



Análise de ciclo de vida aplicada ao rerrefino de OLUC: Estudo de caso no contexto geográfico brasileiro

Life cycle assessment applied to the re-refining of waste lubricating oil: A case study in the Brazilian geographical context

 Lucas Barbosa Cunha¹,  André Von Held Soares¹,  Luciane Pimentel Costa Monteiro¹

RESUMO

Este estudo avalia os impactos ambientais do rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC) no Brasil, utilizando a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Foram comparados dois cenários: um com planta real em Lençóis Paulista – SP, utilizando o processo ácido-argila, e outro com planta hipotética em Fortaleza – CE, empregando um processo diferente, o de hidrotreatamento. Para ambos os casos estudados, foi considerado o OLUC coletado em São Luís – MA. Os resultados indicam que o cenário 2 apresenta desempenho ambiental superior, com redução de 28% nos impactos totais em relação ao cenário 1, devido à menor distância de transporte e à tecnologia mais moderna. Ambos os cenários de rerrefino mostraram vantagens ambientais significativas frente ao cenário 3, baseado no refino convencional de óleo virgem, com destaque para a categoria “Combustíveis Fósseis”, responsável por cerca de 70% dos impactos. A pesquisa reforça a importância da descentralização das unidades de rerrefino e da adoção de tecnologias consideradas mais modernas, além de evidenciar a ACV como ferramenta estratégica para decisões sustentáveis no setor petroquímico.

Palavras-chave: Economia Circular; Impacto Ambiental; Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

This study evaluates the environmental impacts of re-refining used or contaminated lubricating oil (OLUC) in Brazil, using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. Two scenarios were compared: one with a real plant located in Lençóis Paulista – SP, using the acid-clay process, and another with a hypothetical plant in Fortaleza – CE, applying the hydrotreatment process. For both cases, OLUC collected in São Luís – MA was considered. The results indicate that scenario 2 presents superior environmental performance, with a 28% reduction in total impacts compared to scenario 1, due to shorter transportation distances and the use of more modern technology. Both re-refining scenarios showed significant environmental advantages over scenario 3, based on conventional refining of virgin oil, with emphasis on the “Fossil Fuels” category, which accounted for approximately 70% of the impacts. The research highlights the importance of decentralizing re-refining units and adopting cleaner technologies, while also demonstrating LCA as a strategic tool for sustainable decision-making in the petrochemical sector.

Keywords: Circular Economy; Environmental Impact; Sustainable Development.

¹ Universidade Federal Fluminense.

Autor correspondente: lbcunha@id.uff.br

Recebido em: 29/09/2025. Aceito em: 05/03/2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado. 

1 INTRODUÇÃO

A alta demanda por recursos naturais (que são finitos) e a intensificação das atividades industriais têm gerado uma busca por soluções sustentáveis que visem minimizar os impactos ambientais e promover a economia circular. Nesse contexto de industrialização, os óleos lubrificantes, que são amplamente utilizados em motores e sistemas mecânicos para desempenhar diversas funções importantes (Zhao et al., 2025), se tornam, após seu uso primário, resíduos perigosos, classificados como classe I pela NBR 10004 da ABNT, devido à presença de metais pesados, compostos orgânicos tóxicos e contaminantes diversos (Nascimento, 2022).

Pesquisas estimam que o consumo mundial de óleo lubrificante ultrapasse as 40 milhões de toneladas por ano, sendo que mais da metade da quantidade que é consumida desse produto, se torna resíduo (Lima, 2016). O Brasil, apesar de ter avançado na coleta e destinação adequada, ainda apresenta desafios significativos: menos de 40% do óleo comercializado é coletado, e parte desse volume é desviado para usos ilegais, como queima em caldeiras ou descarte inadequado no meio ambiente (ANP, 2021).

