIRA *et al.*, 2015).

A título de exemplo, Jansen e Van den Bogaart (2020) apresentam um modelo de balanço de carbono para mexilhões cultivados no Mar Wadden, nos Países Baixos. Esse modelo usa fatores de conversão para extrair o peso seco do peso total do animal fresco, para que então se determine o peso da concha, e posteriormente, a quantidade de CaCO₃ do qual a concha é em si constituída, eq. (4.0) à eq. (4.2). A saber:

$$PM = 0,0002 * Co^{2.7767} \quad (4.0)$$

$$PC = 0.000005 * PM^{3.6058} \quad (4.1)$$

$$PS = PC / 0.9 \quad (4.2)$$

Sendo que:

PM = Peso molhado incluindo a concha

Co = Comprimento

PC = Peso seco em cinzas (PC)

PS = Peso seco (PS)

Esse cálculo foi feito em nível individual e depois extrapolado para a produção total de mexilhões do país. Como resultado, eles obtiveram que a quantidade média de carbono na concha de mexilhões cultivados no Mar Wadden era de 12%, resultando em, aproximadamente, 1030 mg de carbono por mexilhão.

Porém, este valor muda quando se opta por incluir processos biológicos diversos tais como respiração e biocalcificação, no cálculo do potencial, além da maneira como estes são incluídos e da escala em que se estuda, ou seja, do indivíduo ao nível de ecossistema (FILGUEIRA *et al.*, 2015; FILGUEIRA; STROHMEIER; STRAND, 2019). A Tabela 1 ilustra algumas dessas diferenças.

Ao calcular um parâmetro (K_{SH}) que liga energia assimilada ao crescimento da concha de Manila (*Ruditapes philippinarum*) através de um modelo energético, Bertolini *et al.* (2021) notaram uma variação moderada entre quatro sítios estudados, sendo que os mariscos apresentaram um papel majoritariamente de sumidouro de CO₂ durante o curso de um ano. Entretanto, esse papel se alterava com a variação sazonal, i.e. os mariscos eram fontes de CO₂ durante o inverno e retentores durante o verão, sugerindo a necessidade de se contabilizar a sazonalidade nos eventos de formação e/ou acreção das conchas.

Por esse motivo, nesse tipo de estudo deve considerar-se que o balanço do CO₂ nas conchas de bivalves está intrinsecamente relacionado às condições ambientais tais como, a temperatura d'água e a composição do seston, à espécie que está a se estudar e às interações ecossistêmicas, pois esses regem as taxas de calcificação. Podemos assim compreender porque persiste o debate acadêmico quanto ao papel das conchas no tocante a sumidouros ou fontes de CO₂.

Tabela 1- Estimativas de captura de carbono para um mexilhão individualmente. Balanço de massa baseado em diferentes metodologias. Fonte: Jansen e van den Bogaart (2020).

Hipótese	Fórmula	Mexilhão individual (mgC / ciclo de produção)
Balanço de massa da concha	$PSC = [\text{formação da concha}]$	1030
Balanço de massa da concha, corrigido pela biocalcificação.	$PSC = [\text{formação da concha}] - [\text{calcificação biogênica}]$	412
Balanço de massa de bivalves, corrigido para CO ₂ .	$PSC = [\text{formação de concha}] - [\text{calcificação biogênica}] - [\text{respiração}]$	-541
Balanço de massa para conchas separadamente, 10% alocação de energia para produção de conchas	$PSC = [\text{formação de conchas}] - [\text{calcificação biogênica}] - [10\% \text{ de respiração}]$	317
Balanço de massa de bivalves, incluindo todos os processos metabólicos	$PSC = [\text{formação da concha}] - [\text{produção de tecido}] - [\text{produção de produtos excretas}] - [\text{respiração}] - [\text{produtos excretas mineralizados}]$	Desconhecido devido à falta de dados relacionados a produção de biodepósitos

Entretanto, Alonso *et al.* (2021) propuseram que a discussão sobre a inclusão de conchas de bivalves cultivados no sistema de comércio de carbono deve ser enquadrada no contexto de bens e serviços, nesse caso deve-se tratar as conchas como um subproduto da malacocultura, uma vez que os bivalves são cultivados com o objetivo de produzir alimentos e não sequestrar CO₂. Assim sendo, deve-se dividir o CO₂ respirado entre o tecido e a concha durante a construção de um orçamento específico de CO₂ de bivalves.

Portanto, os modelos de crescimento e de acoplamento de energia são ferramentas interessantes quando se planeja uma abordagem ecossistêmica integrada, considerando também os bens dos ecossistemas e serviços da aquicultura bivalve, o que demanda estudos e tempo de teste dos modelos, com validação através de dados encontrados em levantamento bibliográfico.

No caso do presente trabalho, que possuía um prazo curto de execução, para fins comparativos optou-se por não utilizar SGE e DEB, mas sim obter um valor mediano do potencial de sequestro de carbono por conchas de bivalves para a produção brasileira, utilizando a metodologia descrita em Alonso *et al.* (2019).

Para tal, considerou-se que a porcentagem média de carbonato de cálcio por concha é de 95,5% e a porcentagem de concha por peso total seria de 95% para ostras, 75% para mexilhões e 80% para vieiras.

A partir dos dados da EPAGRI, para cada município, multiplicou-se a quantidade total da produção por espécie (em toneladas) pela porcentagem de concha por peso total (95% para ostras, 75% para mexilhões, e, 80% para vieiras), eq. (5.0), com a finalidade de se determinar o quanto do peso corresponde às conchas. O segundo passo foi determinar o quanto desse peso de conchas refere-se a carbonato de cálcio, esse passo foi realizado ao multiplicar-se o peso das conchas pela porcentagem média de CaCO₃, 95,5%, eq. (5.1).

Considerando-se o valor total de CaCO₃ como sendo equivalente ao valor total de CO₂ retido nas conchas, e que 100% das conchas estão disponíveis para sua utilização pelo projeto MDL, calculamos o lucro potencial com o comércio desse carbono ao multiplicar esse valor pelo preço de uma tonelada de CO₂ no mercado de carbono europeu², eq. (5.2), o qual por fim, foi convertido para reais através do fator de conversão entre as moedas euro e real, a qual no momento do presente trabalho é de 1 euro para 6,31 reais, eq. (5.3).

$$\text{PCM} = \text{Produção total de mexilhões (t)} * 0,75 \quad (5.0)$$

$$\text{PCO}_2 = \text{PCM} * 0,955 \quad (5.1)$$

$$\text{LCO}_2 = \text{PCO}_2 * 25,21 \quad (5.2)$$

$$\text{Lucro potencial com CO}_2, \text{ em reais} = \text{LCO}_2 * 6,31 \quad (5.3)$$

Sendo que:

PCM = Peso das conchas de mexilhões

PCO₂ = Peso total de CaCO₃ provenientes de conchas de mexilhões

² Na data de realização do presente trabalho, o valor de uma tonelada de carbono no mercado europeu era de 25,21 euros. Fonte: SCHULZ (2021)

LCO₂ = Lucro potencial com comércio de CO₂

O mesmo processo foi realizado para os dados de produção de ostras e vieiras para o período de 2009 a 2019, uma vez que estes eram os últimos dados acessíveis na plataforma da EPAGRI. Dessa maneira obteve-se os resultados descritos no item 5.

4.1.3. Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

De maneira a colaborar com o desenvolvimento de uma proposta de atividade (s) no âmbito MDL para sequestro de carbono através do uso de conchas de bivalves, foi realizada uma pesquisa bibliográfica extensa sobre MDL em sites de órgãos públicos tais como o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), de associações civis sem fins lucrativos, a exemplo do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e artigos acadêmicos sobre os principais resultados do MDL no Brasil. A seguir, apresenta-se uma breve introdução a respeito do conteúdo requerido dos diferentes documentos a serem apresentados à Secretaria Executiva da Comissão Interministerial sobre a Mudança do Clima e uma sugestão sobre como trabalhar a sustentabilidade dentro de um projeto de reuso de conchas de bivalves para armazenamento, a longo prazo, de CO₂ antropogênico.

4.1.3.1. *Project Design Document* (PDD)

O *Project Design Document* (PDD), em inglês – deve ser entregue na forma e versão determinadas pelo Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, estabelecido no âmbito do Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Existem formulários distintos disponíveis no site do MCTI em função do tipo de projeto: projeto de redução de emissões (grande escala e pequena escala) e projeto de florestamento e reflorestamento (grande escala e pequena escala).

4.1.3.2. Documento de Concepção do Projeto (DCP)

O Documento de Concepção do Projeto, em português, é a versão traduzida do PDD. No Brasil, o documento que tem validade legal é a versão em português e, portanto, esta é a versão a ser analisada pela Comissão Interministerial.

4.1.3.3. Documento - Anexo III (Contribuições ao Desenvolvimento Sustentável)

As contribuições ao desenvolvimento sustentável devem ser descritas em um documento à parte, comumente chamado “Anexo III”, por estar definido no Anexo III da Resolução nº 1. Nele devem ser enfatizadas as contribuições da atividade de projeto para cada um dos cinco aspectos: sustentabilidade ambiental local; desenvolvimento das condições de trabalho e a geração líquida de empregos; distribuição de renda; capacitação e desenvolvimento tecnológico; e integração regional e a articulação com outros setores. Deve-se também separar as contribuições que podem ser, de fato, atribuídas à implementação da atividade de projeto, daquelas advindas de outras atividades das empresas proponentes do projeto.

4.1.3.4. Cartas-Convite

São cartas que abrem um convite a comentários por parte dos atores envolvidos, interessados e/ou afetados pelas atividades de projeto. Tais cartas devem cobrir o limite geográfico do projeto, ou seja, se há mais de um município envolvido, todos devem ser contactados. Uma lista de atores é disponibilizada no site do MCTI. Elas devem conter, no mínimo, o nome e tipo da atividade de projeto, endereço eletrônico e físico para obtenção de uma versão atualizada do DCP.

Como aqui explicado, no documento Anexo III a ser entregue para registro e aprovação do projeto, deve se esclarecer as contribuições ao desenvolvimento sustentável previstas pelas atividades de projeto. Para se assegurar de que a sustentabilidade esteja presente no âmago da proposta propõe-se então que além de se trabalhar com os indicadores de sustentabilidade sugeridos pela IPAM (Figura 11), utilize-se concomitantemente os 17 objetivos globais para o desenvolvimento sustentável (ODS) propostos pela ONU, Figura 12. Na sessão de resultados e discussões são apresentados exemplos de como se pode utilizar ambos em prol de tais atividades.



Figura 12 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Fonte: Freitas (2019).

