

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

CATEGORIAS DE IMPACTO PARA DESCARTE OFFSHORE DE CASCALHOS DE PERFURAÇÃO EM ACV: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

AUTORES:

Bruna Cerati Carvalho, Mariana de Souza, Vitória Baldança de Oliveira, Henrique Rogério Antunes de Souza Junior, Sebastião Roberto Soares

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

CATEGORIAS DE IMPACTO PARA DESCARTE OFFSHORE DE CASCALHOS DE PERFURAÇÃO EM ACV: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Resumo

A perfuração de poços de petróleo está associada à geração de resíduos, em especial os cascalhos de perfuração. No Brasil, a principal forma de destinação final dos cascalhos é o descarte no mar, após tratamento primário e/ou secundário em plataforma. Atualmente, na metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a única categoria de impacto capaz de quantificar impactos potenciais dos cascalhos de perfuração no mar é a categoria “ecotoxicidade marinha”, que avalia os potenciais efeitos e danos causados pela emissão de substâncias tóxicas aos ecossistemas marinhos. Entretanto, o potencial de causar ecotoxicidade não é o único impacto ambiental importante a ser considerado quanto se trata do descarte *offshore* dos cascalhos. Os cascalhos, a depender do tamanho da partícula, do tipo de fluido aderido e da carga de compostos orgânicos, tendem a se acumular no assoalho oceânico, a formar pilhas, ou a se dispersar em plumas e persistir na coluna d’água por semanas ou meses até sedimentarem. Atualmente, não há nenhuma categoria de impacto consolidada em ACV para avaliar impactos oriundos dos efeitos físicos das partículas de cascalhos. O objetivo desse trabalho é apresentar resultados preliminares de uma revisão sistemática, que visou identificar potenciais iniciativas de categorias de impacto para o ambiente marinho na literatura de ACV para, em etapas subsequentes, avaliar o seu potencial de adaptação e aplicação no contexto do setor petrolífero brasileiro. Para isso, foram utilizados os portais de periódicos *Scopus*, *SpringerLink* e *Web Of Science*. A operação booleana aplicada aos títulos e resumos foi (“lca” OR “life cycle assessment” AND “marine” OR “ocean” OR “sea” OR “seafloor” OR “seabed” OR “sediment” OR “sea use” AND “characterization” OR “characterisation” OR “framework” OR “approach”). Após os retornos quantitativos, seguiu-se para etapa de revisão qualitativa, em que foram lidos os títulos e resumos e selecionados artigos que abordavam iniciativas de categorias de impacto para o ambiente marinho em ACV. Nessa etapa, 21 artigos foram selecionados. Entre os frameworks identificados, se destacaram as categorias emergentes de “acidificação marinha”, “turbidez”, “soterramento de organismos bentônicos”, “ocupação da superfície marinha” e “ocupação e transformação do assoalho oceânico”. Essas abordagens são brevemente apresentadas nesse artigo, de maneira a identificar seu grau de maturidade e potencial de adaptação para representar os impactos dos cascalhos de perfuração. Este trabalho está em andamento e é parte de uma pesquisa de doutorado, possibilitada pela parceria entre o CICLOG/UFSC e a PETROBRAS S.A.

Palavras-chave: cascalhos de perfuração, análise do ciclo de vida, categorias de impacto.

Abstract

Oil well drilling activities are associated with waste generation, particularly drill cuttings. In Brazil, the primary alternative for managing drill cuttings at the end of their life is offshore disposal, following primary and/or secondary treatment on the rig. Currently, in the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, the only impact category capable of quantifying the potential impacts of drill cuttings in marine ecosystems is the “marine ecotoxicity” category. This category assesses the potential effects and damages caused by the emission of toxic substances into marine environments. However, ecotoxicity is not the sole important environmental impact to consider when it comes to offshore cuttings disposal. Depending on factors such as particle size, the type of fluid attached, and the load of organic compounds,

