

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



TÍTULO DO TRABALHO:

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA PARA ROTAS MARÍTIMAS E TERRESTRES DE DESTINAÇÃO DE CASCALHOS E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS: FASE 2

AUTORES:

Sebastião Roberto Soares, Bruna Cerati Carvalho, Eula Jurca Gomes, Maitê Atsbury Fontes, Vitória Baldança de Oliveira, Henrique Rogerio Antunes de Souza Junior, Leonardo de Souza Marinho, Walter Francisco Cardoso Junior

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA PARA ROTAS MARÍTIMAS E TERRESTRES DE DESTINAÇÃO DE CASCALHOS E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS: FASE 2

Resumo

A equipe do Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida (CICLOG) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em parceria com a PETROBRAS S.A., desenvolveu, entre novembro de 2020 e novembro de 2023, modelos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para rotas marítimas e terrestres de destinação de cascalhos e fluidos de perfuração de petróleo e gás. A partir deles, foi possível quantificar o desempenho ambiental, em diversas categorias de impacto, de diferentes cenários de perfuração de poços de petróleo e gás, considerando o ciclo de vida completo dessas atividades, abrangendo a extração das matérias-primas para formulação dos fluidos de perfuração, logísticas inbound, perfuração do poço, tratamento primário e secundário, descarte offshore dos cascalhos e/ou logísticas outbound, tratamento em terra e disposição final ambientalmente adequada. Os cenários foram estabelecidos a partir de combinações entre fluidos de base aquosa (FPBA) e de base não-aquosa (FPNBA) e diferentes alternativas de tratamento e/ou fim-de-vida para os cascalhos, tais como o descarte offshore, a incineração, o aterro industrial e o aterro de inertes. A partir dos resultados do estudo de ACV, foi possível o fornecimento de informações científica e tecnicamente embasadas e o desenvolvimento de uma ferramenta interativa em Microsoft Excel para suporte a processos de tomadas de decisão referentes à gestão dos resíduos de perfuração. Para a segunda etapa do projeto, iniciada em novembro de 2023 e com duração até novembro de 2025, busca-se aprimorar e complementar os resultados da primeira fase por meio dos seguintes objetivos: 1) Aprimorar a ferramenta interativa de suporte à tomada de decisão através de testes com dados de poços de referência, inserção de novos processos relacionados ao ciclo de vida da atividade de perfuração, adição de novas categorias de impacto para o ambiente marinho e de funcionalidades para personalização de fluidos e cascalhos de perfuração; 2) Desenvolver um módulo específico para cálculo da pegada de carbono; 3) Adaptação/desenvolvimento de novas categorias de impactos relevantes para a atividade; 4) Construir e interpretar os resultados no contexto das partes interessadas, por meio da ponderação de categorias de impacto com painel de especialistas, e 5) Integrar a ferramenta interativa a módulos em PowerBI, permitindo o desenvolvimento de indicadores de desempenho, relatórios de monitoramento e dashboards interativos. Este trabalho visa apresentar e descrever a fase 2 do projeto “Avaliação de ciclo de vida para rotas marítimas e terrestres de destinação de cascalhos e fluidos de perfuração de petróleo e gás”, as definições metodológicas até o momento adotadas e os resultados preliminares das atividades previstas.

Palavras-chave: Perfuração offshore; Resíduos de perfuração; Descarte offshore; Descarte onshore; Avaliação do Ciclo de Vida.

