

11º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO PARA A PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

AUTORES:

Luiza Gelbcke Comin¹, Rafaela Gonçalves de Almeida², Eula Jurca Gomes², Henrique Rogerio Antunes de Souza Junior^{1,3}, Sebastião Roberto Soares^{1,2}

INSTITUIÇÃO:

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida (CICLOG), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
²Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, CICLOG, UFSC;
³EnCiclo Soluções Sustentáveis.

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO PARA A PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Resumo

Os fluidos de perfuração são comumente utilizados na perfuração de poços de petróleo, sendo os responsáveis por trazer para a superfície os cascalhos das rochas perfuradas. Algumas matérias-primas aplicadas na constituição dos fluidos de perfuração podem ter potencial de causar danos ao meio marinho, e ainda que a mistura fluido/cascalho seja tratada, parte do fluido pode ficar aderido no cascalho, podendo impossibilitar seu descarte em alto mar, desencadeando assim a necessidade de transporte destes resíduos até terra firme. Para avaliar os impactos ambientais potenciais dos diferentes e possíveis fins de vida para os cascalhos de perfuração, seja em alto mar, seja em terra firme, estudos de avaliação do ciclo de vida (ACV) estão sendo desenvolvidos. Além da ACV tradicional, para abranger as viabilidades técnicas das alternativas, estudos de avaliação econômica do ciclo de vida (AECV) também serão aplicados. Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo compreender o atual estado de desenvolvimento da AECV, de forma a identificar e entender suas características, para num segundo momento determinar qual é a forma mais adequada de aplicar a AECV para quantificar as viabilidades técnicas do ciclo de vida da perfuração de poços de petróleo, com ênfase na etapa de disposição final dos cascalhos. Nesse artigo, serão apresentados os resultados da revisão bibliográfica para identificação dos estudos potenciais que utilizam a AECV. A revisão quantitativa foi realizada nos portais de periódicos *Web of Science*, *Scopus* e *SpringerLink*. Na compilação inicial dos estudos relacionados ao tema, foram selecionados 69 artigos que abordavam a AECV para diversos usos, sendo a maioria aplicada para o setor de construção civil, e nenhum relacionado com o setor petrolífero, o que indica a lacuna de conhecimento a ser preenchida por este estudo.

Palavras-chave: Perfuração *offshore*; Resíduos de perfuração; Tratamentos *onshore*; Avaliação Econômica do Ciclo de Vida; Viabilidade técnica.

Abstract

Drilling fluids are commonly used in the drilling of oil wells, being responsible for bringing the gravels of the drilled rocks to the surface. Some raw materials used in the formation of drilling fluids may have the potential to cause damage to the marine environment, and even if the fluid/gravel mixture is treated, part of the fluid may be adhered to the gravel, which may make its disposal on the high seas impossible, triggering thus the need to transport these residues to land. To assess the potential environmental impacts of different and possible life ends for drill cuttings, whether offshore or onshore, life cycle assessment (LCA) studies are being developed. In addition to traditional LCA, to cover the technical feasibility of alternatives, life cycle cost (LCC) studies will also be applied. In this sense, this work aims to understand the current state of development of the LCC, in order to identify and understand its characteristics, and in a second moment to determine what is the most appropriate way to apply the LCC to quantify the technical viability of the life cycle of oil well drilling, with emphasis on the final disposal stage of the cuttings. In this article, the results of the literature review will be presented to identify potential studies that use the LCC. The quantitative review was performed on the Web of Science, Scopus and SpringerLink journal portals. In the initial compilation of studies

related to the topic, sixty-nine articles were selected that addressed the LCC for different uses, most of which were applied to the civil construction sector, and none related to the oil sector, which indicates the gap in knowledge to be completed by this study.

Keywords: Offshore drilling; Drilling waste; Onshore treatments; Life cycle cost; Technical viability.

Introdução

A indústria petrolífera constitui-se de diversas atividades ao longo da cadeia produtiva, dentre elas, as atividades de exploração. No entanto, o processo de perfuração de poços para exploração de petróleo acarreta diversos impactos ambientais, principalmente através da geração de grande volume de resíduos, em especial cascalhos e fluidos de perfuração. Esses impactos podem causar diversos danos à biodiversidade marinha, sendo imprescindível, a regulamentação apropriada para impor as diretrizes necessárias no manejo desses resíduos (IOGP, 2016).