4.2. Resultados e Discussões

4.2.1. Panorama da aquicultura global e nacional

Em 2018, a FAO reportou um recorde na produção aquícola mundial com um valor de 114,5 milhões de toneladas em peso vivo, correspondente a um crescimento de 5,3% ao ano durante o período de 2001 a 2018, dos quais 82,1 milhões de toneladas eram animais aquáticos (US\$ 250,1 bilhões), 32,4 milhões de toneladas de algas (US\$ 13,3 bilhões) e 26.000 toneladas de conchas e pérolas ornamentais (US\$ 179.000). Já o cultivo de animais aquáticos nesse mesmo ano foi dominado por peixes (54,3 milhões de toneladas, US\$ 139,7 bilhões), cultivados em aquicultura de interior (47 milhões de toneladas, US\$ 104,3 bilhões), bem como em sistemas marítimos e de aquicultura costeira (7,3 milhões de toneladas, US\$ 35,4 bilhões). Em segundo lugar estavam os moluscos (17,7 milhões de toneladas, US\$34,6 bilhões) com destaque para bivalves e crustáceos (9,4 milhões de toneladas, US\$ 69,3 bilhões). Porém, nota-se que a taxa de crescimento de 2018 (1,6%) diminuiu em relação à de 2017 (2,2%) devido à desaceleração do setor na China (FAO, 2018).

A aquicultura de interior continua a produzir a maior parte dos animais aquáticos cultivados, principalmente aqueles de água doce. Em 2018, esse tipo de aquicultura produziu 51,3 milhões de toneladas de animais representando 62,5% da produção mundial de peixes em viveiro para alimentação. Quanto à aquicultura costeira e à maricultura (aquicultura desenvolvida no mar), estas produziram coletivamente 30,8 milhões de toneladas (US\$ 106,5 bilhões) de animais aquáticos em 2018. A aquicultura costeira é atualmente a grande produtora de moluscos,

superando a produção de peixes. Em 2018, moluscos bivalves (17,3 milhões de toneladas) representaram 56,2% da produção de aquicultura marinha e costeira, peixes (7,3 milhões de toneladas) e crustáceos (5,7 milhões de toneladas) juntos foram responsáveis por 42,5% (FAO, 2020).

Como podemos notar no Gráfico 1, a China foi o principal produtor mundial de bivalve em 2019, ocupando a primeira posição com 85% da produção mundial de malacocultura por aquicultura, sendo que as ostras dominaram a produção (ALONSO; ÁLVAREZ-SALGADO; ANTELO, 2021). Ao analisar a produção da China, Alonso *et al.* (2021) concluíram que entre 2007 e 2013, a quantidade média de CaCO_3 produzida pela aquicultura de bivalve era de aproximadamente 8 milhões de toneladas por ano.

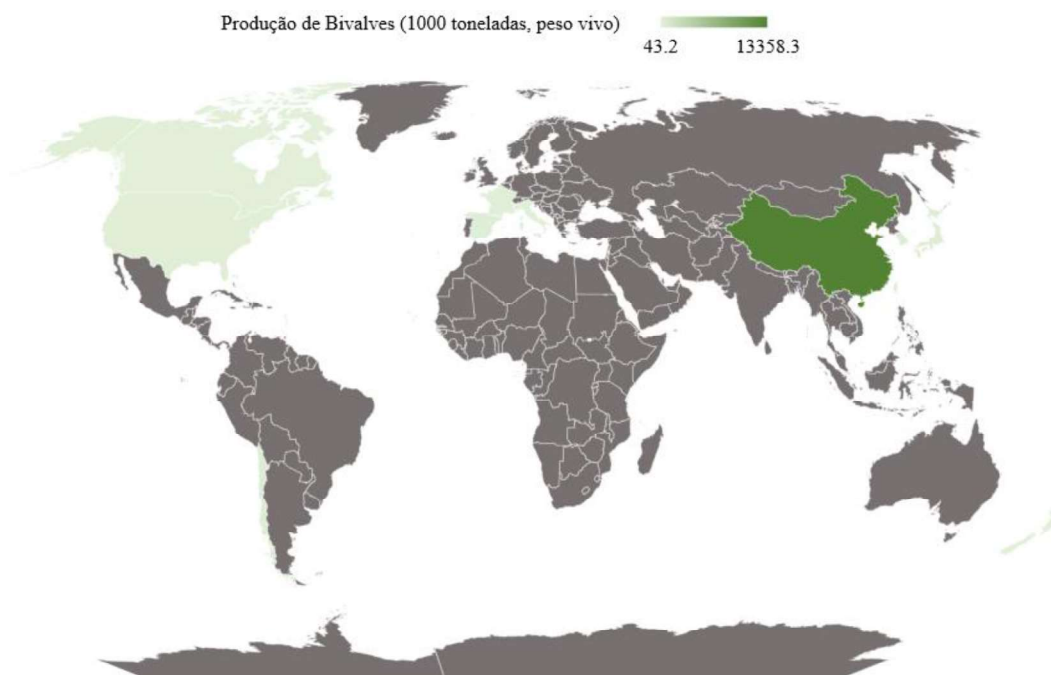


Gráfico 1 - Mapa da produção total da aquicultura global em 1000 t, em 2019.

Conforme a Tabela 2, o Chile e Japão seguem a China na lista de maiores produtores aquícolas, sendo que o Brasil não se encontra entre os 10 maiores produtores mundiais de moluscos. Pode-se notar também que apesar de a produção chinesa ser 37 vezes maior do que a chilena e 150 vezes maior do que a da Nova Zelândia, a porcentagem da participação de bivalves em relação à produção total (por país) é menor na China (28,1%) do que no Chile (29,8) e Nova Zelândia (84,3%). A Espanha é o segundo país com maior participação dos bivalves (82,5%).

Tabela 2 - Maiores Produtores globais e regionais de aquicultura de animais aquáticos.

	Produção Total (1000 toneladas, peso vivo)	Produção de Bivalves	Participação de Bivalves (%)
China	47559.1	13358.3	28.1
Chile	1266.1	376.9	29.8
Japão	642.9	350.4	54.5
República da Coreia	568.4	391.1	68.8
Estados Unidos	468.2	181.1	38.7
Espanha	347.8	287	82.5
Taiwan	283.2	75.8	26.8
Canadá	191.3	43.2	22.6
França	185.2	144.8	78.2
Itália	143.3	93.2	65.0
Nova Zelândia	104.5	88.2	84.3

Fonte: FAO (2020)

Quanto às espécies mais cultivadas globalmente de moluscos, a ostra *Crassostrea spp.* possui uma produção mais robusta (5.171,1 mil toneladas), Tabela 3, seguida pela espécie *Ruditapes philippinarum* conhecida no Brasil como amêijo-a-japonesa (4.139,2 mil toneladas). Juntas, suas produções foram responsáveis por 53,1% da produção de moluscos em 2018 (EPAGRI, 2020).

Tabela 3 - Principais espécies produzidas pela aquicultura Mundial.

	2010	2012	2014	2016	2018	2018
	(mil toneladas)					(%)
Moluscos						
<i>Crassostrea spp.</i>	3570,7	3807,4	4181,6	4690,8	5171,1	29,5
<i>Ruditapes philippinarum</i>	3500,2	3618,7	3838,6	4175,8	4139,2	23,6
Pectinidae	1366,6	1360,9	1576,5	1849,9	1918	11,0
Mytilidae	871,4	937,1	992,9	1085,4	1205,1	6,9
Mollusca	556,3	993,9	1035,4	1118,1	1056,4	6,0
<i>Sinonovacula constricta</i>	693,3	690,4	752	799,3	852,9	4,9
<i>Crassostrea gigas</i>	640,7	609,1	623,6	573,8	643,5	3,7
<i>Anadara granosa</i>	456,7	378,2	434,2	430,4	433,4	2,5
<i>Mytilus chilensis</i>	221,5	244,1	238,1	300,6	365,6	2,1
Outros moluscos	1850,8	1706,7	2035	1816	1725,8	9,9
Total de Moluscos	13728,2	14346,5	15707,9	16840,1	17511	100

Fonte: FAO (2020)

De acordo com dados do IBGE (2021a), em 2019 a aquicultura brasileira produziu 15.216 toneladas entre ostras, vieiras e mexilhões, valor 7,14% maior que em 2018, Gráfico 2. Segundo o Ministério da Economia, o Brasil importou 540,4 toneladas de produtos à base de moluscos bivalves em 2019, montante equivalente a US\$2,5 milhões, e exportou 9,8 toneladas, o equivalente a US\$74.958,00 (EPAGRI, 2020).

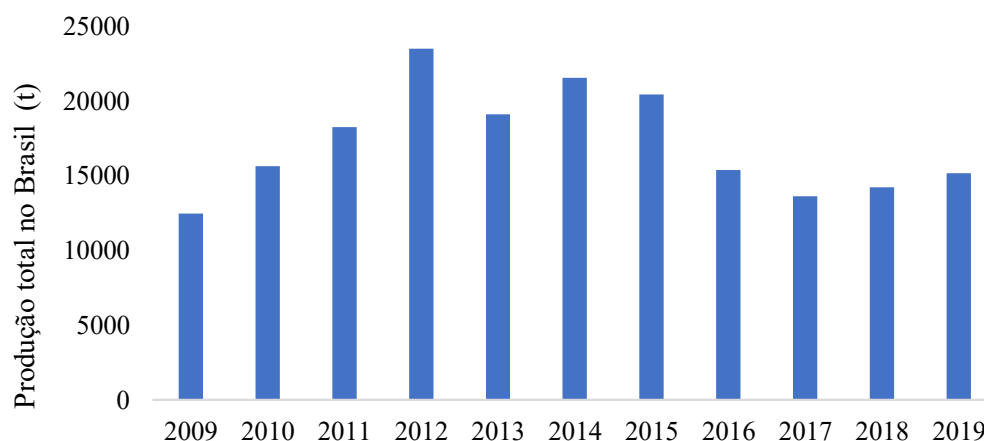


Gráfico 2 - Produção da malacocultura brasileira entre os anos de 2009 e 2019.

Os produtos à base de mexilhões representaram 89,8% do volume importado, seguido das vieiras, 9,7%, e berbigões ou amêijoas, 0,5%. Porém, devido ao alto valor agregado às vieiras, estas representaram 49,7% em termos financeiros, enquanto os mexilhões representaram 48,4%. Referente às exportações, seu total foi dividido entre mexilhões (48,5 toneladas), vieiras (25,8 toneladas) e ostras, 636 kg, (EPAGRI, 2020).

O Estado de Santa Catarina é o maior produtor de moluscos de cultivo do Brasil. O Estado foi responsável por 97,3% da produção nacional em 2019, proporção que se mantém praticamente constante desde 2013, sendo que a produção catarinense de moluscos na safra de 2019, Gráfico 3, foi de 15.156 toneladas, valor 6,62% maior que em 2018 devido à produção de ostras, cujo crescimento de 29,5% impulsionou o setor, enquanto a produção de mexilhões teve incremento de 2,4% (EPAGRI, 2021).