Quando descartado de forma irregular, a combustão do óleo lubrificante contaminado ou usado (OLUC) gera gases nocivos ao ambiente e ao homem e, se descartado no solo, diminui a capacidade de filtração e troca iônica, matando a vegetação e os microrganismos. Além disso, caso seja queimado, o OLUC gera grande quantidade de particulados que penetram nas vias respiratórias das espécies impactadas (Coelho; Mirandola, 2023).

Em contraposição aos impactos da queima ou descarte irregular, o rerrefino do OLUC aparece como uma alternativa ambientalmente mais adequada e economicamente viável, já que possibilita a recuperação de até 80% do óleo básico presente no resíduo, consumindo significativamente menos energia do que o necessário para a produção de óleo virgem a partir do petróleo (Costa, 2009). O processo de rerrefino, regulamentado no Brasil pela Resolução CONAMA nº 362/2005, envolve a remoção de contaminantes, aditivos degradados e produtos de oxidação, resultando num óleo básico com características semelhantes ao original (CONAMA, 2005).

As resoluções que regem esse produto estabelecem apenas três exceções à regra geral. A primeira exceção trata do encaminhamento do OLUC para outro processo de reciclagem apenas quando este tenha comprovada eficácia ambiental equivalente ou superior ao rerrefino. Já a segunda exceção permite aos geradores industriais o processamento do óleo lubrificante usado ou contaminado, por si ou por terceiros, para fabricação de produtos, exceto combustíveis, a serem consumidos exclusivamente pelos próprios geradores, sendo vedada a comercialização. Por fim, a terceira exceção trata da inviabilidade técnica do envio do óleo lubrificante usado ou contaminado ao rerrefino (CONAMA 2005), contudo, poucos casos entrariam nessa exceção já que a rede de coleta de OLUC já abrange 90% dos municípios brasileiros (Lima, 2016).

Nas últimas décadas, grandes avanços em pesquisa sobre o assunto possibilitaram a criação de diversas tecnologias empregadas no rerrefino, como o processo ácido-argila, amplamente utilizado no Brasil, e o processo de hidrotratamento, considerado mais moderno e ambientalmente mais eficiente por não gerar borra ácida (Biondi, 2022). A escolha da tecnologia, bem como a localização geográfica da planta de rerrefino,

influenciam diretamente nos impactos ambientais do processo, especialmente quando se considera o transporte do OLUC por longas distâncias, como ocorre no Brasil, país de dimensões continentais e com malha logística predominantemente rodoviária, porém com uma grande concentração de refinarias na região Sudeste (Brasil, 2023).

A gestão de todo o ciclo de vida do óleo lubrificante é de grande relevância econômica e ambiental, sendo de interesse ao país. A cadeia do óleo lubrificante usado requer uma complexa estrutura para coordenar ações a níveis municipais, estaduais e federais, mais há uma camada adicional ainda, que é seguir as regras e competências dos órgãos reguladores das atividades econômicas ligadas ao petróleo (CONAMA, 2005).

A fim de avaliar os impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida do rerrefino de OLUC, a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se apresenta como uma ferramenta robusta e mundialmente reconhecida. Padronizada pelas normas ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2009), a ACV permite quantificar os fluxos de entrada e saída de materiais e energia, bem como os impactos ambientais potenciais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto ou processo (Rocha et al., 2024). A aplicação da ACV ao rerrefino de OLUC tem sido objeto de diversos estudos nacionais e internacionais, demonstrando mais vantagens ambientais do que a queima ou uso como combustível (Altshul, 2022).