cuttings tend to accumulate on the seafloor, form piles, or disperse into plumes, persisting in the water column for weeks or months until they settle. Currently, there is no consolidated impact category in LCA to assess the impacts arising from the physical effects of cutting particles. The objective of this work is to present the preliminary results of a systematic review. The review aims to identify potential impact categories for the marine environment in LCA literature. Subsequent stages will evaluate the possibilities for adaptation and/or application in the Brazilian oil sector context. We utilized scientific research platforms such as *Scopus*, *SpringerLink*, and *Web Of Science*. The Boolean operation applied to titles and abstracts was: (“lca” OR “life cycle assessment” AND “marine” OR “ocean” OR “sea” OR “seafloor” OR “seabed” OR “sediment” OR “sea use” AND “characterization” OR “framework” OR “approach”). After obtaining quantitative results, we proceeded to the qualitative review stage. During this stage, we read titles and abstracts and selected articles that addressed impact category initiatives for the marine environment. In total, we identified 21 scientific papers. Among the frameworks identified, emerging categories such as “ocean acidification,” “turbidity,” “burial of benthic organisms,” “occupation of the sea surface,” and “occupation and transformation of the seafloor” stood out. These approaches are briefly presented in this article, with the goal of later assessing their degree of maturity and potential for representing the impacts of drilling cuttings. This ongoing work is part of a doctoral research project made possible through a partnership between CICLOG/UFSC and PETROBRAS S.A.

Keywords: drill cuttings, life cycle assessment, impact categories.

Introdução

A atividade de perfuração de poços de petróleo está associada à geração de resíduos, em especial os fragmentos de rochas denominados cascalhos de perfuração (IPEA, 2012). Esses resíduos se destacam devido ao grande volume gerado, às dificuldades em seu gerenciamento e à presença de contaminantes em sua composição (IOGP, 2016). São diversas as alternativas de gestão dos resíduos de perfuração disponíveis. Os cascalhos de perfuração podem ser dispostos diretamente no oceano, reinjetados em uma formação rochosa adequada, ou ainda transportados até o continente para tratamento em terra, disposição final ou reutilização em outra atividade (IOGP, 2016).

No Brasil e no mundo, a principal forma de destinação final dos cascalhos é o descarte no mar, após tratamento em plataforma que visa reduzir a carga de substâncias químicas aderidas, oriundas dos fluidos de perfuração e do óleo cru (IPEA, 2012). Esse tipo de disposição final é comum ao redor do mundo devido aos baixos custos envolvidos e a simplicidade do processo, já que não envolve transporte dos cascalhos até a costa e não necessita de infraestrutura de tratamento em terra (IOGP, 2016). A quantidade de substâncias químicas que podem ser lançados ao mar por meio da descarga desses resíduos tem limites específicos e é regulada por meio de legislações específicas de cada país, baseadas na experiência prévia e avanços das tecnologias de perfuração e operação na região (IBP, 2021).

Atualmente, na metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a única categoria de impacto capaz de quantificar impactos potenciais da disposição dos cascalhos de perfuração no mar é a categoria de “ecotoxicidade marinha”, que avalia os potenciais efeitos e danos causados pela emissão de substâncias tóxicas aos ecossistemas marinhos (Veltman et al., 2011). A outra categoria de impacto disponível para o ambiente marinho, denominada “eutrofização marinha”, na maioria dos casos não se aplica aos cascalhos de perfuração, pois os mesmos raramente conterão cargas significativas de compostos de nitrogênio, principal nutriente limitante no mar. Os modelos de caracterização disponíveis para a

ecotoxicidade marinha avaliam aspectos tais como o transporte e dispersão das substâncias, a biodisponibilidade aos organismos marinhos, os efeitos toxicológicos, e as potenciais perdas de espécies relacionadas à exposição aos compostos tóxicos (Fantke et al., 2018). Essa categoria de impacto é especialmente útil para quantificar impactos oriundos das substâncias químicas aderidas aos fragmentos de cascalhos em comunidades pelágicas marinhas. Para ecotoxicidade em sedimento, ainda não há nenhuma categoria de impacto consolidada.