Abstract

The Life Cycle Assessment Research Group (CICLOG) team at the Federal University of Santa Catarina (UFSC), in partnership with PETROBRAS S.A., developed, between November 2020 and November 2023, Life Cycle Assessment (LCA) models for maritime and land routes for the disposal of drill cuttings and drilling fluids. Based on these models, it was possible to quantify the environmental performance, in several impact categories, of different oil and gas well drilling scenarios, considering the complete life cycle of these activities, covering the extraction of raw materials for the formulation of drilling fluids, inbound logistics, well drilling, primary and secondary treatment, offshore disposal of

cuttings and/or outbound logistics, onshore treatment and environmentally appropriate final disposal. The scenarios were established based on combinations of water-based fluids (FPBA) and non-aqueous fluids (FPNBA) and different treatment and/or end-of-life alternatives for the cuttings, such as offshore disposal, incineration, industrial landfill and inert landfill. Based on the results of the LCA study, it was possible to provide scientifically and technically based information and to develop an interactive tool in Microsoft Excel to support decision-making processes regarding the management of drilling waste. For the second stage of the project, starting in November 2023 and lasting until November 2025, the aim is to improve and complement the results of the first phase through the following objectives: 1) Improve the interactive tool to support decision-making through tests with data from reference wells, insertion of new processes related to the life cycle of the drilling activity, addition of new categories of impact on the marine environment and functionalities for customization of drilling fluids and cuttings; 2) Develop a specific module for calculating the carbon footprint; 3) Adapt/develop new impact categories relevant to the activity; 4) Construct and interpret the results in the context of the stakeholders, by weighting impact categories with a panel of experts; and 5) Integrate the interactive tool with PowerBI modules, allowing the development of performance indicators, monitoring reports and interactive dashboards. This work aims to present and describe phase 2 of the project “Life cycle assessment for maritime and land routes for the disposal of cuttings and oil and gas drilling fluids”, the methodological definitions adopted to date and the preliminary results of the planned activities.

Keywords: Offshore drilling; Drilling Waste; Offshore disposal; Onshore disposal; Life Cycle Assessment.

Introdução

A cadeia produtiva de exploração de petróleo compreende diversas etapas, destacando-se os processos de perfuração de poços devido à significativa geração de resíduos, especialmente fluidos e cascalhos de perfuração. Uma das formas de disposição final dos cascalhos de perfuração é o descarte no mar, após a recuperação do fluido na plataforma (ALMEIDA, 2016). Legislações específicas estabelecem limites máximos permitidos para certos poluentes nos descartes de fluidos e cascalhos no mar, com alguns valores definidos com base em experiências anteriores e na aplicação da melhor tecnologia disponível.

No Brasil, a legislação pertinente foi estabelecida pelo IBAMA através da Instrução Normativa (IN) 01/2018 (IBAMA, 2018). No entanto, essa normativa gerou divergências jurídicas entre o IBAMA e a Agência Nacional do Petróleo (ANP), principalmente devido à política de descarte zero no país. Para resolver essas divergências, a IN 01/2018 foi suspensa pela IN 11/2019 (IBAMA, 2019a). Atualmente, o Despacho nº 5540547/2019-GABIN (IBAMA, 2019b) é o regulamento em vigor, permitindo o descarte no mar conforme a concentração de base orgânica aderida ao cascalho.

Além das questões jurídicas, os potenciais impactos ambientais decorrentes do descarte de cascalhos de perfuração marinha são de grande interesse para a comunidade científica e a sociedade civil. Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surge como uma metodologia relevante para quantificar os impactos ambientais potenciais dos cascalhos, fornecendo subsídios para os tomadores de decisão no setor petrolífero. A ACV, normatizada pelas NBR ABNT ISO 14040 e 14044, permite uma avaliação quantitativa dos impactos ambientais potenciais ao longo do ciclo de vida de um produto ou serviço, desde a extração de matérias-primas até o fim de vida das operações (ABNT, 2009a; 2009b).

O projeto “Avaliação de ciclo de vida para rotas marítimas e terrestres de destinação de cascalhos e fluidos de perfuração de petróleo e gás” (Souza Jr et al., 2023) definiu e caracterizou preliminarmente um modelo de ACV para as atividades de perfuração de poços de petróleo, considerando os fluidos de perfuração, os cascalhos gerados e sua disposição. Este trabalho busca descrever a fase II do citado projeto, que consiste em aprimorar a ferramenta interativa de suporte à tomada de decisão, com destaque para o cálculo da pegada de carbono, a consideração da Análise de Custo do Ciclo de Vida (ACCV) para as atividades de perfuração, a ponderação de categorias de impacto com um painel de especialistas e o desenvolvimento de indicadores de desempenho.