Esse trabalho se propõe a realizar um estudo de caso comparativo entre dois cenários de rerrefino de OLUC no Brasil, utilizando a metodologia de ACV. O primeiro cenário considera uma planta real localizada em Lençóis Paulista – SP, que utiliza o processo ácido-argila, com óleo coletado em São Luís – MA. O segundo cenário avalia uma planta hipotética em Fortaleza – CE, utilizando o processo de hidrotreatamento, com óleo coletado na mesma localidade do cenário 1. Ambos os cenários são comparados a um terceiro, baseado no refino convencional de óleo lubrificante a partir do petróleo. A análise almeja identificar os impactos ambientais associados a cada tipo de processo de rerrefino e transporte do produto, contribuindo para a tomada de decisão quanto à viabilidade ambiental de descentralizar o rerrefino no país.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi dividida em quatro grandes partes: (1) conceitual, que é composta pela revisão bibliográfica; (2) prática, com realização da escolha do estudo de caso, seleção da unidade de rerrefino de referência, delimitação e desenho do fluxo da ACV e coleta de dados; (3) aplicação do ACV para o caso selecionado (4) discussão dos resultados obtidos a partir das análises.

A primeira etapa da pesquisa se caracterizou pela busca, na literatura acadêmica, de modelos representativos para compreender toda a cadeia do rerrefino do OLUC, desde normas ambientais nacionais, geração de OLUC no país, passando pela logística de coleta, transporte e o processamento de fato e, por fim, as análises de ciclo de vida. Essa fase também auxiliou na delimitação da pesquisa e tradução num estudo de caso robusto a ser aplicado a ACV.

Após a revisão bibliográfica e análise dos dados disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo, foi possível perceber que há uma grande disparidade regional entre

a coleta, o transporte e o rerrefino do OLUC. Até o ano de 2023, a região Nordeste não possuía nenhuma unidade autorizada ao rerrefino de OLUC (ANP, 2023).

Mesmo sem unidade de rerrefino, a região Nordeste é a terceira região mais relevante para o comércio de óleo lubrificante e a terceira região com maior coleta de OLUC, representando 15% do óleo lubrificante usado contaminado coletado, com 64.384,78 m³ em 2023 (ANP, 2023).

Em função do levantamento da etapa anterior, a Etapa Prática, identificou-se que a localização da coleta e da rerrefinaria e o tipo de processo a ser utilizado, podem ser fatores importantes na hora de comparar os ganhos ambientais dessa atividade.

Para entender se o impacto ambiental das grandes distâncias percorridas pelo OLUC, comparou-se o transporte do material da cidade de São Luís – MA (localizada na região Nordeste, sem unidade de rerrefino) para uma planta real, localizada em Lençóis Paulista – SP e para a uma planta hipotética, localizada na cidade de Fortaleza – CE, com os mesmos processos e parâmetros da planta real. A cidade de Fortaleza – CE foi escolhida para essa planta hipotética por ser a cidade mais populosa da região, com 2.574.412 habitantes (IBGE, 2024).

Para a modelagem de transporte do OLUC, definiu-se os cenários 1 e 2 considerando as distâncias entre os pontos de coleta do óleo à rerrefinaria, considerando a planta real e a planta hipotética, com os dados observados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados modelados para o transporte de OLUC.

Origem – Ponto de Coleta	Destino	Distâncias (Km)	Meio	Unidade (t/Km)
São Luís – MA	Lençóis Paulista – SP	2.272	Caminhão 16t	2,27
São Luís – MA	Fortaleza – CE	903,3	Caminhão 16t	0,90

Fonte: Microsoft Bing MAPS (2025).

Além disso, um cenário 3 de comparação foi definido, que seria os impactos ambientais do cenário 1 e 2 com o processo convencional para produzir óleo lubrificante de primeiro uso, a partir do refino tradicional.

A seleção da empresa para levantamento dos dados reais de entradas e saídas para produzir 1 kg de óleo básico se deu a partir de buscas disponíveis no site da Agência Nacional do Petróleo, bem como notícias dos principais meios de comunicação da área, para identificar qual a principal planta de rerrefino de óleo lubrificante usado (ANP, 2023).

A principal rerrefinaria (nomeada de “Alfa” nesse estudo) do país fica localizada em Lençóis Paulista – SP e tem uma capacidade de rerrefino de 240 milhões de litros de OLUC por ano (Lwart, 2021). De acordo com Canchumani (2013), a planta da empresa utiliza o processo ácido-clay (ácido-argila), cujo fluxograma de processo está representado na Figura 1, e as entradas e saídas para produção de 1 kg de óleo básico a partir do OLUC a serem utilizados no ACV estão apresentados na Tabela 2.