Em 2018 foi publicada, pelo Ministério do Meio Ambiente e IBAMA, a Instrução Normativa nº 01/2018 (IBAMA, 2018), que define diretrizes que regulamentam as condições ambientais de uso e descarte de fluidos, cascalhos e pastas de cimento. Desta forma, a IN 01/2018 estabelece que os resíduos decorrentes de perfuração de poços de petróleo só poderão ser descartados *in-loco* se satisfizerem certos critérios ambientais. Caso contrário, o manejo envolverá o transporte a terra firme para tratamento prévio antes do descarte. Em 2019, o IBAMA suspendeu essas diretrizes, através da Instrução Normativa nº 11/2019 (IBAMA, 2019), considerando que há diferentes alternativas para a destinação correta, as quais podem causar impactos menos danosos ao ambiente natural. Assim, torna-se necessária a análise de cenários admissíveis para a tomada de decisão, de modo a definir instrumentos legais para proteção do meio ambiente.

Trazer os resíduos de perfuração para serem tratados e dispostos de forma *onshore* gera impactos ambientais e econômicos, que precisam ser avaliados. Para isso, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) torna-se um importante instrumento de análise e gestão ambiental, uma vez que é capaz de avaliar o desempenho ambiental dos produtos durante as diversas etapas do seu ciclo de produção (JACQUEMIN; PONTALIER; SABLAYROLLES, 2012), e pode ser usada neste contexto, para quantificar os impactos ambientais das diversas fases da perfuração dos poços de petróleo, e tratamentos em fim de vida dos resíduos gerados. A ACV segue padrões estabelecidos pelas normas ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009, e é composta por quatro fases, sendo elas, definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e por fim interpretação (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b).

Para auxiliar na avaliação da empregabilidade de trazer os resíduos para serem tratados em terra, em termos econômicos, a Avaliação Econômica do Ciclo de Vida (AECV) pode ser uma metodologia adequada. A AECV constitui-se do cálculo do custo total de um produto ao longo de sua vida útil (GUNDES, 2016), e pode ser conduzida em paralelo a ACV, auxiliando na tomada de decisão. O método, no entanto, necessita de um padrão geral com diretrizes específicas para suas diversas aplicações, assim como existe para a ACV (LI et al., 2019). Por não ter um padrão geral,

existem diversos conceitos de AECV, normas e guias de como conduzir a AECV em diferentes contextos e existem várias formas de aplicação (MIAH; KOH; STONE, 2017), tornando a metodologia fragilizada em termos de consolidação.

Com base nisso, o presente trabalho busca compreender o atual estado de desenvolvimento da AECV, a partir de revisão sistemática da literatura, visando subsidiar a estruturação de modelos de AECV para processos de perfuração de poços de óleo e gás.

Metodologia

Uma revisão sistemática da literatura foi feita a fim de identificar os métodos de AECV potenciais para a perfuração de poços de petróleo. Desse modo, realizou-se um levantamento quantitativo de artigos nas bases *Scopus*, *Springerlink* e *Web of Science*. Foram usadas diferentes combinações de palavras-chave (Quadro 1). Foram definidos como filtros a serem aplicados na pesquisa a língua inglesa e artigos científicos. Não foram definidos ano ou localização geográfica como critérios para seleção.

Quadro 1. Resultados quantitativos da revisão sistemática da literatura

Palavras-chave	Scopus	Springerlink	Web of science
"life cycle cost" AND "life cycle assessment"	621	836	610
"life cycle assessment" AND "life cycle costing"	475	836	584
"life cycle cost analysis"	1387	454	1478
"life cycle cost analysis" AND "life cycle assessment"	230	142	169
"life cycle cost" AND "life cycle assessment" AND "oil drilling"	0	1	0
"life cycle cost" AND "oil drilling"	0	5	0
"life cycle cost" AND "oil exploration"	0	4	0