Antecedentes

O Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida (CICLOG) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em parceria com a PETROBRAS S.A., desenvolveu, entre novembro de 2020 e novembro de 2023, modelos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para rotas marítimas e terrestres de destinação de cascalhos e fluidos de perfuração de petróleo e gás. A partir deles, foi possível quantificar o desempenho ambiental, em diversas categorias de impacto, de diferentes cenários de perfuração de poços de petróleo e gás, considerando o ciclo de vida completo dessas atividades, abrangendo a extração das matérias-primas para formulação dos fluidos de perfuração, logísticas inbound, perfuração do poço, tratamento primário e secundário, descarte offshore dos cascalhos e/ou logísticas outbound, tratamento em terra e disposição final ambientalmente adequada (Souza Jr et al., 2023).

O projeto mencionado segue o escopo esquematizado na Figura 1 e Quadro 1.

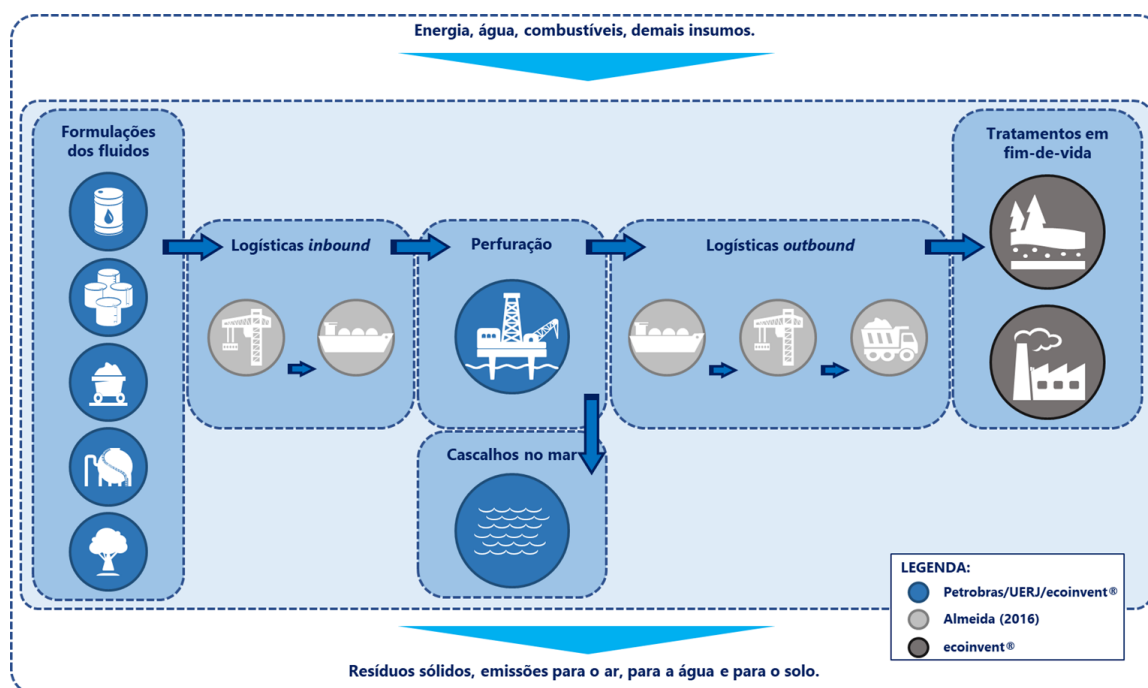


Figura 1. Fluxograma geral para caracterização dos cenários que compõe o modelo de ACV