Já para o cenário 2, onde utilizou-se uma planta hipotética, foi escolhido um processo de rerrefino chamado de hidrotratamento, considerando mais recente e, portanto, mais moderno (Abdalla; Fehrenbach, 2018). A Figura 2 representa o fluxograma desse tipo de rerrefino e a Tabela 3 demonstra as entradas e saídas consideradas para

produzir 1 kg de óleo básico rerrefinado a partir de OLU pelo processo escolhido para a Análise do Ciclo de Vida (ACV) do cenário 2.



Figura 1. Fluxograma do rerrefino de OLU pelo processo ácido-argila. Fonte: Alves (2011).

Tabela 2. Entradas e saídas para produção de 1 Kg de óleo básico rerrefinado na empresa Alfa – Processo Ácido-Clay (Ácido-Argila).

Entradas			
Tipo	Nome	Unidade	Quantidade
Matéria-prima	Óleos Lubrificantes Usados (OLU)	kg	1,3800
Matéria-prima	Ácido Sulfúrico	kg	0,0500
Matéria-prima	Hidróxido de Sódio (soda cáustica)	kg	0,0140
Matéria-prima	Terra Descolorante (terra de "Fuller")	kg	0,0680
Matéria-prima	Cal hidratada ou apagada	kg	0,0100
Fontes de energia	Óleo Combustível – BPF	kg	0,0017
Fontes de energia	Eletricidade	kw/h	0,0144
Saídas			
Tipo	Nome	Unidade	Quantidade
Sub-produtos	Argila e terras ativadas (MPCLQ - Fábrica)	kg	0,0990
Sub-produtos	Compostos Orgânicos (OBR 400 fração asfáltica do óleo)	kg	0,2090
Sub-produtos	Compostos Orgânicos (Borra neutralizada)	kg	0,1208
Resíduos sólidos	Classe I - Perigosos	kg	0,0063
Resíduos sólidos	Classe II - Não Perigosos	kg	0,0015
Resíduos sólidos	Classe II - Não Perigosos Sucatas de metais	kg	0,0071
Efluentes líquidos	Águas residuais	m ³	0,0022
Emissão para o ar	Materiais Particulados	kg	0,0007
Emissão para o ar	Sox	kg	0,0028
Emissão para o ar	NOx	kg	0,0004

Fonte: Canchumani (2013).



Fonte: Abdalla e Fehrenbach (2018).

Após a definição das quantidades de entradas e saídas do processo de rerrefino nos cenários 1 e 2, bem como as condições de transporte de OLCU coletado, tais fluxos e dados foram inseridos no GABI, *software* específico para Análise de Ciclo de Vida que dispõe do seu próprio banco de dados para as análises.

Rev. Agro. Amb., v. 19, e14088, 2026 - e-ISSN 2176-9168, p. 6 de 14

entre demais pesquisas, com 1 Pt (um ponto) correspondendo a milésimo do impacto ambiental anual médio de um cidadão europeu (Goedkoop, 2009).

O cenário 3, que trata do refino convencional do óleo lubrificante acabado de primeiro uso, os resultados foram coletados de outros estudos de ACV, já que há bastante referências sobre o assunto, e realizou-se apenas análises comparativa com o cenário 2, sem ter realizado ACV exclusivamente para o cenário 3.

Tabela 4. Principais elementos encontrados nos óleos lubrificantes usados ou contaminados – OLUC.