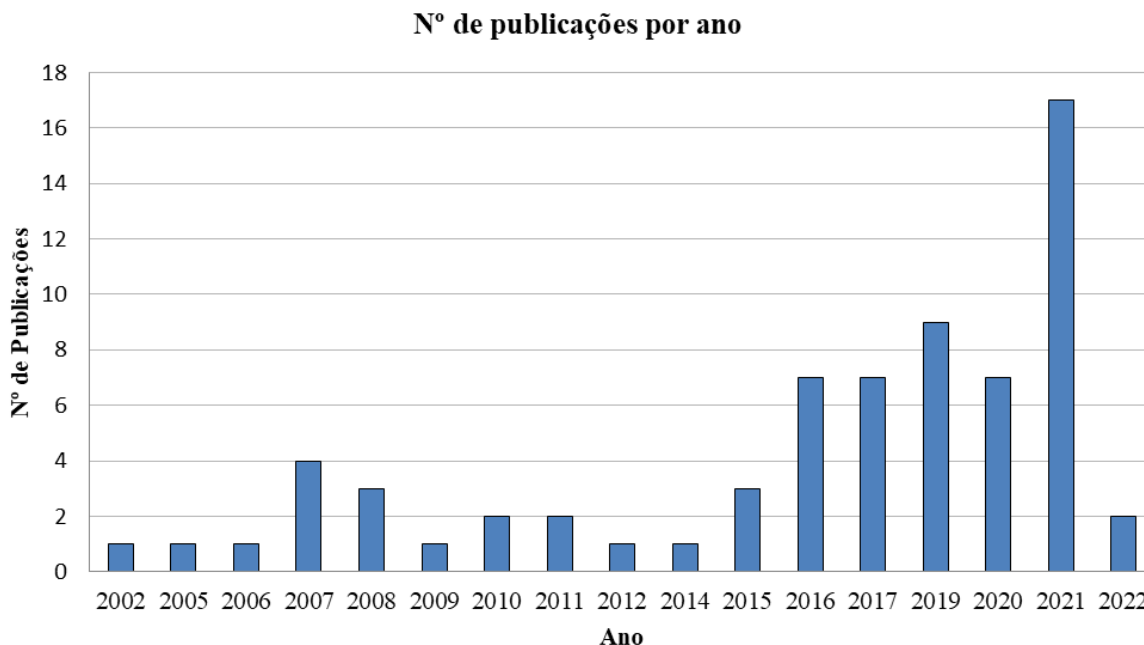
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Como o retorno de artigos foi significativo, foi feita uma primeira triagem a partir de uma análise qualitativa/quantitativa, através da leitura de títulos e resumos, buscando apenas artigos pertinentes à temática, totalizando em 190 artigos. A seguir foi realizado o levantamento qualitativo, através de leitura dinâmica. Artigos pagos e repetidos foram excluídos. Os 69 artigos selecionados foram lidos de forma integral. Desses, excluiu-se os artigos de pouca relevância para o objetivo proposto, como por exemplo artigos que não desenvolviam a metodologia nem citavam qual o método de AECV utilizado, restando 21 artigos. Durante o processo de leitura dos artigos utilizou-se a técnica de *snowballing*, que consiste em buscar outros estudos relevantes na lista de referências desses artigos (FELIZARDO et al., 2016). Através dessa técnica, foram encontrados 26 artigos. Após leitura integral dos artigos selecionados pela técnica bola de neve, foram selecionados 7 artigos relevantes para o estudo. A partir desses artigos, foi feito o levantamento dos métodos de AECV existentes. Os métodos encontrados foram agrupados, de acordo com as suas características, principalmente no que diz respeito às variáveis econômicas consideradas, totalizando em 10 grupos.

Resultados e Discussão

A seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir dos 28 artigos selecionados. A Figura 1 apresenta o número de artigos publicados por ano. De acordo com os estudos levantados, é possível observar um crescimento no número de publicações ao longo das últimas duas décadas, principalmente a partir de 2015, sendo 2021 o ano mais significativo.

Figura 1. Artigos publicados na área de interesse (por ano).



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em relação a localização geográfica, Europa e Ásia foram as de maior destaque, seguidos pela América do Norte, conforme apresentado no Quadro 2. Os métodos encontrados nos artigos selecionados foram divididos em 10 grupos de acordo com as suas características.

Quadro 2. Distribuição geográfica das publicações analisadas.

Localização	Número de publicações
Europa	27
América do Norte	12
América do Sul	3
África	0
Oceania	3
Ásia	24

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A AECV do Grupo 1 foi proposta por Dhillon (2010) e considera os custos recorrentes e não recorrentes. Entre os custos recorrentes estão os custos de mão de obra, de energia, operacionais, de manutenção e reparo, compra de matérias-primas e disposição final dos resíduos produzidos. Já entre

os custos não recorrentes estão os de investimento de capital, como por exemplo, custos de equipamentos, tubulações e engenharia.