Quadro 1. Cenários analisados em “tratamento em fim-de-vida”

Cenário	Descrição
1. Fpba + mar	Cascalho gerado com FPBA e destinado ao mar
2. Fpba + aterro industrial	Cascalho gerado com FPBA e destinado para aterro industrial
3. Fpba + aterro inerte	Cascalho gerado com FPBA e destinado para aterro inerte
4. Fpba + incineração + aterro	Cascalho gerado com FPBA e destinado à incineração e então aterro de inertes
5. Fpbna + mar	Cascalho gerado com FPBNA e destinado ao mar
6. Fpbna + aterro industrial	Cascalho gerado com FPBNA e destinado para aterro industrial
7. Fpbna + aterro inerte	Cascalho gerado com FPBNA e destinado para aterro inerte
8. Fpbna + incineração + aterro	Cascalho gerado com FPBNA e destinado à incineração então aterro de inertes

Os inventários dos fluidos de perfuração e os inventários dos cascalhos estão apresentados a seguir. Ao todo, 10 fluidos foram definidos e caracterizados pela PETROBRAS, sendo 8 de base aquosa (FPBA) e 2 de base não-aquosa (FPBNA) (Quadro 2 e Figura 2). A caracterização dos cascalhos é representada na Figura 3.

Quadro 2. Fluidos de perfuração caracterizados para o modelo de ACV.

Fluido	Característica	Sigla	Nome
FPBA	Baixa Inibição	1. FPBA_BI_xantana	Fluido polimérico com goma xantana
		2. FPBA_BI_xantana_CMC	Fluido polimérico com goma xantana e controlador de filtrado (CMC e/ou amido)
	Média Inibição	3. FPBA_MI_catiônico	Fluido polimérico catiônico
		4. FPBA_MI_poliacrilamida	Fluido polimérico poliacrilamida
	Alta Inibição	5. FPBA_AI_alta_performance	Fluido polimérico de alta performance
		6. FPBA_AI_BR-CARB_inibido	BR-CARB Inibido
	Drill-in	7. FPBA_Drill-in_xantana_amido	Fluido polimérico com goma xantana e amido modificado
		8. FPBA_Drill-in_xantana_polióis	Fluido polimérico com goma xantana e polióis
FPBNA	Alta densidade	9. FPBNA_com_baritina	Fluido olefínico de cloreto de cálcio ou sódio COM BARITINA
	Baixa densidade	10. FPBNA_sem_baritina	Fluido olefínico de cloreto de cálcio ou sódio SEM BARITINA