De acordo com o IOGP (2021), o potencial de causar ecotoxicidade em ambiente marinho não é o único impacto ambiental importante a ser considerado quanto se trata do descarte dos cascalhos em alto mar. Certos tipos de cascalhos, a depender do tamanho da partícula, do tipo de fluido aderido e da carga de compostos orgânicos, além de condições ambientais como a profundidade da coluna d'água, tendem a se acumular no assoalho oceânico. O acúmulo de cascalhos de perfuração no fundo do mar pode causar alterações físico-químicas na composição dos sedimentos, soterramento e asfixia de organismos bentônicos, e transformação de habitats (IOGP, 2016). No caso dos cascalhos que não sedimentam tão rapidamente após a emissão, mas que tendem a formar plumas de dispersão e persistir da coluna d'água por semanas ou meses até sedimentarem, os impactos estão relacionados principalmente ao aumento da turbidez na coluna d'água, que pode temporariamente reduzir a produtividade primária do fitoplâncton (Veltman et al., 2011).

Atualmente, não há nenhuma categoria de impacto disponível nos principais métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) para avaliar impactos oriundos de intervenções físicas de resíduos, tais como os cascalhos de perfuração, nos ecossistemas marinhos. Devido a isso, o objetivo desse trabalho é apresentar resultados preliminares de uma revisão sistemática, que visou identificar potenciais iniciativas de categorias de impacto para o ambiente marinho na literatura de ACV para, em etapas subsequentes, avaliar o seu potencial de adaptação e aplicação no contexto do setor petrolífero brasileiro.

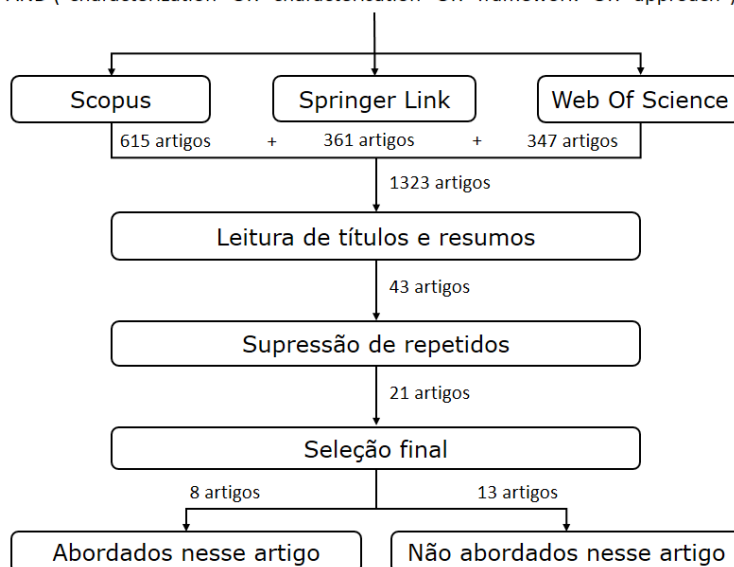
Metodologia

O objetivo da revisão sistemática foi responder às seguintes perguntas de pesquisa:

- i. Quais são as categorias de impacto no ambiente marinho disponíveis na literatura de ACV?
- ii. Há potencial de utilização e/ou adaptação dessas categorias de impacto para o setor nacional do petróleo?

A revisão sistemática foi realizada conforme as seguintes etapas, apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**: a) busca dos artigos de interesse em portais de periódicos; b) leitura de artigos e resumos e seleção dos artigos potenciais por meio da aplicação de critérios de inclusão e exclusão; c) supressão de artigos repetidos, e d) seleção dos artigos abordados no presente trabalho. A etapa de *snowballing*, comumente utilizada em revisões sistemáticas, não é apresentada no presente artigo por estar, atualmente, em andamento.