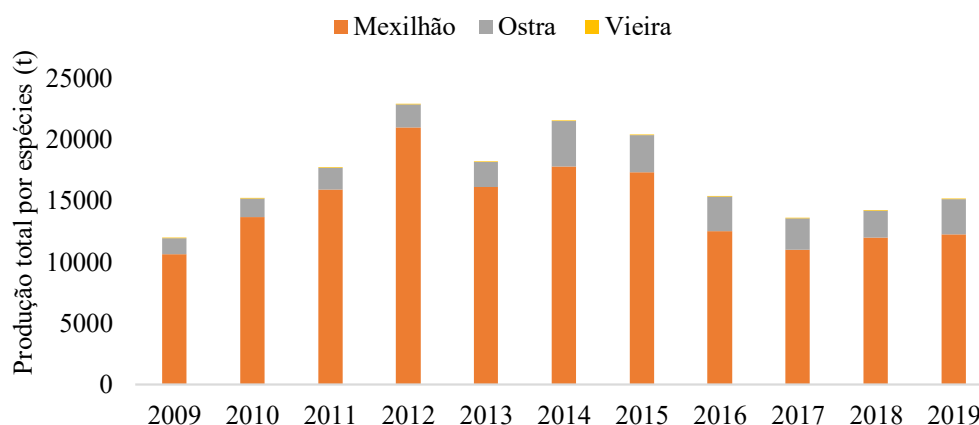


Gráfico 3 - Participação das diferentes espécies na produção total de bivalves do Estado de Santa Catarina entre 2009 e 2019.

Na Tabela 4 compara-se a produção do Estado de Santa Catarina frente às produções na China, Europa e a região da Galícia, na Espanha. Enquanto os cultivos de mexilhões predominam no Brasil e na Europa, o país asiático cultiva especialmente ostras e vieiras, sendo que esta última espécie quase não possui espaço na indústria catarinense (0,3%).

Tabela 4 - Distribuição das principais espécies de bivalves produzidas pela aquicultura.

% de Produção	China	Europa	Galícia	Santa Catarina
	MAO <i>et al.</i> , 2019	WIJSMAN <i>et al.</i> , 2019	ALONSO <i>et al.</i> , 2021	EPAGRI, 2021b
Mexilhões	5.8	63.2	99.1	81.12
Ostras	33.3	14.7	0.4	18.85
Vieiras	12.1	14.7	-	0.03

A produção em 2019 de mexilhões da espécie *Perna perna*, da família *Mytilidae*, em Santa Catarina foi de 12.294,5 toneladas, 34,9 % menor do que a produção reportada em 2018, devido à queda da sua produção em Florianópolis (EPAGRI, 2020). O município de Palhoça ainda é o principal cultivador de *Perna perna*, seguido de Bombinhas. A ostra do Pacífico (*Crassostrea gigas*) representou, em 2019, 96,6% (2.856,38 toneladas) da produção de ostras do Estado, enquanto que as espécies nativas (*Crassostrea brasiliiana* ou *Crassostrea gasar*) passaram a corresponder a 3,9 % (96,77 toneladas) da produção, a qual ocorre principalmente em Florianópolis (EPAGRI 2020). Quanto a produção de vieiras, o cultivo é dominado pela espécie *Nodipecten nodosus*, sendo que o último dado reportado foi em 2018 e alcançou um

montante de 5,18 toneladas das quais 4,7 foram cultivadas em Florianópolis e 0,5 toneladas em Penha (EPAGRI, 2020).

No total, a movimentação financeira bruta referente à safra de moluscos de 2019, em Santa Catarina, foi de 92,8 milhões de reais. Os mexilhões contribuíram com 65,2% (R\$60,5 milhões), as ostras com 34,5% (R\$30,9 milhões) e as vieiras com 0,3% (R\$311.040,00) deste montante. A estimativa financeira foi feita considerando os seguintes preços de comercialização: mexilhões – R\$4,92/Kg; ostras - R\$11,21/dúzia; vieiras - R\$60,00/dúzia (EPAGRI, 2020).

O relatório síntese sobre a aquicultura em Santa Catarina da EPAGRI, também notificou que houve uma redução no número de participantes no Estado desde 2016. Comparativamente ao ano de 2018, a diminuição do número de produtores foi de 1.4% no total, mas ao olhar-se separadamente por grupos de produtos, a redução foi de 9.91% no cultivo de ostras o qual já havia sofrido uma redução de 8.26% no ano anterior, e, no caso dos mexilhões a queda foi de 1% entre 2018 e 2019, e 3.58% entre 2017 e 2018 (EPAGRI, 2020). No caso das vieiras, atualmente existem apenas 5 produtores. A baixa adesão ao cultivo de vieiras se deve às dificuldades em se obter sementes de espécies que se adaptem bem ao clima da região (EPAGRI, 2020).

De acordo com o cenário aquícola do Brasil aqui apresentado, calculou-se o potencial de sequestro de carbono da produção de bivalves do Estado de Santa Catarina. Ressalta-se que como explicado no item 4.1.2., o objetivo do presente trabalho não é validar as diferentes metodologias para mensuração de carbonato de cálcio em conchas de bivalves, considerando que para isto seriam necessários coletas de amostras e análises de diferentes espécies o que não cabe no escopo espaço-temporal desta monografia. Porém, para fins comparativos utilizou-se a metodologia descrita por Alonso *et al.* (2021).

Como ostras, mexilhões e vieiras estão entre as espécies de bivalves mais cultivadas no Brasil achou-se correto usar valores para a relação concha/ peso total entre 70 e 95%, para estimar o potencial de sequestro de CO₂ da aquicultura de bivalve. Usando o valor atual de 1 tonelada de CO₂ no mercado de carbono europeu de 25,21 euro, e assumindo-se que 100% das conchas produzidas pela aquicultura estão disponíveis para aplicações industriais e ambientais, obteve-se valores grosseiros do potencial econômico do carbono de bivalves brasileiro. A Tabela 5 resume os resultados obtidos para o ano de 2019.

Tabela 5- Produção de bivalves no Brasil. Valores da produção dos três grupos de moluscos mais cultivados no Brasil e seus valores referentes em termos de CO₂, em euros e reais para o ano de 2019. Foram considerados uma taxa de conversão de 1 BRL para cada 6.31 EUR, conforme as taxas de câmbio para o euro comercial na data de realização do presente estudo.

Município	Espécie	Quantidade Total (t)/ Espécie	Concha/peso (t)	CaCO ₃ (t)	Valor de CO ₂ / Espécie	Valor de CO ₂ / Município (€)	Valor de CO ₂ / Município (R\$)
Balneário Barra do Sul	Ostra nativa	8,00	7,60	7,26	182,97	182,97	1.154,57
Balneário Camboriú	Mexilhão	15,00	11,25	10,74	270,85	385,21	2.430,67
Balneário Camboriú	Ostra do Pacífico	5,00	4,75	4,54	114,36		
Bombinhas	Mexilhão	1.075,00	806,25	769,97	19410,91	19.765,42	124.719,83
Bombinhas	Ostra do Pacífico	15,50	14,73	14,06	354,51		
Florianópolis	Mexilhão	907,23	680,42	649,80	16.381,55		
Florianópolis	Ostra do Pacífico	1.657,11	1.574,25	1.503,41	37.901,04	55.717,29	351.576,08
Florianópolis	Ostra nativa	58,77	55,83	53,32	1.344,17		
Florianópolis	Vieira	4,70	3,76	3,59	90,52		
Governador Celso Ramos	Mexilhão	281,71	211,28	201,77	5.086,74	5.155,36	32.530,31
Governador Celso Ramos	Ostra do Pacífico	3,00	2,85	2,72	68,62		
Palhoça	Mexilhão	8.900,00	6.675,00	6.374,63	160.704,30	174.244,39	1.099.482,07
Palhoça	Ostra do Pacífico	592,00	562,40	537,09	13.540,09		
Penha	Mexilhão	586,00	439,50	419,72	10.581,20	10590,45	66.825,73
Penha	Vieira	0,48	0,38	0,37	9,25		
Porto Belo	Mexilhão	68,00	51,00	48,71	1.227,85	1.822,52	11.500,10
Porto Belo	Ostra do Pacífico	26,00	24,70	23,59	594,67		
São Francisco do Sul	Mexilhão	222,00	166,50	159,01	4.008,58		
São Francisco do Sul	Ostra do Pacífico	10,00	9,50	9,07	228,72	4.351,66	27.458,95
São Francisco do Sul	Ostra nativa	5,00	4,75	4,54	114,36		
São José	Mexilhão	239,60	179,70	171,61	4.326,38		
São José	Ostra do Pacífico	451,00	428,45	409,17	10.315,17	15.213,34	95.996,18
São José	Ostra nativa	25,00	23,75	22,68	571,79		
Total (2019)						€287.428,60	R\$1.813.674,48

Em 2019, o maior valor de CaCO_3 foi encontrado no município de Palhoça devido ao cultivo do mexilhão *Perna perna* (6.374,63 t), o equivalente a um lucro de R\$ 1.099.482,07, seguido do cultivo de ostra do Pacífico em Florianópolis (1503,41t, R\$351.576,08), e, de mexilhão em Bombinhas (769,97t, R\$ 124.719,83). Considerando que Palhoça é o 11º PIB mais alto do Estado de Santa Catarina e encontra-se na posição 192º do rank do país, tal lucro poderia ter um impacto positivo na economia municipal (IBGE, 2021b).

Ao longo do período de 2013 a 2019, o município de Palhoça teria obtido o maior lucro todos os anos (R\$ 8.112.295,91), com destaque para o ano de 2015 (R\$ 1.579.235,08), caso houvesse a implementação de atividades no âmbito de recuperação de conchas e comercialização de carbono, Gráfico 4, seguido de Florianópolis (R\$ 2.770.074,55) em segundo lugar. O terceiro lugar até 2016 seria do município da Penha, que vem sendo superado por Bombinhas (R\$ 958.716,04) a partir de 2017.

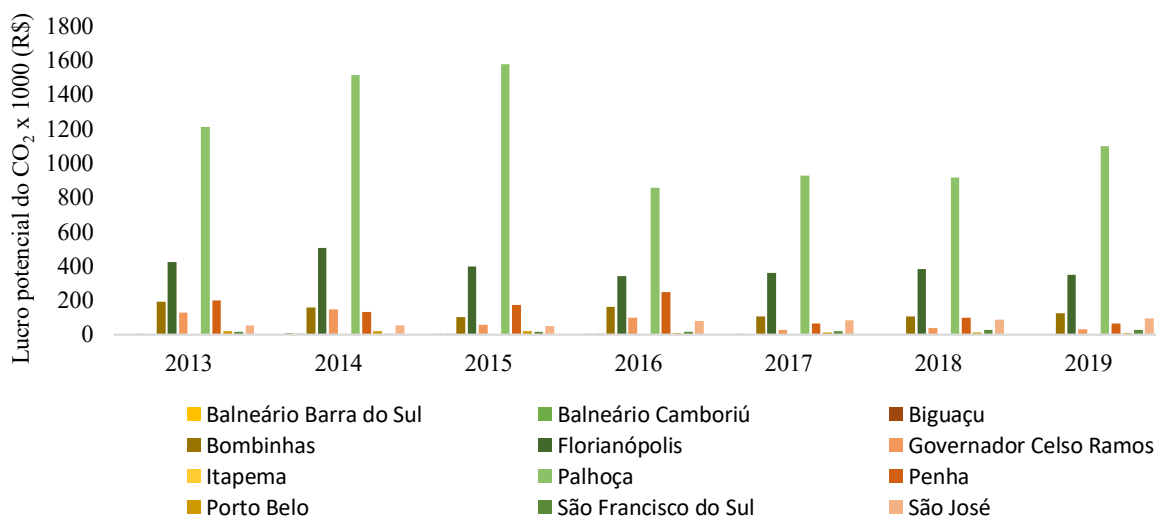


Gráfico 4 - Lucro potencial com a comercialização de carbono, por municípios de Santa Catarina dentre 2013 e 2019.