A AECV do Grupo 2 considera custos internos e externos. Os custos internos são referentes a matéria-prima, energia, impostos, mão de obra, equipamentos, infraestrutura, manutenção, transporte, depreciação, taxas de administração e destinação final dos resíduos. Os custos externos são referentes a saúde humana, qualidade do ecossistema e emissões ambientais.

Os métodos de AECV dos Grupos 3, 4 e 5 foram propostos por Hunkeler, Lichtenwort e Rebitzer (2008), sendo o grupo 3 a AECV convencional, o grupo 4 a AECV ambiental e o grupo 5 a AECV social. A AECV convencional inclui custos de desenvolvimento do conhecimento, produção de materiais ou fabricação de componentes, uso e manutenção e gestão de fim de vida. A AECV ambiental inclui, além dos custos citados na AECV convencional, custos de responsabilidade, impostos e subsídios, que são os custos externos a serem internalizados. A AECV social inclui todos os custos citados na AECV ambiental e acrescenta custos externos adicionais, entre eles custos de oportunidade e dano ao meio ambiente.

O método apresentado no Grupo 6 trabalha com as esferas ambiental, social e econômica e é conhecido pela sigla LCSA (*Life Cycle Sustainability Assessment*), e é associada à Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida. Para avaliar os impactos ambientais se usa a ACV, para a esfera social, se usa a ACV social e para avaliar a esfera econômica, se usa a AECV.

O Grupo 7 traz o método de AECV focado na construção civil e inclui custos de material, de construção, operação, manutenção, instalação, energia e descarte/fim de vida. A AECV para construção civil é orientada pela norma ISO 15.686-5, que dispõe sobre edifício e ativos construídos – Planejamento da vida útil – Parte 5: custeio do ciclo de vida (ISO, 2017). Por ser um setor mais avançado em relação à AECV, existem softwares e ferramentas desenvolvidas para aplicá-la, como por exemplo, EconoEnviroTLCCTool.

A AECV do Grupo 8 inclui custos de pesquisa e desenvolvimento, construção, operação, suporte e descarte de resíduos. Já o Grupo 9 inclui custos de investimento, matéria-prima, fabricação e manutenção, uso, desmontagem, transporte, mão de obra e disposição final. Por fim, o Grupo 10 calcula os custos a partir do carbono emitido durante a vida útil do produto. Ou seja, é feita a ACV, os impactos ambientais são convertidos em CO₂eq, e esse valor é multiplicado pelo preço do crédito de carbono. Muitas vezes esse método é utilizado como um custo complementar a AECV, para quantificar em termos monetários os impactos ambientais.

É possível observar que a maioria dos custos usados para o cálculo da AECV são comuns para os métodos, como por exemplo, mão de obra, matéria-prima ou custos operacionais. O que difere eles é que uns se aprofundam mais do que outros, adicionando custos relacionados a impactos ambientais e sociais, como é o caso dos Grupos 2, 4, 5 e 6. Esses grupos trazem uma visão mais ampla dos impactos econômicos gerados pelo produto. Em contrapartida, esses custos não são fáceis de quantificar e agregar à AECV. O estudo de Batuecas et al. (2021) aplicou a AECV ambiental do Grupo

4, e incluiu apenas alguns aspectos sociais de forma suplementar, pois não encontrou uma unidade funcional comum que possibilitasse fazer a ACV social. O mesmo estudo aplicou a ACV e AECV em paralelo e por isso não monetizou os impactos ambientais, para evitar dupla contagem.