Figura 1 – Estrutura da revisão sistemática e resultados quantitativos.
 Combinações de palavras-chave: ("lca" OR "life cycle assessment") AND ("marine"
 OR "ocean" OR "sea" OR "seafloor" OR "seabed" OR "sediment" OR "sea use")
 AND ("characterization" OR "characterisation" OR "framework" OR "approach")¹



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Optou-se por realizar as buscas nos portais de periódicos *Scopus*, *Springer Link* e *Web Of Science*, por meio da combinação de palavras-chave relacionadas ao tema da pesquisa (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Nessa etapa, buscou-se identificar artigos que abordassem iniciativas de categorias de impacto com potencial de serem utilizadas e/ou adaptadas para a avaliação de impactos potenciais do ciclo de vida da perfuração de poços de petróleo, com ênfase na rota de descarte *offshore* de cascalhos de perfuração. Nos portais *Scopus* e *Web Of Science*, a busca foi limitada a palavras-chaves presentes em títulos e resumos, de maneira a refinar os resultados quantitativos da pesquisa. No portal *SpringerLink*, mesmo com a pesquisa limitada à títulos e resumos, os retornos foram superiores a 1000 artigos. Esse portal não mostra os resultados acima de 1000 e, devido a isso, optou-se por limitar a pesquisa somente a títulos nessa plataforma. Em todos os portais, as buscas foram refinadas para mostrar somente artigos científicos e não foi especificado limite de tempo ou idioma. Na etapa de leitura de títulos e resumos, aplicou-se os critérios de inclusão e exclusão especificados no Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios de inclusão e exclusão de artigos da revisão sistemática.

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Artigos científicos metodológicos e de revisão que abordam iniciativas (<i>i.e.</i>, ¹modelos de caracterização, ²fatores de caracterização (FCs), <i>frameworks</i>) e/ou estado da arte de categorias de impacto no mar, com potencial de serem aplicadas e/ou adaptadas para o setor do petróleo.	- Artigos científicos referentes à categorias de impacto marinho já implementadas em métodos consolidados de AICV, tais como ecotoxicidade marinha em coluna d'água e eutrofização marinha; - Artigos científicos referentes à categorias de impacto relacionadas à depleção de recursos bióticos (<i>e.g.</i>, pesca, aquicultura) e outros impactos potenciais que não são aplicáveis ao setor do petróleo.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024). ¹Modelos numéricos capazes de calcular fatores de caracterização, específicos para cada categoria de impacto. ²Fatores que convertem o inventário do ciclo de vida em impacto ambiental quantificado, calculados a partir de modelos de caracterização.

Após a etapa de leitura de títulos e resumos, foram selecionados os artigos potenciais de acordo com os critérios do Quadro 1 e, posteriormente, removidos os duplicados, totalizando 21 artigos de interesse. Optou-se por apresentar e descrever o total de 8 artigos da revisão no presente trabalho, por questões de limitação de espaço. Foram priorizados aqueles considerados os mais próximos do tema em questão. Os outros 13 artigos não foram apresentados por se tratarem de:

- Trabalhos que propuseram *frameworks*, modelos e/ou FCs para impactos físicos de partículas plásticas no oceano, cujo potencial para serem adaptados para o setor do petróleo (*e.g.*, descarte de cascalhos no mar) ainda precisa ser melhor compreendido pelo grupo de pesquisa;
- Trabalhos de suporte para a compreensão de outros artigos, em que optou-se por apresentar somente o artigo principal;
- Trabalhos de revisão sistemática.

Resultados e Discussão

O Quadro 2 apresenta os oito artigos abordados neste trabalho, em conjunto a informações relativas a autoria, ano de publicação e categorias de impacto propostas.

Quadro 2 – Artigos selecionados na revisão sistemática.