Assim sendo, se o Brasil tivesse investido em projetos com atividades da aquicultura que pudessem usufruir do mecanismo MDL desde o ano de 2013, quando iniciou-se o segundo ciclo pelo Protocolo de Kyoto, o ganho financeiro anual, em média, teria sido de R\$2.031.436,00, Gráfico 5, o qual somado resulta em um total de R\$14.220.052,43 para o período entre 2013 e 2019. Em termos de sequestro de carbono, teria-se evitado a emissão de 2.253.574,08 t CO_2 (2013 – 2019), com uma média de 321.939,15 t CO_2 / ano.

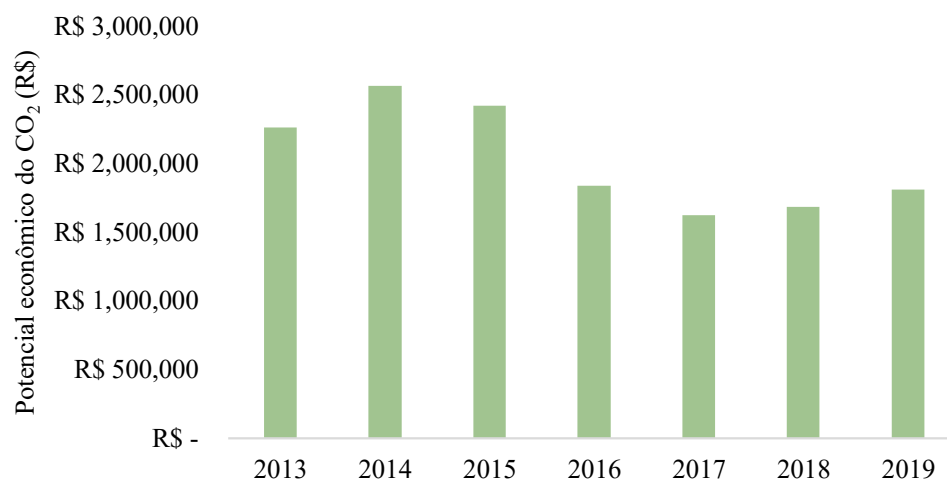


Gráfico 5 - Ganho econômico potencial com comércio de carbono azul.

Salienta-se nesse momento que os números aqui apresentados são resultados quando considera-se que 100% das conchas produzidas estão disponíveis para atividades de projeto, porém, como Alonso *et al.* (2021) apontaram em seu estudo, apenas uma pequena parte dessa produção de CaCO₃ poderia ser negociado no mercado de carbono uma vez que a maioria dos bivalves são comercializados a fresco, o que dificulta a coleta e armazenamento das conchas. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde mais de 90% do mercado global de bivalve é vendido a fresco (PAWIRO, 2010). O problema nesse caso é que o destino final dado a esse resíduo na maioria dos países desenvolvidos é a incineração como resíduo orgânico liberando então o CO₂ armazenado.

Seguindo cálculos similares aos apresentados na seção de metodologias no presente trabalho, a quantidade anual de CO₂ emitido pela incineração da aquicultura global de conchas seria equivalente à emissão de aproximadamente 1 milhão de carros (ALONSO; ÁLVAREZ-SALGADO; ANTELO, 2021). Considerando a produção brasileira entre os anos de 2013 a 2019, representada pelo Estado de Santa Catarina, e que um passageiro que dirige um carro com uma autonomia de aproximadamente 35.4 km por galão de gasolina percorrendo 28,400 km por ano emite 4.6 ton CO₂/ano (EPA 2018), temos que a emissão evitada de CO₂ pela malacocultura brasileira seria equivalente a 490.000 carros. O que pode ser visto como um argumento favorável ao reuso desses resíduos.

No Brasil, a atual recomendação é que as conchas de animais mortos provenientes da aquicultura devam ser aproveitadas para outros fins, como para a construção civil, produção de suplementos alimentares ou artesanato, de maneira que elas não permaneçam acumuladas nas unidades de apoio em terra se decompondo e gerando mau odor; tampouco podem ser jogadas no mar. Caso o uso alternativo não seja possível, recomenda-se seu destino a aterros sanitários ou como lixo comum (SOUZA; NOVAES, 2016).

Quanto ao resultado econômico aqui encontrado para o Estado de Santa Catarina de um lucro de R\$14.220.052,43, pode ser que este não seja incentivo suficiente para aplicação do projeto, mas deve-se citar que, ligado a este, existem ganhos socioambientais, tais como redução de lixo em aterros sanitários, melhoria na infraestrutura e na cadeia produtiva do Estado, a qual pode crescer se houver uma injeção de incentivo financeiro; aumento do número de empregos caso se utilize mão-de-obra local, dentre outros, além da possibilidade de vender quaisquer tecnologias criadas inerentes ao processo de limpeza e preparo das conchas para reuso. Estes ficarão mais evidentes no item 4.2.3., quando se discute sobre a sustentabilidade em projetos MDL.

4.2.2. Modelos de crescimento e alocação de energia

Apesar do saldo positivo apresentado, devido às exigências inerentes ao processo de aprovação de projetos de MDL é recomendada a identificação de técnicas mais precisas para o cálculo do potencial de sequestro de carbono por conchas de bivalves. Na sessão de métodos foram apresentadas algumas possibilidades, tais como o uso de modelos de balanço energético.

Modelos de crescimento e de alocação de energia são amplamente utilizados em estudos relacionados à alimentação e influência de parâmetros ambientais no crescimento de bivalves (MONTAGNAC *et al.*, 2020; SARAIVA *et al.*, 2012; VAN DER VEER; CARDOSO; VAN DER MEER, 2006; YUKIHIRA; KLUMPP; LUCAS, 1998). Entre as inúmeras vantagens desses modelos podem ser citadas a capacidade de incluir os processos metabólicos a nível de indivíduos, as relações de temperatura e salinidade na regulação da composição carbonática da água do mar, e as interações entre os bivalves e demais organismos presentes no ambiente, todos fatores que alteram a concentração de CaCO_3 na matriz orgânica das conchas e que não foram avaliados pela metodologia aplicada no presente trabalho (PENRY-WILLIAMS; LIMA, 2017).

A concentração de CO₂ nas conchas é dependente, por exemplo, do processo de biocalcificação, ou seja, da síntese de CaCO₃ para a construção de conchas, a qual por sua vez, possui uma relação inversa com a temperatura e salinidade d'água, tendo sido reportadas em estudos anteriores taxas entre 0.6 à 25°C, 0.7 à 15°C e 0.8 à 5°C, ou seja, as culturas de bivalves em latitudes médias ou baixas são potencialmente mais eficientes como sumidouros de CO₂ (GATUSSO; PICHON; FRANKIGNOULLE, 1995; MORRIS; BACKELJAU; CHAPELLE, 2019). Isso pode representar uma vantagem para indivíduos cultivados em Santa Catarina (latitude 27°S) em relação àqueles do Nordeste (Rio Grande do Norte, por exemplo, latitude 5°S) e em outros países como a França, quanto ao sequestro de CO₂, tal fator pode ser testado em modelos numéricos.

Até o presente momento não existe uma metodologia internacional definida para o cálculo de PSC, e os modelos diferenciam-se entre espécies, dados de entrada e metodologia, tendo sido reportados casos em que as conchas seriam fontes de CO₂ (CHAUVAUD *et al.*, 2003; FILGUEIRA; STROHMEIER; STRAND, 2019; HILY *et al.*, 2013; JANSEN; VAN DEN BOGAART, 2020; JIANG *et al.*, 2014; MISTRI; MUNARI, 2012).

Hily *et al.* (2013) comparou exemplares de ostras (*Crassostrea gigas*) e do mexilhão *Mytilus edulis* cultivados em locais abrigados, semi-expostos e não abrigados, e estudou o PSC baseando-se em duas hipóteses, a primeira sem fatorar na equação os processos metabólicos de biocalcificação e respiração, e a segunda incluindo esses processos. Para a primeira hipótese, ela encontrou valores de PSC positivos (sumidouros) para mexilhões de áreas abrigadas (3,8 gCm⁻²ano⁻¹), semi-expostas (129,2 gCm⁻²ano⁻¹) e expostas (45 gCm⁻²ano⁻¹). Por sua vez, quando incluídos os processos metabólicos, esses valores mudaram drasticamente, mexilhões de áreas abrigadas (-0,4 gCm⁻²ano⁻¹) e expostas (-1,6 gCm⁻²ano⁻¹) se mostraram serem fontes de CO₂, já aqueles de zonas semi-expostas continuaram a ser sumidouros de CO₂, porém com um potencial bem menor (7,6 gCm⁻²ano⁻¹). As ostras, em ambas as hipóteses, apresentaram PSCs positivos, 286,8 gCm⁻²ano⁻¹ e 103,0 gCm⁻²ano⁻¹, respectivamente.

Porém, Lejart *et al.*, (2012) encontraram resultados diferentes para a ostra do Pacífico (*Crassostrea gigas*). Estabelecendo três hipóteses, i.e. as duas hipóteses utilizadas em Hily *et al.*, (2013) e uma terceira hipótese, onde ele alocou apenas 10% de formação de CO₂ para a respiração, isso porque um orçamento de CO₂ da concha ao invés de todo o indivíduo deveria implicar na divisão da respiração do animal entre tecido e concha em proporções 90% e 10%,

respectivamente (FILGUEIRA; STROHMEIER; STRAND, 2019). Dessa forma, os autores concluíram que quando a respiração é fracionada entre tecido e concha o PSC é positivo ($3.3 \text{ gCm}^{-2}\text{ano}^{-1}$), enquanto se usada sem distinção, a ostra poderia ser assumida como fonte de CO_2 ($-28.3 \text{ gCm}^{-2}\text{ano}^{-1}$).

Assim sendo, sugere-se optar por uma técnica de mensuração do potencial de sequestro de carbono que se adapte mais precisamente à espécie e ao local que se deseja utilizar nas atividades previstas no projeto em âmbito MDL. Para isso, uma extensa revisão bibliográfica, consultas técnicas, e análise de amostras dos parâmetros biológicos e climatológicos deverá ser realizada, o que demanda recursos financeiros e técnicos, além de tempo, o que pode dificultar o processo de construção e aprovação de projetos cuja finalidade é a inserção de carbono sequestrado por bivalves no mercado de carbono.