Os artigos selecionados mostraram diferentes aplicações da AECV, como por exemplo, para comparar alternativas de tratamento de efluentes industriais de gaseificador (INNOCENZI et al., 2021), avaliar produção de ferroníquel (MA et al., 2019), comparar produção e importação de Bioetanol (BATUECAS et al., 2021) e avaliar diferentes cenários de aproveitamento energético de resíduos de colheita (ZHANG et al., 2021). Apesar de ter sido encontrado apenas um artigo aplicando AECV relacionado ao setor petrolífero, sua aplicabilidade é possível. Principalmente porque as variáveis usadas nos métodos podem ser adaptadas ao sistema de produto, sendo possível incluir ou excluir custos. O estudo de Innocenzi et al. (2021), por exemplo, aplicou o método do Grupo 1, e incluiu outros custos como de suporte operacional, encargos de laboratório, custos indiretos da planta, despesas gerais e custos de pesquisa e desenvolvimento.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos, observou-se um grande crescimento no emprego da AECV em diversos setores, na última década, conforme visto no levantamento quantitativo. A pesquisa também mostrou a aplicabilidade da AECV para o setor petrolífero. Os retornos obtidos durante a revisão sistemática da literatura apresentados neste artigo possibilitarão a definição dos métodos com maior potencial de aplicação para quantificar os impactos econômicos do ciclo de vida, decorrentes das diferentes possibilidades de tratamento em fim de vida e disposição final dos cascalhos de perfuração.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio e o fomento da PETROBRAS sob o TERMO DE COOPERAÇÃO Nº 5900.0116431.20.9, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a. 21 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b 46 p.
- BATUECAS, E.; CONTRERAS-LISPERGUER, R.; MAYO, C.; DÍAZ, R.; SPRINGER, C.; PÉREZ, F. J. Jamaican Bioethanol: na environmental and economic life cycle assessment. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 23, p. 1415–1430, 2021.
- DHILLON. B. S. **Life Cycle Costing for Engineers**. Boca Raton, Estados Unidos da América: CRC Press, 2010. 204 p.
- FELIZARDO, K. R.; MENDES, E.; KALINOWSKI, M.; SOUZA, E. F.; VIJAKUMAR, N. L. Using forward snowballing to update systematic reviews in software engineering. In: **ACM/IEEE – INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EMPIRICAL SOFTWARE ENGINEERING AND MEASUREMENT**, Ciudad Real, Espanha. Anais eletrônicos [...]. Ciudad Real, 2016.

- GUNDES, S. The Use of Life Cycle Techniques in the Assessment of Sustainability. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 216, p. 916-922, 2016.
- HUNKELER, D.; LICHTENVORT, K.; REBITZER, G. (ed.). **Environmental Life Cycle Costing**. Pensacola, Estados Unidos da América: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 2008. p. 211.
- INNOCENZI, V.; CANTARINI, F.; ZUEVA, S.; AMATO, A.; MORICO, B.; BEOLCHINI, F.; PRISCIANDARO, M.; VEGLIÒ, F. Environmental and economic assessment of gasification wastewater treatment by life cycle assessment and life cycle costing approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, p. 8, 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Instrução Normativa nº 1, de 02 de janeiro de 2018**. Define diretrizes que regulamentam as condições ambientais de uso e descarte de fluidos, cascalho e pastas de cimento nas atividades de perfuração marítima de poços e produção de petróleo e gás, estabelece o Projeto de Monitoramento de Fluidos e Cascalho, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 43, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Instrução Normativa nº 11, de 14 de março de 2019**. Suspender o início de vigência da Instrução Normativa IBAMA nº 1, de 02 de janeiro de 2018. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2019.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR OIL & GAS PRODUCERS (IOGP). **Environmental fates and effects of ocean discharge of drill cuttings and associated drilling fluids from offshore oil and gas operations**. Report 543, 144 p., mar. 2016.
- ISO 15686-5. Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 5: Life-cycle costing. 2a edição. International Organization for Standardization. 2017.
- JACQUEMIN, L.; PONTALIER, P.; SABLAYROLLES, C. Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: a review. **The International Journal of Life Cycle Assessment** 17:1028–1041, 2012.
- LI, J.; XIAO, F.; ZHANG, L.; AMIRKHANIAN, S. N. Life cycle assessment and life cycle cost analysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review. **Journal of Cleaner Production**, 233, p. 1182-1206, 2019.
- MA, X.; YANG, D.; ZHAI, Y.; SHEN, X.; ZHANG, R.; HONG, J. Cost-combined life cycle assessment of ferronickel production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, p. 1840-1850, 2019.
- MIAH, J. H.; KOH, S. C. L.; STONE, D. A hybridised framework combining integrated methods for environmental Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing. **Journal of Cleaner Production**, 168, p. 846-866, 2017.
- ZHANG, Y.; LI, J.; LIU, H.; ZHAO, G.; TIAN, Y.; XIE, K. Environmental, social, and economic assessment of energy utilization of crop residue in China. **Frontiers in Energy**, v. 15, n. 2, p. 308-319, 2021.