Título	Autoria	Ano	Categoria(s) potencial(is)
Accounting for the occupation of the marine environment as a natural resource in life cycle assessment: An exergy based approach	Taelman et al.	2014	Uso e ocupação da superfície do oceano
Characterization factors for ocean acidification impacts on marine biodiversity	Scherer, Gürdal e Bodegom	2022	Acidificação marinha
Characterization model to assess ocean acidification within life cycle assessment	Bach et al.	2016	Acidificação marinha
Development of a life cycle impact assessment framework accounting for biodiversity in deep seafloor ecosystems: A case study on the Clarion Clipperton Fracture Zone	Préat et al.	2021	Ocupação e transformação do assoalho oceânico
Ecosystem damage from anthropogenic seabed disturbance: A life cycle impact assessment characterisation model	Woods e Verones	2019	Ocupação e transformação do assoalho oceânico
Including impacts of particulate emissions on marine ecosystems in life cycle assessment: The case of offshore oil and gas production	Veltman et al.	2011	Turbidez e soterramento de organismos bentônicos
Making marine noise pollution impacts heard: The case of cetaceans in the North Sea within life cycle impact assessment	Middel e Verones	2017	Poluição sonora marinha
Offshore Wind Energy and Marine Biodiversity in the North Sea: Life Cycle Impact Assessment for Benthic Communities	Li et al.	2023	Ocupação de assoalho oceânico, recifes artificiais e arrasto de fundo evitado ¹

Fonte: Elaborado pelos autores (2024). ¹Criação de recifes artificiais e arrasto de fundo evitado foram considerados impactos positivos nesse trabalho.

O artigo de Taelman et al. (2014) traz uma abordagem de categoria de impacto para uso e ocupação da superfície do oceano, propondo FCs baseados no conceito de exergia (*i.e.*, trabalho máximo que um

sistema pode entregar em equilíbrio com o seu ambiente, fornece um indicativo da qualidade e quantidade de recurso disponível). Essa categoria surgiu como um complemento ao método de AICV *Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment* (CEENE) (Dewulf et al., 2007) que, até então, avaliava a perda de recursos naturais por meio do cálculo da queda da Produção Primária Líquida (NPP), mas não apresentava qualquer categoria relacionada ao ambiente marinho. O artigo fornece o modelo pronto para aplicação e facilmente implementável em *softwares* de ACV e, adicionalmente, FCs que estendem o impacto até o assoalho oceânico. Porém, limitações na sua aplicação para o assoalho oceânico são ressaltadas, tais como o fato de esses ecossistemas estarem, muitas vezes, localizados abaixo da zona produtiva dos mares, o que reduziria a aplicabilidade do modelo para avaliar impactos de deposição de cascalhos no assoalho oceânico. Por outro lado, o modelo apresenta potencial de quantificação de impactos da ocupação da superfície pela plataforma e navios de transporte de insumos e equipamentos.

A acidificação marinha se destaca com dois trabalhos relacionados ao tema. Ambos os artigos, de Bach et al. (2016) e Scherer et al. (2022), apresentam FCs prontos para uso em estudos de ACV e facilmente implementáveis em *software*, para acidificação marinha relacionada a emissões atmosféricas dos gases CO₂, CO e CH₄. O reporte dos resultados, em termos de impacto, é feito por métricas relacionadas à mudanças na biodiversidade marinha, sendo utilizado o indicador PAF¹, no caso de Bach et al. (2016), e PDF², em Scherer et al. (2022). Além da metodologia de cálculo, o que difere de maneira importante ambos os modelos é a possibilidade de regionalização apresentada em Scherer et al. (2022). Os autores desenvolveram seus FCs com base em dados de cinco táxons e três zonas climáticas, o que resultou em grupos de FCs para espécies mais sensíveis e menos sensíveis às mudanças de pH do oceano. O estudo de Bach et al. (2016), que serviu de base para o trabalho de Scherer et al. (2022), desenvolve fatores somente a nível global. No contexto da indústria petrolífera, esses FCs não servem para avaliar os impactos causados pelas descargas de cascalhos de perfuração no mar. Entretanto, eles são aplicáveis à outras etapas do ciclo de vida das atividades de perfuração, em especial àquelas cujas emissões atmosféricas dos gases avaliados consistem em aspectos ambientais importantes.

Woods e Verones (2019) trazem um modelo de cálculo de FCs parametrizados para 17 ecorregiões da Europa, com foco em impactos únicos (uma intervenção) e recorrentes (intervenção repetidas) na biodiversidade (PDF) decorrentes da ocupação e transformação do assoalho oceânico. O foco desse modelo é em atividades que causam abrasão e/ou extração do sedimento e conseqüentemente, impactam os organismos bentônicos. Os autores exemplificam a aplicação dos FCs em um estudo de caso para o cultivo de um tipo de lagosta na região da Noruega.