4.2.3. Desenvolvimento de atividades de projetos no âmbito MDL.

Além da metodologia para quantificação do potencial de sequestro de carbono de conchas de bivalves e avaliação de atuação destas como sumidouros ou fontes de CO_2 , outro fator importante para garantir a aprovação do projeto perante a AND é apresentar uma proposta que possua como base a sustentabilidade. No item 4.1.3 foi sugerido que se fizesse uma ligação entre os indicadores de sustentabilidade do IPAM, Figura 11, e os 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, Figura 12. Neste item apresenta-se propostas de atividades de projeto e como relacioná-las à sustentabilidade.

O cultivo de diferentes tipos de espécies de frutos do mar dá origem a uma série de indústrias de processamento para consumo a fresco, enlatados e pré-cozidos, dependendo do produto a ser comercializado. No caso dos moluscos, as instalações de processamento podem gerar quantidades significativas de resíduos de concha, as quais podem representar mais de 800.000 toneladas por ano (BARROS *et al.*, 2009). Estas, quando descartadas inadequadamente, acarretam maus odores e podem levar potencialmente a doenças (SEBRAE, 2015), porém esse resíduo pode ser recuperado através de diferentes métodos e de uma maneira ambientalmente correta, contribuindo assim para a saúde e bem estar (ODS 3).

Supondo que o objetivo do projeto em questão seja estruturar a cadeia produtiva da malacocultura de maneira a permitir a coleta e uso das conchas de bivalves por outros setores industriais, é necessário garantir que as conchas estejam devidamente limpas e no formato que se pretende vendê-las (moídas, em pedaços, etc.), logo, pode ser necessário construir empresa(s)

de processamento, se estas ainda não existirem. Aqui, utilizamos como sugestão o exemplo de uma planta de beneficiamento de conchas da Galícia, na Espanha, a qual cessou suas atividades em 2011 (BARROS *et al.*, 2009). Seu funcionamento é ilustrado pelo esquema na Figura 13.

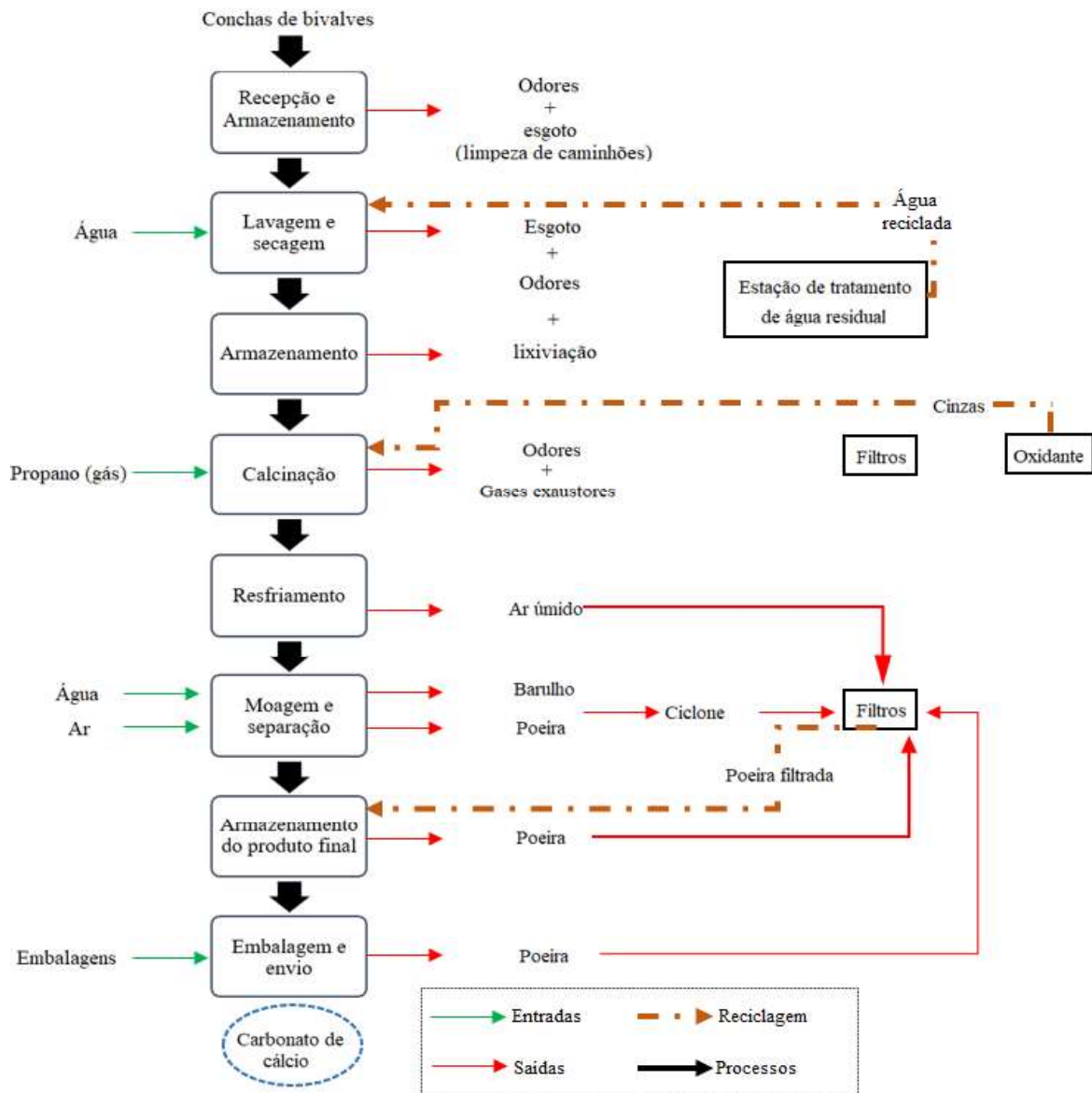


Figura 13 – Fluxograma de processos para indústria de processamento de conchas de bivalves. Fonte: Barros *et al.* (2009).

De maneira geral, o processo de valorização é composto por nove fases principais responsáveis pela transformação de resíduos de cascas em carbonato de cálcio através da eliminação de água, sal, lama e restos de carne, começando pelo recebimento das conchas de bivalves, lavagem e secagem das conchas, calcinação e resfriamento, moagem e separação, e

por fim, embalagem e envio do produto final. Barros *et al.*, (2009) argumentaram que o impacto ambiental desse processo depende do seu potencial de emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) derivados do uso de matérias-primas consideradas subprodutos animais e resíduos altamente perecíveis aderidos à casca, elevado consumo de energia (combustível e eletricidade), principalmente durante o tratamento térmico da casca e do equipamento de moagem, geração de efluentes com alta carga orgânica e lixiviados com sólidos em suspensão, e, emissão fugitiva de particulados ao longo do processo de obtenção de um material pulverulento. Para precaver a ocorrência de impactos negativos, o plano de funcionamento da fábrica de processamento deve utilizar indicadores de sustentabilidade e legislações locais pertinentes para traçar um plano de descarte de resíduos eficiente.

A montagem de tal fábrica poderá gerar novos empregos para a comunidade local se optar-se por fazer o treinamento dos moradores de sua proximidade para atuarem como trabalhadores nas diferentes etapas do processamento. Para isso, devem haver incentivos privados e governamentais para uma educação de qualidade (ODS 4). Tal treinamento pode se dar a partir de estágios ou períodos de treinamento após a contratação, de maneira presencial e/ou virtual (ensino à distância), com apoio da Universidade Federal de Santa Catarina, a exemplo do curso de Beneficiamento de Pescado ofertado como parte do projeto “Novos Caminhos” da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tal curso contou com 14 turmas, atendendo cerca de 1.700 alunos de todas as regiões do Brasil, com um público eclético e democrático (SPINOLA, 2021).

Quanto à mão-de-obra, a contratação de mulheres para trabalhar na linha de produção pode ser incentivada. Se assim for feito, os ODS, por exemplo, de erradicação da pobreza (ODS 1), igualdade de gênero (ODS 5), trabalho decente (ODS 8) e, cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11) fariam parte das atividades centrais do projeto. Porém, para que estes objetivos sejam de fato atingidos deve-se atentar à maneira como se dará a contratação das mulheres. De acordo com Silva e Spolle (2013), a indústria do beneficiamento do pescado no Rio Grande do Sul apesar de dominada pela mão de obra do gênero feminino, colabora para o enfraquecimento do trabalho da mulher pois estas são contratadas de maneira formal, e ocasionalmente de maneira informal, para realizar trabalhos relacionados a higienização e preparo do produto alimentício, não havendo suporte para a evolução de carreira.

A Figura 13 mostra também que, para o funcionamento da empresa, necessita-se de materiais como propano e embalagens. Os insumos podem ser obtidos de empresas locais para diminuir os custos e poluições associados a extração de matéria-prima e transportes e incentivar parcerias entre empresas do mesmo estado, como previstos pelos ODS 12, consumo e produção responsáveis, e ODS17, parcerias e meios de implementação. Logo, idealmente, a fábrica de beneficiamento das conchas estaria posicionada próxima às empresas de cultivo de bivalves. Ainda pode-se prever a realização de workshops com os pequenos e médios produtores para garantir que estes estejam cientes da possibilidade de reuso de suas conchas, e de uma possível complementação de renda a partir da venda desses subprodutos, assegurando assim a participação de conchas provenientes da aquicultura tradicional nesta nova indústria.

Quanto ao uso de água, seria necessário averiguar se há estações de tratamento e fontes com possibilidade de prover esses serviços à fábrica. Caso trate-se de municípios pequenos, sem infraestrutura de saneamento, o município pode vir a se beneficiar da sua construção (ODS 6, água potável e saneamento), uma vez que a sua falta inibe a instalação de escolas, hospitais e outras instituições (ETESCO, 2021).

Para fazer a avaliação dos impactos pelo uso da água e do ar, pode-se utilizar os índices de sustentabilidade do IPAM. No caso da água, por exemplo, o cálculo do consumo absoluto e relativo, da turbidez, do potencial de reutilização dessa água e da descarga de efluentes após os estágios de recepção e armazenamento, seriam alguns dos indicadores passíveis de utilização para cumprimento do ODS 6, água potável e saneamento, e ODS 14, vida na água, garantindo que tanto a água utilizada no processamento, quanto a água residual gerada no beneficiamento estejam dentro dos padrões adequados para descarte ou reuso.