Elemento	Valor médio (ppm)	Valores limites
Ba	2.9	1 - 7
Pb	49.2	20 - 146
Cd	1.65	0.25 - 6.6
Cr	3.33	2 - 6.8
Cu	36	30 - 50
Ni	1.5	3 - 1
Zn	1152	568 - 2370
Cl	-	100 - 439
Sc	-	1200 - 4140
Fe	0	-
Mg	7	-
Partículas	-	0.32 - 0.87 wt%

Fonte: Canchumani (2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cenário 1, onde modelou-se a coleta em São Luís – MA e transporte até Lençóis Paulista – SP para ser rerrefinado utilizando o processo ácido-argila, apresentou os resultados conforme expostos na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5. Resultado da Análise de Ciclo de Vida do Cenário 1.

Categoria de Impacto	Unidade	Valor (Pt)	Variação (%)
Combustíveis Fósseis	Pt	0,11552	69,62%
Resp. Inorgânicos	Pt	0,02750	16,58%
Carcinogênicos	Pt	0,00936	5,64%
Mudanças Climáticas	Pt	0,00372	2,24%
Ecotoxicidade	Pt	0,00295	1,78%
Uso do Solo	Pt	0,00247	1,49%
Minerais	Pt	0,00200	1,20%
Acidificação/Eutrofização	Pt	0,00223	1,34%
Resp. Orgânicos	Pt	0,00018	0,11%
Radiação	Pt	0,00001	0,00%
Camada de Ozônio	Pt	0,00000	0,00%
Total	Pt	0,16593	100%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o cenário 1, aproximadamente 70% dos impactos ambientais apontados pela ACV estão concentrados na categoria “Combustíveis Fósseis”. Além disso, essa análise também indicou uma grande concentração dos impactos nas categorias “Respiratórios Inorgânicos”, “Carcinogênicos” e “Mudanças Climáticas”. As quatro categorias somadas representam 94% do total de impactos ambientais do fluxo desse cenário.

O cenário 2, que contempla coleta em São Luís – MA e transporte para uma planta hipotética em Fortaleza – CE que utiliza o processo de hidrotratamento, tem seus resultados expostos na Tabela 6, onde é possível observar uma concentração nas mesmas categorias de impacto do cenário 1, com a categoria “Combustíveis Fósseis” também representando quase 70% do impacto total dessa análise de ciclo de vida.

Tabela 6. Resultado da Análise de Ciclo de Vida do Cenário 2.

Categoria de Impacto	Unidade	Valor (Pt)	Variação (%)
Combustíveis Fósseis	Pt	0,08293	69,06%
Resp. Inorgânicos	Pt	0,01983	16,51%
Carcinogênicos	Pt	0,00749	6,24%
Mudanças Climáticas	Pt	0,00244	2,03%
Ecotoxicidade	Pt	0,00212	1,77%
Uso do Solo	Pt	0,00191	1,59%
Minerais	Pt	0,00178	1,48%
Acidificação/Eutrofização	Pt	0,00141	1,17%
Resp. Orgânicos	Pt	0,00016	0,13%
Radiação	Pt	0,00001	0,00%
Camada de Ozônio	Pt	0,00000	0,00%
Total	Pt	0,120077	100%

Fonte: Elaborado pelos autores.

O último cenário analisado, o cenário 3, que trata apenas do processo de refino do óleo lubrificante primário de primeiro uso, tem seus resultados descritos da Tabela 7. Para esse terceiro cenário, também há um peso importante para a categoria “Combustíveis Fósseis”, representando 82% do total de impactos ambientais da ACV. Além disso, as categorias “Respiratórios Orgânicos”, “Carcinogênicos” e “Mudanças Climáticas” também foram as de maiores impactos, totalizando junto com “Combustíveis Fósseis” 96,4% de todos os impactos da análise.

Tabela 7. Resultado da Análise de Ciclo de Vida do Cenário 3.