Por fim, o artigo de Veltman et al. (2011) pode ser considerado um dos mais aderentes à área de pesquisa. Foram desenvolvidos FCs específicos para categorias de impacto relacionadas às emissões do setor do petróleo, tais como o descarte de fluidos e de cascalhos de perfuração. Especificamente, os FCs são úteis para cálculo dos efeitos nas espécies (PAF) decorrentes do aumento da turbidez na coluna d'água, devido à partículas de fluidos e cascalhos, e do soterramento de organismos bentônicos, relacionado à deposição

¹PAF = *Potentially Affected Fraction of Species*, representa a fração das espécies expostas acima da CENO (Concentração de efeito não-observado) da substância.

²PDF = *Potentially Disappeared Fraction of Species*, mede as mudanças na diversidade de espécies e é integrado ao longo de um tempo e uma área específica.

dos cascalhos no assoalho oceânico. Os FCs foram desenvolvidos especificamente para as condições ambientais do Mar do Norte e características de descarga das petroleiras da Noruega e região.

Por mais que apresentem potencial de utilização em estudos de ACV para o ciclo de vida do petróleo, os modelos de Li et al. (2023), Prétat et al. (2021), Woods e Verones (2019) e Veltman et al. (2011) enfrentam alguns desafios e limitações. Esses estão relacionados especialmente à necessidade de adaptação das categorias para o contexto petrolífero e ambiental brasileiro e, consequentemente, ao levantamento e coleta dos dados necessários para tal. Entre os modelos, três foram desenvolvidos e/ou parametrizados para o Mar do Norte e arredores, com exceção do modelo de Prétat et al., (2021), aplicável globalmente. As condições ambientais dessa região se caracterizam por águas mais rasas, temperaturas mais baixas e, consequentemente, resultam em um comportamento de dispersão e deposição de resíduos consideravelmente diferente ao que ocorre nas bacias brasileiras. Ademais, a coleta de dados de inventário e outros necessários para alimentar os FCs, tais como a área de ocupação dos cascalhos de perfuração após o descarte e a espessura dessa camada, não é um processo simples, podendo exigir a utilização de modelos específicos de simulação de descarga de resíduos petrolíferos no mar, tais como o *Dose-Related Risk and Effect Assessment Model* (DREAM). Adicionalmente, tais modelos também precisam ser alimentados com informações e dados específicos das descargas de resíduos, ecotoxicidade das substâncias aderentes, taxa de descarga, características do ecossistema, etc.

Por fim, a última categoria apresentada se refere aos impactos da poluição sonora na biodiversidade marinha, proposta no artigo de Middel e Verones (2017). Os autores calcularam FCs relacionados ao ruído emitido por parques eólicos *offshore* no Mar do Norte, considerando o comportamento de fuga de indivíduos de espécies de cetáceos como um impacto de perda de habitat temporário. O modelo foi testado em um estudo de caso para um parque eólico da região. Em questões de aplicabilidade ao ciclo de vida da perfuração de poços de petróleo, essa categoria de impacto apresenta potencial nas etapas *offshore*, tais como as logísticas, operação da plataforma, e a atividade de perfuração em si. Limitações a ela relacionadas foram apontadas pelos próprios autores, tais como restrições geográficas de aplicabilidade, baixa cobertura taxonômica pelo modelo de caracterização, e baixa sofisticação dos modelos de propagação de ruídos utilizados no cálculo dos FCs.