Portanto, desta maneira, as atividades de projeto apesar de terem como finalidade cumprir uma necessidade global, relacionada aos ODS 13, ação contra a mudança global do clima e ODS 2, fome zero e agricultura sustentável, na verdade englobariam também outros Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Estas iniciativas podem ser divulgadas no site da empresa, para informar o público e possíveis parceiros das estratégias de responsabilidade social e ambiental inerentes à fábrica. Se houver sucesso na eventual implementação de tal projeto, o Estado de Santa Catarina se tornaria um precursor dessa nova tecnologia, com uma indústria inovadora que favorece a redução de desigualdades sociais (ODS 10) e com possibilidade de divulgar esse conhecimento para outros países (ODS 9).

Para se certificar de que os ODS estão sendo cumpridos, deve-se fazer uma avaliação de impactos socioeconômicos e ambientais do projeto, que pode ser realizada novamente mediante o uso dos indicadores de sustentabilidade do IPAM, tais como, o previamente citado cálculo do consumo absoluto e relativo de água, cálculo das emissões aéreas de gases e estudo do tratamento de efluentes; uso de workshops e consultas públicas para entender as expectativas da população em relação ao projeto; e uso de redes sociais para testar a qualidade e abrangência das ferramentas de comunicação entre a empresa e o público, dentre outros. Estes mesmos indicadores podem ser usados também na fase de monitoramento do projeto.

Não é possível apresentar resultados referentes à proposta apresentada nesse estudo, uma vez que necessitar-se-ia a sua implementação para teste, porém sugere-se uma maneira de se aplicar o trabalho no contexto brasileiro.

Um projeto tão único no Brasil necessitaria de uma parceria entre o setor público e privado para a sua realização. O Estado de Santa Catarina poderia contar com a participação de Organizações Não-Governamentais (ONG) e Associações para conseguir o engajamento da comunidade tradicional e de grandes produtores no projeto. À Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, que possui um histórico de trabalhar em prol do desenvolvimento da aquicultura no Estado (JOSÉ, 2016), e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) caberiam aportar o conhecimento científico necessário para a concepção das atividades de projeto e implementação da estação de processamento. Ao Governo do Estado, além do papel de mediador entre setores, esperar-se-ia o respaldo financeiro necessário para a implementação do empreendimento, além das aprovações requeridas para o funcionamento do empreendimento, uma vez que este tenha recebido o aval de execução da AND.

As vantagens de se realizar tal projeto em Santa Catarina são poder usufruir da já estabelecida cadeia de produção, as condições ambientais favoráveis para o cultivo de bivalves, que propiciam de acordo com Manzoni e Llosa (2004) um crescimento de apenas 8 meses para se atingir o tamanho comercial das ostras do Pacífico catarinenses, enquanto que a mesma espécie, na França, leva de 2 a 4 anos (GOSLING, 2015); e, a existência de programas de controle sanitário já instituídos na região além das regras de conduta para boas práticas de cultivo (SEBRAE, 2015).

4.2.4. Potenciais aplicações de conchas de bivalves

Nesta seção discute-se os usos potenciais de conchas de bivalves como um biomaterial entre setores produtivos diferentes, uma vez que este foi processado em estações semelhantes à proposta no item anterior (MORRIS; BACKELJAU; CHAPELLE, 2019).

Dependendo do setor, conchas de bivalves podem ser aplicadas diretamente como um agregado ou transformadas em uma forma renovável de CaCO_3 ou CaO . Alonso *et al.* (2021) concluíram que os quatro setores que mais utilizam calcário são as indústrias agrícola ($23,0 \times 10^6$ t CaCO_3 por ano), de produção de corretivos de acidez do solo, de construção ($17,0 \times 10^6$ t CaCO_3 por ano) e a indústria do papel ($16,5 \times 10^6$ t CaCO_3 por ano).

Segundo Primavesi (2004), no Brasil o calcário é um dos bens minerais com maior gama de aplicações, sendo utilizado principalmente na indústria de produção de corretivos da acidez do solo, mas também na indústria do cimento, de cal, da produção de tinta, metalúrgica e química.

Explorando a indústria de maior uso de calcário no Brasil, a de corretivos agrícolas, observa-se que, como a maioria dos solos brasileiros são ácidos, há a necessidade de se fazer a correção da acidez para melhorar o aproveitamento de fertilizantes e alcançar maior produtividade das culturas exploradas (PARAHYBA, 2013). Isso é feito através da neutralização dos íons H^+ por ânions OH^- sendo o calcário o corretivo agrícola mais comum. Seus constituintes neutralizantes são o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o carbonato de magnésio (MgCO_3), os quais são obtidos pela moagem de rocha calcária (PRIMAVESI, 2004). Porém, CaCO_3 finamente moído de cascas de bivalves pode ser usado como um substituto do calcário calcítico para corrigir a acidez do solo (ALONSO; ÁLVAREZ-SALGADO; ANTELO, 2021).

Até 2013, o somatório das reservas medidas de calcário era da ordem de 100 bilhões de toneladas, com 331 empresas produtoras de corretivo de acidez registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e distribuídas em quase todas as Unidades Federativas (UF), sendo 23% destas na região Sul ($7.798.364.289,00$ t CaCO_3), destacando-se o Paraná com 70% das empresas dessa região (PARAHYBA, 2013).

Segundo dados da Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola, ABRACAL (2020), o Estado de Santa Catarina no ano de 2020 consumiu aparentemente $769,9 \times 10^3$ t de calcário, tendo produzido $408,2 \times 10^3$ t dos quais $47,8 \times 10^3$ t foram enviados para o Rio

Grande do Sul e $329,0 \times 10^3$ t foram trazidos de outros estados. As fontes desse calcário são de origem geológica, ou seja, provenientes de rochas.

Apesar de o valor de carbonato proveniente de conchas de bivalves não ser o suficiente para suprir a necessidade de calcário de Santa Catarina por si só, se o projeto aqui proposto já fosse funcional, em 2019, somar-se-ia ao total de calcário produzido 287.428,60t CaCO_3 (bivalve), o que potencialmente teria reduzido a necessidade de importação desse item de outros Estados.

Conforme relatam BARROS *et al.*, (2009), apesar da obtenção de um carbonato proveniente de conchas com 99,9% de pureza, a fábrica de processamento de conchas de bivalves na Galícia encontrou alguns entraves que servem de lições para trabalhos futuros, tais como o alto custo associado que tornou o produto não competitivo, entraves ambientais devido a problemas relacionados ao armazenamento (por exemplo, maus odores) e operação (por exemplo, alto teor de matéria orgânica nos efluentes devido à falta de seletividade da matéria orgânica). Ou seja, a implementação de um projeto semelhante no Brasil deverá considerar seu mercado alvo, volumes de produção necessários e especificações de qualidade.

Internacionalmente, o uso de bivalves para sequestro e aprisionamento de carbono já vem sendo explorado comercialmente. A empresa Running Tide, nos Estados Unidos, produz ostras, mariscos e algas em quantidades interessantes para venda de compensações de carbono (SCHLOSSBERG, 2021). Já na França, importante produtor mundial de ostras, a empresa Friendly Frenchy recicla conchas desses animais e as transforma em óculos de sol de luxo, sendo a unidade vendida entre 85 e 255 euros, equivalente a R\$ 530 - R\$1.600,00 (<https://www.friendlyfrenchy.fr/fr/32-les-lunettes-en-coquillage->).

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou que o cultivo de bivalves no Brasil é preponderante no Estado de Santa Catarina, o qual detém mais de 90% da produção nacional, focando-se primariamente em três espécies: mexilhões, ostras e vieiras, respectivamente. Utilizando-se da metodologia de Alonso *et al.* 2021, o cálculo de potencial de sequestro de carbono (PSC) da produção catarinense entre os anos de 2013 a 2019 indicaram um possível ganho de R\$14.220.052,43. Além do fator econômico, tem-se também um possível retorno social e ambiental positivo caso sejam previstas ações de projeto focadas na sustentabilidade e no desenvolvimento econômico. Para nortear tais ações pode fazer-se uso de indicadores de sustentabilidade, como os propostos pelo IPAM, e dos 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. Alguns dos impactos positivos seriam melhoramento da infraestrutura de saneamento básico e da saúde e bem-estar associadas à construção da planta de beneficiamento de conchas, acesso à educação qualificada através de treinamentos, redução nas emissões de gases de efeito estufa, e desenvolvimento de uma cadeia produtiva que priorize o uso de recursos naturais de maneira sustentável. Apesar do valor positivo encontrado nos cálculos de PSC, deve-se atentar que a metodologia de cálculo aqui apresentada deve ser utilizada com cuidado, pois não se incluiu particularidades tais como, espécies escolhidas, interações ecossistêmicas e propriedades ambientais, fatores que podem alterar a taxa de retenção de carbono nas conchas. Portanto, sugere-se o uso de modelos de crescimento e/ou de alocação de energia para o cálculo de PSC futuramente. Além do grande volume da malacocultura em Santa Catarina, a qual retém em torno de 90% da produção nacional, outras vantagens de se implementar projetos do tipo no Estado seriam utilizar a já estabelecida cadeia produtiva, a qual conta com programas de controle sanitário e de boas práticas de cultivos já implementados. Apesar de a média de CaCO_3 de conchas de bivalves de 321.939,15 t CO_2 / ano não ser o suficiente para suprir a necessidade de setores conhecidos pelo alto consumo de calcário calcítico, caso todo o CaCO_3 de bivalves seja convertido em calcário, mesmo se considerando o abastecimento apenas de Santa Catarina, as 287.428,60t CaCO_3 (bivalve) que poderiam ter sido produzidas somente em 2019 caso o projeto já fosse funcional, teriam potencialmente reduzido a necessidade de importação desse item de outros Estados, além de poderem ter prevenido entre 2013 e 2019 a emissão de CO_2 correspondente a, aproximadamente, 490.000 carros. Isso se o projeto em questão tivesse sido concebido de maneira a atender seu mercado alvo, volumes de produção e especificações de qualidade. Assim sendo, o presente

trabalho abre portas para a discussão se esse novo recurso, o carbonato de conchas de bivalves, pode ser futuramente inserido no mercado de carbono através de projetos de MDL no Brasil.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de se ter atingido os objetivos propostos neste estudo, foram identificadas possibilidades de aprimoramento desse projeto. Para tal fim, sugere-se então, primeiramente, o desenvolvimento de um cálculo do potencial de sequestro de carbono por bivalves especificamente para construção de suas conchas. Por não haver ainda um consentimento internacional quanto à metodologia a ser aplicada para o cálculo do PSC nesse caso, há poucas chances de aprovação de projetos MDL que preveem o uso desse biorrecurso, razão pela qual se recomenda fazer esforços tanto no setor privado quanto público para elaborar tal metodologia. O Instituto alemão Wageningen University and Research tem apoiado trabalhos sobre o tema e seria interessante para o Brasil cultivar parcerias com outras universidades internacionais renomadas que já liderem esses estudos.