Categoria de Impacto	Unidade	Valor (Pt)	Variação (%)
Combustíveis Fósseis	Pt	0,2378	82,0%
Resp. Inorgânicos	Pt	0,0208	7,2%
Carcinogênicos	Pt	0,0060	2,1%
Mudanças Climáticas	Pt	0,0151	5,2%
Ecotoxicidade	Pt	0,0044	1,5%
Uso do Solo	Pt	0,0025	0,9%
Minerais	Pt	0,0017	0,6%
Acidificação/Eutrofização	Pt	0,0012	0,4%
Resp. Orgânicos	Pt	0,0004	0,1%
Radiação	Pt	0,0001	0,0%
Camada de Ozônio	Pt	0,0000	0,0%
Total	Pt	0,2900	100%

Fonte: Canchumani (2013).

3.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS

A fim de compreender quais cenários e categorias apresentam mais impactos ambientais, os três foram agrupados na Tabela 8 com o objetivo de facilitar estudos comparativos entre si.

Tabela 8. Comparação do resultado das ACVs dos três cenários.

Categoria de Impacto	Unid.	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
		Valor (Pt)	Peso (%)	Valor (Pt)	Peso (%)	Valor (Pt)	Peso (%)
Combustíveis Fósseis	Pt	0,1155	69,6%	0,0829	69,1%	0,2378	82,0%
Resp. Inorgânicos	Pt	0,0275	16,6%	0,0198	16,5%	0,0208	7,2%
Carcinogênicos	Pt	0,0094	5,6%	0,0075	6,2%	0,0060	2,1%
Mudanças Climáticas	Pt	0,0037	2,2%	0,0024	2,0%	0,0151	5,2%
Ecotoxicidade	Pt	0,0029	1,8%	0,0021	1,8%	0,0044	1,5%
Uso do Solo	Pt	0,0025	1,5%	0,0019	1,6%	0,0025	0,9%
Minerais	Pt	0,0020	1,2%	0,0018	1,5%	0,0017	0,6%
Acidificação/Eutrofização	Pt	0,0022	1,3%	0,0014	1,2%	0,0012	0,4%
Resp. Orgânicos	Pt	0,0002	0,1%	0,0002	0,1%	0,0004	0,1%
Radiação	Pt	0,0000	0,0%	0,0000	0,0%	0,0001	0,0%
Camada de Ozônio	Pt	0,0000	0,0%	0,0000	0,0%	0,0000	0,0%
Total	Pt	0,1659	100%	0,1201	100%	0,2900	100%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os cenários 1 e 2 apresentam distribuição dos pontos semelhantes quando são comparados percentualmente. Para ambos os casos “Combustíveis Fósseis” foi a categoria com maior impacto ambiental, representando aproximadamente 70% do total de pontos nas análises.

As categorias “Respiratórios Inorgânicos”, “Carcinogênicos” e “Mudanças Climáticas” somadas à categoria “Combustíveis Fósseis” representaram 94% do total de pontos em ambos os cenários, sendo as mais impactantes ambientalmente. Em contrapartida, as categorias “Respiratórios Orgânicos”, “Radiação” e “Camada de Ozônio” praticamente não tiveram impactos nos cenários 1 e 2 estudados, com suas pontuações aproximadamente em zero.

Contudo, comparando o valor dos pontos ao invés de comparar os percentuais, foi possível observar que o cenário 2 tem um impacto ambiental total 28% menor que o cenário 1 – com o cenário 2 resultado num valor total de pontos de 0,1201 e o cenário 1 apresentando 0,1659.

Além disso, apesar dos cenários 1 e 2 apresentarem percentuais parecidos entre as categorias, o cenário 2 impacta aproximadamente 30% menos na categoria “Combustíveis Fósseis” do que o cenário 1.

Tais resultados indicam que o transporte do produto para ser rerrefinado em distâncias menores, bem como associado a uma utilização de um processo diferente tem ganhos ambientais significativos.

Mesmo o cenário 1 gerando mais impactos ambientais que o cenário 2, que tem menos emissões devido a um transporte em menor distância e processo diferenciado, ele

ainda produz impactos significativamente menores que o cenário 3, como é possível observar pela Figura 3.