Conclusões

A literatura científica de ACV compreende iniciativas de categorias de impacto para o ambiente marinho, com potencial de serem diretamente aplicadas no ciclo de vida das atividades de perfuração de poços de petróleo *offshore* no Brasil, tais como a acidificação marinha e a ocupação da superfície oceânica. Por outro lado, categorias relacionadas à ocupação e transformação do assoalho oceânico, turbidez e poluição sonora, em sua maioria, necessitam de adaptações que as tornem mais representativas dos ecossistemas marinhos brasileiros e das condições locais de operação e descarga de resíduos de perfuração. Cada categoria tem equações próprias para cálculo dos FCs, apresentando, assim, limitações e desafios individuais. Em geral, para aplicar e/ou adaptar as categorias identificadas, os principais desafios incluem a coleta de dados de inventário, específicas para cada caso, e de dados necessários para alimentar os fatores de caracterização. Muitas vezes, será necessário o estudo e conhecimento de modelos adicionais e externos ao contexto da ACV para gerar os FCs, tais como aqueles associados à simulação de dispersão de resíduos e de ondas sonoras em ambiente marinho.

Como etapas futuras dessa pesquisa, pretende-se finalizar a revisão sistemática por meio da etapa de *snowballing* e selecionar uma ou mais categorias de impacto para adaptação e posterior aplicação ao contexto de uma indústria petrolífera brasileira.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o suporte da Agência Nacional do Petróleo (ANP), da Fundação de Amparo à Pesquisa de Santa Catarina (FAPESC) e da Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS).

Referências Bibliográficas

BACH, V.; MÖLLER, F.; FINOGENOVA, N.; EMARA, Y.; FINKBEINER, M. Characterization model to assess ocean acidification within life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p.1463-1472, 2016.

DEWULF, J.; BÖSCH, M.E.; MEESTER, B.D.; VORST, G.V.D.; LANGENHOVE, H.V.; HELLWEG, S.; HUIJBREGTS, M.A. Cumulative exergy extraction from the natural environment (CEENE): a comprehensive life cycle impact assessment method for resource accounting. **Environmental Science & Technology**, p. 41, v. 24, p. 8477-8483, 2007.

FANTKE, P.; AURISANO, N.; BARE, J.; BACKHAUS, T.; BULLE, C.; CHAPMAN, P. M. et al. Toward Harmonizing Ecotoxicity Characterization in Life Cycle Assessment. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 37, n. 12, p. 2955-71, dez. 2018.

IBP – INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. **Avaliação de opções para a destinação do cascalho gerado na perfuração de poços marítimos no Brasil**. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Associação Brasileira de Empresas de Exploração e Produção de Petróleo e Gás. Rio de Janeiro: IBP, 2021 – Caderno de Boas Práticas, v.1. 410p.

IOGP – INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR OIL & GAS PRODUCERS. **Environmental fates and effects of ocean discharge of drill cuttings and associated drilling fluids from offshore oil and gas operations**. Report 543, mar. 2016, 144p.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural**. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

LI, C., COOLEN, J. W., SCHERER, L., MOGOLLÓN, J. M., BRAECKMAN, U., VANAVERBEKE, J., STEUBING, B. Offshore wind energy and marine biodiversity in the North Sea: life cycle impact assessment for benthic communities. **Environmental Science & Technology**, v. 57, n. 16, p. 6455-6464, 2023.

MIDDEL, H.; VERONES, F. Making marine noise pollution impacts heard: the case of cetaceans in the North Sea within life cycle impact assessment. **Sustainability**, v. 9, n. 7, p.1138, 2017.

PRÉAT, N.; LEFAIBLE, N.; ALVARENGA, R. A. F.; TAELMAN, S. E.; DEWULF, J. Development of a life cycle impact assessment framework accounting for biodiversity in deep seafloor ecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 770, p. 144747, 20 mai. 2021.

SCHERER, L.; GÜRDAL, İ.; VAN BODEGOM, P.M. 2022. Characterization factors for ocean acidification impacts on marine biodiversity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 26, n. 6, p.2069-2079, 2022.

VELTMAN, K.; HUIJBREGTS, M. A. J.; RYE, H.; HERTWICH, E. G. Including Impacts of Particulate Emissions on Marine Ecosystems in Life Cycle Assessment: The Case of Offshore Oil and Gas Production. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 7, n. 4, p. 678-686, 2011.

WOODS, J. S.; VERONES, F. Ecosystem damage from anthropogenic seabed disturbance: A life cycle impact assessment characterisation model. **Science of The Total Environment**, v. 649, p. 1481-90, 1 fev. 2019.