A segunda sugestão refere-se à implementação de plantas de beneficiamento de conchas. O exemplo mencionado na Galícia apresentou alguns problemas que devem ser estudados antes do funcionamento dessas, tais como o sistema de armazenamento das conchas, o qual era falho e acabava por não evitar os odores provenientes da decomposição de conchas não tratadas. Como esse tipo de serviço ainda não é realizado no Brasil, recomenda-se que tal projeto siga as legislações ambientais brasileiras e, portanto, passe pelo devido processo de licenciamento ambiental para evitar que o dano causado pelo funcionamento dessas plantas não ultrapasse os benefícios de seus produtos.

Em acordo com o item anterior, seria importante estudar-se os impactos causados pelas demais etapas do projeto, como o transporte tanto das conchas a serem tratadas quanto daquelas a serem enviadas pelas plantas de beneficiamento para consumidores. Cada fase tem seu consumo e produção de CO₂ associados, o que deve ser considerado na proposta de um projeto no âmbito MDL. É sugerido então um estudo de análise do ciclo de vida do carbono sendo as conchas de bivalves beneficiadas o produto-alvo.

Por fim, como não houve tempo de se avaliar o interesse civil e governamental em desenvolver tal projeto, e considerando as atuais crises sanitária e econômica as quais tornam crucial a boa gestão e uso de recursos públicos, a aceitação por parte das comunidades locais na implementação das atividades propostas pode ser peça chave à favor da implementação do projeto. Para medir tal interesse convém realizar-se reuniões de caráter social com associações

de moradores e de produtores dos municípios onde bivalves são cultivados e nos quais as plantas de beneficiamento seriam instaladas para poder explicar o projeto e depois averiguar a sua aceitação através de enquetes.

REFERÊNCIAS

ABRACAL - Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola. **Calcário Agrícola**. Rio Claro, SP, 2020. Disponível em: <<http://abracal.com.br/site/wp-content/uploads/2021/06/CALCARIO-AGRICOLA-BRASIL-2020.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

ALONSO, A. A.; ÁLVAREZ-SALGADO, X. A.; ANTELO, L. T. **Assessing the impact of bivalve aquaculture on the carbon circular economy**. *Journal of Cleaner Production*, v. 279, 12p., 2021.

ARAPOV, J.; PEHARDA, D.; GLADAN, Z. N. **Bivalve feeding: how and why do they eat**. *Ribarstvo*, v. 68, n. 3, p. 105–116, 2010.

BARROS, M. C.; BELLO, P. M.; BAO, M.; TORRADO, J.J. **From waste to commodity: transforming shells into high purity calcium carbonate**. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. 3, p. 400–407, 2009.

BERNARD, I.; DE KERMOYSAN, G.; POUVREAU, S. **Effect of phytoplankton and temperature on the reproduction of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*: Investigation through DEB theory**. *Journal of Sea Research*, v. 66, n. 4, p. 349–360, 2011.

BERTOLINI, C.; BERNARDINI, I.; BRIGOLIN, D.; MATOZZO, V.; MILAN, M.; PASTRES, R. **A bioenergetic model to address carbon sequestration potential of shellfish farming: example from *Ruditapes philippinarum* in the Venice lagoon**. *ICES Journal of Marine Science*, v. 78, n. 6, p. 2082–2091, 2021.

BRALOWER, T.; BICE, D. **Ocean - Atmospheric Exchange**. *Penn University*. Pennsylvania: EUA, 2021. Disponível em: <<https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/676>>. Acesso em: 13 out. 2021.

BRASIL. **Conferência Rio-92 sobre o meio ambiente do planeta: desenvolvimento sustentável dos países**. *Revista Em Discussão*. Brasília, DF, 2003. Disponível em:

<<https://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/a-rio20/conferencia-rio-92-sobre-o-meio-ambiente-do-planeta-desenvolvimento-sustentavel-dos-paises.aspx>>. Acesso em: 28 set. 2021.

BRASIL. DECRETO No 10.145, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2019. Dispõe sobre o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.145-de-28-de-novembro-de-2019-230458399>>. Acesso em: 27 set. 2021.

BRASIL. DECRETO No 10.223, DE 05 DE FEVEREIRO DE 2020. Dispõe sobre a revogação do DECRETO DE 07 DE JULHO DE 1999. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10223.htm#art2>. Acesso em: 25 set. 2021.

BRASIL. **Protocolo de Quioto**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>>. Acesso em: 13 out. 2021a.

BRASIL. **Obter carta de aprovação para projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <<https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/paginas/Obter-carta-de-aprovacao-para-projetos-do-Mecanismo-de-Desenvolvimento-Limpo-MDL.html>>. Acesso em: 13 out. 2021b.

BRASIL. **Mecanismos de Desenvolvimento Limpo - MDL**. Ministério Público do Estado de Goiás. Goiânia, GO, 2021. Disponível em: <<http://www.mpgo.mp.br/portal/noticia/mecanismos-de-desenvolvimento-limpo-mdl>>. Acesso em: 19 nov. 2021c.

CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **O que é o Acordo de Paris?** Rio de Janeiro, RJ, 2019. Disponível em: <<https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/>>. Acessado em: 26 ago. 2021.

CHAUVAUD, L.; THOMPSON, J. K.; CLOERN, J. E.; THOUZEAU, G. **Clams as CO₂ generators: The *Potamocorbula amurensis* example in San Francisco Bay.** *Limnology and Oceanography*, v. 48, n. 6, p. 2086–2092, 2003.

CNI – Coordenação Nacional da Indústria. **Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável e Competitividade Industrial.** Brasília: Portal da Indústria, 2020. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2020/11/mecanismo-de-desenvolvimento-sustentavel-e-competitividade-industrial/>>. Acesso em: 02 set. 2021.

COTT, G. M.; BECA-CARRETERO, P.; STENGEL, D. B. **Blue Carbon and Marine Carbon Sequestration in Irish Waters and Coastal Habitats.** *Foras na Mara Marine Institute*, v. 1, p. 42, 2021.

DAME, R. F.; KENNETH, M. J. **Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem Approach.** 2. Ed. Flórida: EUA. CRC Press, 2011, 284p.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Greenhouse Gas Emissions from a typical passenger vehicle.** Washington DC, EUA: EPA, 5p., 2018. Disponível em: <<https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>>. Acesso em: 24 dez. 2021.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Aquicultura do Estado de Santa Catarina.** Florianópolis, SC, 2021. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaN2I1YzhiNzQtYzNiNS00MjVmLTg0N2UtNTM1YWJhYWFiODgyIiwidCI6ImExN2QwM2ZjLTRiYWVtNGI2OC1iZDY4LWUzOTYzYTJlYzRlNiJ9>>. Acesso em: 15 set. 2021. Base de Dados.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2019 - 2020.** Florianópolis, SC: EPAGRI, v. 1. 175 p., 2020. Disponível em: <https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepapublicacoes/Sintese_2019_20.pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.

ETESCO. **Benefícios Econômicos e Sociais da Expansão do Saneamento Básico**. Macaé, RJ: ETESCO, 2021. Disponível em: <<https://etesco.com.br/beneficios-economicos-e-sociais-da-expansao-do-saneamento-basico/>>. Acesso em: 21 dez. 2021.

FAO – Food and Agriculture Organization. **Fishery and Aquaculture Statistics 2018**. FAO Yearbook, Roma, Itália: v.1, 244p, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/fishery/static/Yearbook/YB2018_USBcard/navigation/index_intro_e.htm>. Acesso em: 10 ago. 2021.

FAO – Food and Agriculture Organization. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action**. FAO Report, Roma, Itália: v.1, 244p, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229en/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

FERNANDES, E. A.; LEITE, G. B. **Atuação dos projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo para o desenvolvimento sustentável no Brasil**. Revista de Economia Política, v. 41, n. 2, p. 351–371, 2021.

FILGUEIRA, R.; BYRON, C. J. ; COMEUAU, L. A. ; COSTA-PIERCE, B. ; CRANFORD, P. J. ; FERREIRA, J. G.; GRANT, J.; GUYONDET, T.; JANSEN, H. M. ; LANDRY, T. ; MCKINDSEY, C. W.; PETERSEN, J. K.; REID, G. K.; ROBINSON, S. M. C.; SMAAL, A.; SONIER, R.; STRAND, Ø.; STROHMEIER, T. **An integrated ecosystem approach for assessing the potential role of cultivated bivalve shells as part of the carbon trading system**. Marine Ecology Progress Series, v. 518, p. 281–287, 2015.

FILGUEIRA, R.; GRANT, J.; ROSLAND, R. **A comparison of Scope For Growth (SFG) and Dynamic Energy Budget (DEB) models applied to the blue mussel (*Mytilus edulis*)**. Journal of Sea Research, v. 66, n. 4, p. 403–410, 2011.

FILGUEIRA, R.; STROHMEIER, T.; STRAND, Ø. Regulating services of bivalve molluscs in the context of the carbon cycle and implications for ecosystem valuation. In: Smaal, A. C. *et al.*, **Goods and Services of Marine Bivalves**. Chaim, Suíça: Springer, ed. 1, p. 231–251, 2019.

FRANGETTO, F. W.; VEIGA, A. P. B.; LUEDEMANN, G. **Legado do MDL: impactos e lições aprendidas a partir da implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil**. Brasília: IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, v.1, 434 p., 2018.

FREITAS, V. **Sustainable Development Goals – engaging regions**. Estrasburgo, França: AES- Assembly of European Regions, 2019. Disponível em: < <https://aer.eu/sustainable-development-goals-engaging-regions/>>. Acessado em: 14 set. 2021.

GATUSO, J. P.; PICHON, M.; FRANKIGNOULLE, M. **Biological control of air-sea CO₂ fluxes: effect of photosynthetic and calcifying marine organism and ecosystems**. Marine Ecology Progress Series, v. 129, p. 307–312, 1995.

GIA - Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais. **Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura**: Paraná. Paraná: GIA, 2010. Disponível em: < [https://docs.ufpr.br/~edugeo/Planos_Litoral/PLDM/Volume 02 - Maricultura.pdf](https://docs.ufpr.br/~edugeo/Planos_Litoral/PLDM/Volume_02_-_Maricultura.pdf) />. Acesso em: 12 ago. 2021.

GIA - Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais. **Moluscos bivalves**. Paraná: GIA, 2013. Disponível em: <<https://gia.org.br/portal/moluscos-bilvalves/>>. Acesso em: 19 nov. 2021.

GOODWIN, P.; WILLIAMS, R. G.; FOLLOWS, M. J.; DUTKIEWICZ, S. **Ocean-atmosphere partitioning of anthropogenic carbon dioxide on centennial timescales**. Global Biogeochemical Cycles, v. 21, n. 1, p. 10, 2007.

GOSLING, E. **Marine Bivalve Molluscs**. 2nd. ed, Londres: Wiley-Blackwell, 2015, 536 p.

HILY, C.; GRALL, J.; CHAUVAUD, L.; LEJART, M. **CO₂ generation by calcified invertebrates along rocky shores of Brittany, France**. *Marine and Freshwater Research*, v. 64, n. 2, p. 91, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados da Aquicultura Brasileira**. São Paulo: IBGE, 2021a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940#resultado>>. Acesso em: 15 set. 2021. Base de Dados.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. São Paulo: IBGE, 2021b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/palhoca/pesquisa/38/47001?tipo=ranking>. Acesso em: 24 dez. 2021. Base de Dados.

IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission. **A Ciência que precisamos para o oceano que queremos: Década das Nações Unidas da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030)**. IOC, 2019. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265198_por>. Acesso em: 14 ago. 2021.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Legado do MDL: impactos e lições aprendidas a partir da implementação do mecanismo de desenvolvimento limpo no Brasil como subsídios para novos mecanismos**. Brasília: IPEA, 426p., 2018. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/181228_livro_mdsl.pdf. Acesso em: 01 nov. 2021.

IRIBARREN, D.; MOREIRA, M. T.; FEIJOO, G. **Life Cycle Assessment of Aquaculture Feed and Application to the Turbot Sector**. International Journal of Environment Resource, v. 6, n. 4, p. 837–848, 2012.

JANSEN, H.; VAN DEN BOGAART, L. **Blue carbon by marine bivalves: Perspective of Carbon sequestration by cultured and wild bivalve stocks in the Dutch coastal areas**. Wageningen Marine Research, Yerseke, Alemanha, v.1, 52p. 2020.

JIANG, Z. J.; FANG, J. G.; HAN, T. T.; MAO, Y. Z.; LI, J. Q.; DU, M. R. **The role of *Gracilaria lemaneiformis* in eliminating the dissolved inorganic carbon released from calcification and respiration process of *Chlamys farreri***. Journal of applied phycology, v. 26, n. 1, p. 545–550, 2014.

JØRGENSEN, C. B. **Bivalve filter feeding revisited**. Marine Ecology Progress Series, v. 142, p. 287–302, 1996.

JOSÉ, G. J. P. O. DE. **Maricultura em Santa Catarina: a cadeia produtiva gerada pelo esforço coordenado de pesquisa, extensão e desenvolvimento tecnológico.** Revista Eletrônica de Extensão da UFSC, v. 13, n. 24, p. 204–217, 2016.

KENNEDY, V. S.; MIHURSKY, J. A. **Effects of temperature on the respiratory metabolism of three Chesapeake Bay bivalves.** Chesapeake Science, v. 13, n. 1, p. 1–22, 1972.

LEJART, M.; CLAVIER, J.; CHAUVAUD, L.; HILY, C. **Respiration and calcification of *Crassostrea gigas*: contribution of an intertidal invasive species to coastal ecosystem CO₂ fluxes.** Estuaries and coasts, v. 35, n. 1, p. 622–632, 2012.

LIMA, S. A. M. **Trace elements in the shells of *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas* as tools for environmental monitoring in shellfish ecosystems.** 2018. 69 p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura, Meio Ambiente e Sociedade) – University of Highlands and Islands, Oban, 2018.

LU, C. **The Different Methods of Growing Oysters.** Pangea Shellfish Blog, Boston: EUA, Jun. 2015. Disponível em: < <https://www.pangeashellfish.com/blog/the-different-methods-of-growing-oysters>>. Acesso em: 24 Dez. 2021.

MANZONI, M.; LLOSA, S. (org.). **Critérios de Sustentabilidade para Projetos MDL no Brasil.** Manaus, AM: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), 31p, 2004. Disponível em: <https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2004/03/critérios_de_sustentabilidade_para_proje.pdf>.

MAO, Y.; LIN, F.; JANG, J.; FANG, J.; LI, J.; DU, M. Bivalve Production in China. In: SMAAL, A. *et al.*, **Goods and Services of Marine Bivalves.** 1. ed. Cham, Suíça. Springer, cap.4, p. 51–72, 2019.

MISTRI, M.; MUNARI, C. **Clam farming generates CO₂: A study case in the Marinetta lagoon (Italy).** Marine Pollution Bulletin, v. 64, n. 10, p. 2261–2264, 2012.

MONTAGNAC, V.; GUYONDET, T.; CORNEAU, L.; TREMBLAY, R. **Physiological differences between wild and cultured bivalves in Prince Edward Island, Canada**. Aquatic Living Resources, v. 33, n. 8, p. 11, 2020.

MORRIS, J. P.; BACKELJAU, T.; CHAPELLE, G. **Shells from aquaculture: a valuable biomaterial, not a nuisance waste product**. Reviews in Aquaculture, v. 0, p. 1–16, 2019.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Climate Change: How Do We Know?** California Institute of Technology, Califórnia: EUA, 2021. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/evidence/>>. Acesso em: 28 set. 2021.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide**. NOAA, 2021. Disponível em: <<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html#mlo>>. Acesso em: 28 set. 2021a.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. **What is a bivalve mollusk?**. NOAA, 2021. Disponível em: <<https://oceanservice.noaa.gov/facts/bivalve.html>>. Acesso em: 23 ago. 2021b.

PARAHYBA, R. E. **Calcário Agrícola**. Agência Nacional de Mineração (ANM). Brasília, DF, Séries Estatísticas e Economia Mineral, p. 536 – 545, 2013. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-1-2013-calcario-agricola>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

PAWIRO, S. Bivalves: global production and trade trends. In: REES, G. *et al.* (org.). **Safe Management of Shellfish and Harvest Waters**. 1. ed. Londres, Reino Unido: World Health Organization (WHO), 2010. p. 11–20.

PENRY-WILLIAMS, I. L.; LIMA, S. A. M. **Modelling Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*: Thunberg, 1793) Ecophysiology Under Climate Change Projections, for the Bourgneuf Bay, Pays de la Loire, France**. Relatório de disciplina: Managing Biological Life-Cycles: shellfish. Université de Nantes, 34 p., 2017.

PRIMAVESI, A. C. **Características de corretivos agrícolas**. São Carlos, Brasil. São Carlos: EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1.ed., 28p., 2004. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/42323/1/Doc37ACP2004.pdf>>.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; da ROCHA, R. P. **Entendendo o tempo e o clima na América do Sul**. Terrae Didatica, v. 8, n. 1, p. 34, 2015.

RODHOUSE, P. G.; RODEN, C. M.; HENSEY, M. P.; RYAN, T. H. **Resource allocation in *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture**. Marine Biology, v. 84, p. 27–34, 1984.

SARAIVA, S.; van der MEER, J.; KOOIJMAN, S. A. L. M.; WITBAARD, R.; PHILIPPART, C. J. M.; HIPPLER, D.; PARKER, R. **Validation of a Dynamic Energy Budget (DEB) model for the blue mussel *Mytilus edulis***. Marine Ecology Progress Series, v. 463, n. 1, p. 141–158, 2012.

SCALES, H. **Spirals in time: The Secret Life and Curious Afterlife of Seashells**. 1st. ed. Londres, Inglaterra: Bloomsbury Publishing, 2016, 304p.

SCHLOSSBERG, T. **O que é bom para o oceano também pode ser bom para o comércio**. O Estado de São Paulo, São Paulo, 05 set. 2021. Disponível em: <https://internacional.estadao.com.br/noticias/nytiw,sustentabilidade-meio-ambiente-oceanos,70003825250>. Acessado em: 06 set. 2021.

SCHULZ, F. **German cabinet agrees CO₂ price of €25 from January 2021**. Bruxelas: Euractiv, 2020. Disponível em: <<https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/german-cabinet-agrees-to-a-co2-price-of-e25-from-january-2021/>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SEBRAE. **Ostrecultura - Manual de Boas Práticas: Qualidade e Segurança para Bons Negócios**. Brasília, DF, 54 p., 2015. Disponível em:

<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/bis/ostreicultura-manual-de-boas-praticas,6f16974198962510VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acessado em: 23 set. 2021.

SHUMWAY, S. E. **Shellfish Aquaculture and the Environment**. Londres, Wiley, 2011.

SIEGENTHALER, U.; SARMIENTO, J. L. **Atmospheric carbon dioxide and the ocean**. *Nature*, v. 365, n. 6442, p. 119–125, 1993.

SILVA, R. P da. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. 2007, 152p. Tese (Doutorado em Manejo Florestal, Silvicultura) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.

SILVA, S. M. V. da; SPOLLE, M. V. **O trabalho feminino nas fábricas de conserva de pescado: a permanência de uma exploração laboral**. *Scripta Nova: Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*. [online]. Barcelona: Universidad de Barcelona vol. 18, n. 464, 2013. Disponível em: <<http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-464.htm>>. Acessado em: 12 out. 2021.

SOUZA, R. V.; NOVAES, A. L. T. **Boas práticas ambientais para o cultivo de moluscos em Santa Catarina, Brasil**. Florianópolis, SC: EPAGRI, 25 p., 2016. Disponível em: <https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_epagri/Cedap/Publicacao-Seriada/9-Publicacao-seriada-maricultura-ostra-mexilhao-licenciamento-impactos-risco.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2021.

SPINOLA, C. **Educação Profissional Gerando Mais Oportunidades**. *Revista Novos Caminhos*, v.1, p. 59–61, 2021.

TAMBURINI, E.; FANO, E. A.; CASTALDELLI, G.; TUROLLA, E. **Life Cycle Assessment of Oyster Farming in the Po Delta, Northern Italy**. *Resources*, v. 8, n. 4, p. 170, 2019.

UNITED NATIONS. **United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3-14 June 1992**. United Nations. Disponível em: <<https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992>>. Acesso em: 19 nov. 2021a.

UNITED NATIONS. **What is the Kyoto Protocol?** United Nations Climate Change, 2021. Disponível em: <https://unfccc.int/kyoto_protocol>. Acesso em: 19 nov. 2021b.

UNITED NATIONS. **The Paris Agreement.** United Nations Climate Change. Disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>. Acesso em: 10 dez. 2021c.

VAN DER MEER, J. **An introduction to Dynamic Energy Budget (DEB) models with special emphasis on parameter estimation.** Journal of Sea Research, v. 56, n. 2, p. 85–102, 2006.

VAN DER VEER, H.; CARDOSO, J. F. M. F.; VAN DER MEER, J. **The estimation of DEB parameters for various North Atlantic bivalve species.** Journal of Sea Research, v. 56, n. 1, p. 107–124, 2006.

WIJSMAN, J. W. M.; TROOST, K.; FANG, J.; RONCARATI, A. Global Production of Marine Bivalves. Trends and Challenges. In: SMAAL, A. *et al.*, **Goods and Services of Marine Bivalves.** 1. ed. Cham, Suíça. Springer, cap. 2, p. 7–26, 2019.

WIKIPÉDIA, **Gramma.** In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. [São Francisco, CA: Fundação Wikimedia], 2017. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Gramma>>. Acesso em: 12 nov. 2021.

YUKIHIRA, H.; KLUMPP, D. W.; LUCAS, J. S. Effects of Body Size on Suspension Feeding and Energy Budgets of the Pearl Oyster *Pinctada Margaritifera* and *P. Maxima.* **Marine Ecology Progress Series**, v. 170, n. 1, p. 119–130, 1998.