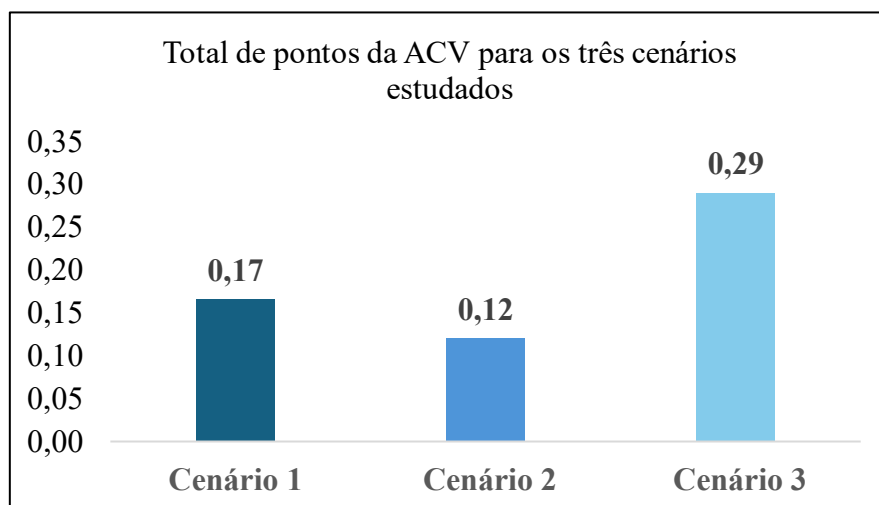


Figura 3. Comparação gráfica do resultado total das ACVs dos três cenários. Fonte: Elaborado pelos autores.

O cenário 3 resultou num total de pontos de 0,2900, um acréscimo de aproximadamente 59% quando comparado ao cenário 2, de menor impacto ambiental, e aproximadamente 42% maior que o cenário 1.

Analisando as categorias dos três cenários estudados, para todos os casos a categoria “Combustíveis Fósseis” é a que representa o maior impacto ambiental de acordo com as análises de ciclo de vida. Contudo, como é possível observar na Figura 4, essa categoria é muito mais impactada no cenário 3 do que nos demais, representando 200% a mais de pontos do que para o cenário 2 e 106% a mais de pontos do que o cenário 1.

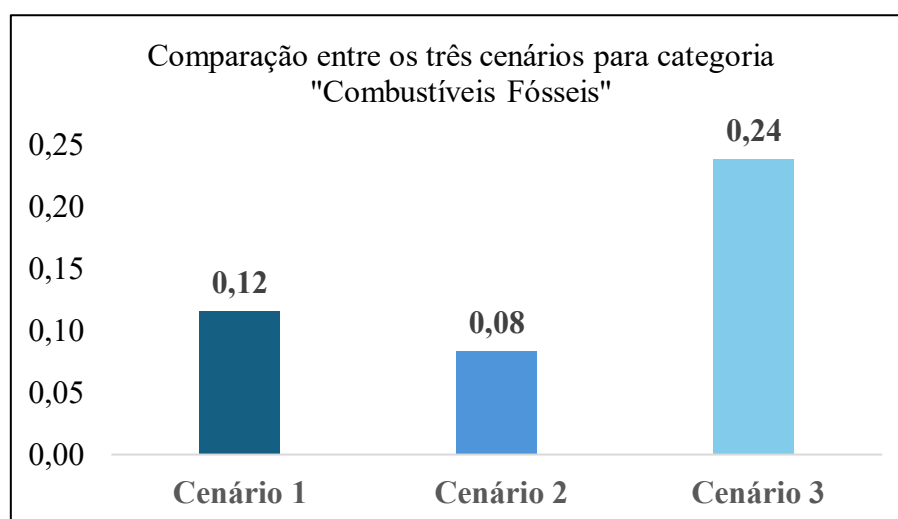


Figura 4. Comparação da categoria “Combustíveis Fósseis” para os três cenários. Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao colocar as variações percentuais das categorias de impacto dos três cenários lado a lado, como representado na Figura 5, reforça novamente como o cenário 3 tem alto

impacto na categoria “Combustíveis Fósseis” que os demais. Além disso, o cenário 3 também apresenta um peso maior para a categoria “Mudanças Climáticas”.