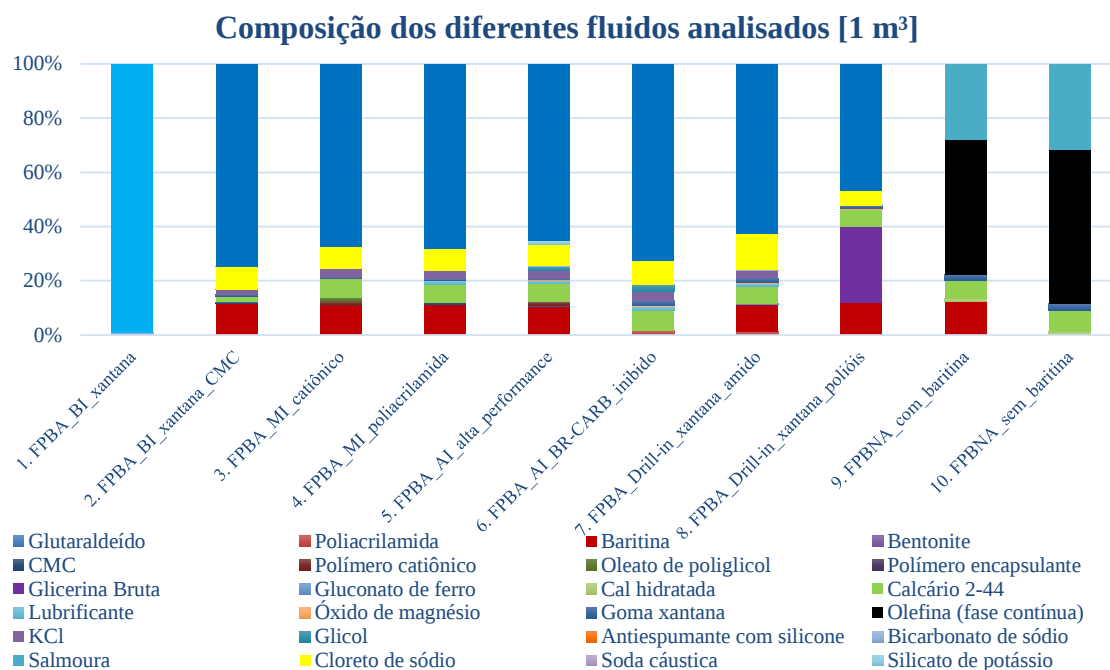


Figura 2. Caracterização dos fluidos de perfuração.

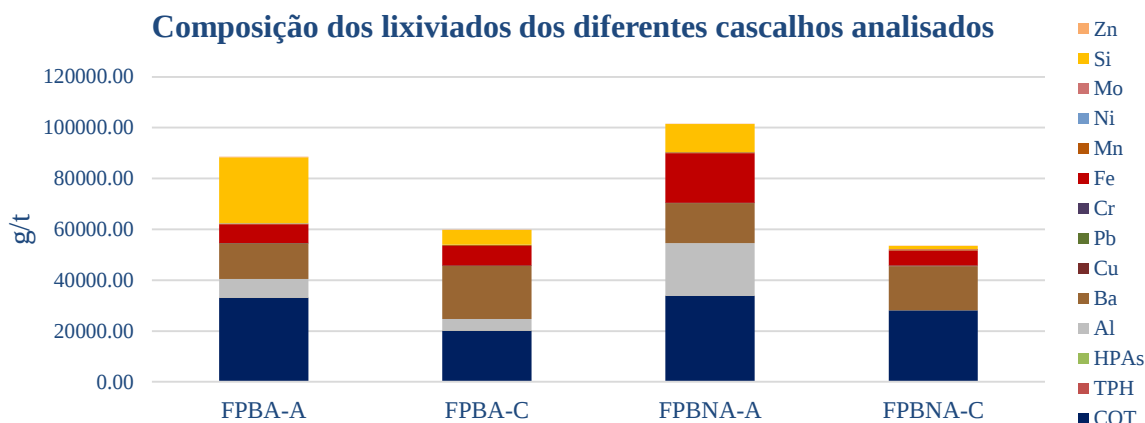


Figura 3. Caracterização dos cascalhos de perfuração.

Resultados preliminares

- Cenários FPBA são potencialmente mais impactantes do que os Cenários FPBNA, enquanto reutilização teórica contínua dos FPBNA. A situação se inverte para pequeno número de reutilizações do FPBNA;
- A fase de perfuração, devido ao grande consumo energético, é uma das grandes contribuintes de impacto ambiental;

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

- A incineração, preliminarmente, tem o pior desempenho ambiental para a maioria das categorias de impactos;
- A categoria de impacto “Ecotoxicidade marinha” se destaca no Descarte dos cascalhos de perfuração no mar;

A partir dos resultados numéricos preliminares, é importante destacar:

- Não há uma solução única para a gestão de cascalhos de perfuração → *trade-offs* entre categorias de impacto;
- Ao optar pelo tratamento em terra, impactos potenciais aos ecossistemas marinhos são reduzidos. Por outro lado, ocorre a “compensação” de tais impactos em outras categorias, tais como aquecimento global, formação de material particulado, uso de solo, eutrofização, entre outras. O contrário também acontece;
- É importante entender que as categorias de impacto marinho até aqui analisadas não são exaustivas → não abrangem todos os potenciais impactos da disposição *offshore*, tais como aqueles relacionados ao sedimento, ao soterramento de organismos bentônicos, e à dispersão de partículas na coluna d’água;
- Independentemente da alternativa de tratamento de cascalho escolhida, é necessário um esforço conjunto e a tomada de decisões assertivas e técnico-cientificamente embasadas para mitigar os impactos potenciais associados a cada uma das rotas analisadas, considerando o ciclo de vida completo das atividades de perfuração de poços de petróleo e atribuindo maior atenção à resolução das questões significativas identificadas preliminarmente no estudo.

Os resultados obtidos da primeira etapa do projeto estimularam a sua continuidade, em que os seguintes objetivos e etapas estão sendo perseguidos:

1) Aprimorar a ferramenta interativa de suporte a tomada de decisão, com referência à fase de gestão de resíduos de perfuração;

- Análise combinatória, análise multicritério e apresentação de resultados para os novos cenários escolhidos. Considera os cenários escolhidos, os *hotspots*, as conclusões e as recomendações no âmbito ambiental e econômico. Compilação dos dados, indicando os pontos relevantes (ambiental e econômico) de perfuração de poços, sob o enfoque da gestão dos resíduos gerados;
- O algoritmo parametrizado no qual, com modificações nas variáveis de entrada (características do cascalho, características do site, processos de tratamento aplicáveis, transportes, critérios ambientais de destinação e custo do tratamento, entre outras), poderá ser verificado o reflexo nas variáveis de saída (impactos ambientais na água, no solo, no ar, bem como econômico).
- Inclusão de funcionalidade para novos fluidos de perfuração (formulação de fluidos a partir de seus constituintes);
- Introduzir e consolidar a Análise de Custo do Ciclo de Vida (ACCV) para atividades de perfuração, e integrá-la aos resultados de desempenho ambiental fornecidos pela ACV por exemplo, “*Econo-Environmental Return*”.

2) Desenvolvimento de módulo específico de “Pegada de carbono” para cenários de perfuração e gestão de resíduos;

3) Adaptação/desenvolvimento de novas categorias de impactos relevantes para a atividade, (por exemplo soterramento causado pelo assentamento de cascalho no sedimento marinho);

- 4) Estabelecer uma ponderação de categorias de impacto ampliada com painel de especialistas do setor de petróleo e meio ambiente;
- 5) Propor e desenvolver indicadores de desempenho ambiental para a gestão de resíduos.

Conclusões

Os resultados obtidos indicam a necessidade de uma análise aprofundada dos impactos ambientais potenciais dos diferentes cenários de destinação de cascalhos de perfuração, considerando tanto as regulamentações ambientais vigentes quanto as melhores práticas de gestão de resíduos. A continuidade do projeto permitirá o aprimoramento da ferramenta interativa, incorporando nova(s) categoria(s) de impacto e módulos específicos para cálculo da pegada de carbono, além de uma maior integração com ferramentas de visualização de dados como o PowerBI.

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

ALMEIDA, P. C. Análise técnico-ambiental de alternativas de processamento de cascalho de perfuração offshore. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 173. 2016.

IBAMA (2019a). Instrução Normativa nº 11, de 14 de março de 2019. Suspender o início de vigência da Instrução Normativa IBAMA nº1, de 02 de janeiro de 2018. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 18 mar. 2019a.

IBAMA (2019b). Despacho 5540547/2019-GABIN, de 22 de julho de 2019b.

ABNT 2009a. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a. 21 p.

ABNT 2009b. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b. 46 p.

Souza Jr et ali, 2023. Avaliação do Ciclo de Vida para Atividades de Perfuração de Poços de Petróleo e Gás. *ENAHPE 2023 – Encontro Nacional de Construção de Poços de Petróleo e Gás*.