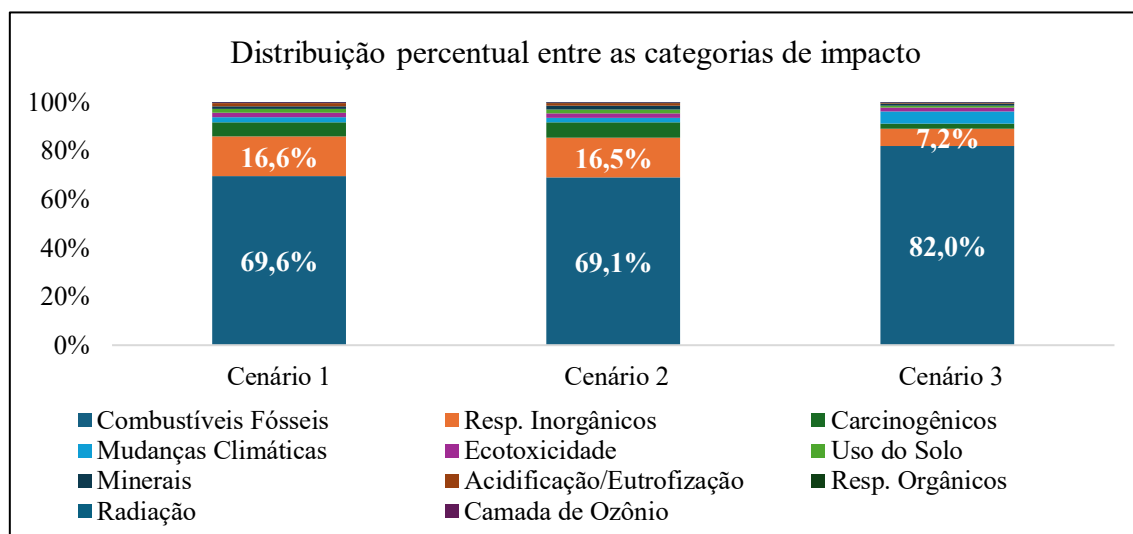


Figura 5. Comparação da categoria “Combustíveis Fósseis” para os três cenários. Fonte: Elaborado pelos autores.

Pela análise dos três cenários estudados, observou-se que, mesmo havendo o percurso de longas distâncias no cenário 1 para processar o OLUC, e utilizando o processo ácido-argila, ele ainda resulta em ganhos ambientais mais importantes do que o processo de refino do óleo lubrificante primário ou de primeiro uso, indicando a importância de coletar, transportar e rerrefinar os óleos usados.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo avaliar os impactos ambientais que estão relacionados ao rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC) no Brasil, por meio da aplicação de uma Análise de Ciclo de Vida (ACV).

Os resultados obtidos demonstraram que, embora ambos os cenários de rerrefino apresentem impactos ambientais importantes, especialmente na categoria “Combustíveis Fósseis”, o cenário 2, que considera uma planta mais próxima da origem do OLUC e utiliza o processo de hidrotreatamento, apresentou desempenho ambiental superior. Especificamente, esse cenário resultou em uma redução de aproximadamente 28% no total de pontos ambientais em comparação ao cenário 1, demonstrando que a descentralização geográfica das unidades de rerrefino, aliada à adoção de tecnologias mais modernas, pode representar ganhos ambientais significativos.

Além disso, quando comparados ao cenário 3, que foi baseado no refino convencional de óleo lubrificante virgem, ambos os cenários de rerrefino apresentaram vantagens ambientais relevantes. O cenário 2, por exemplo, apresentou uma redução de cerca de 59% nos impactos totais em relação ao cenário convencional, reforçando a importância do rerrefino como estratégia de economia circular e mitigação de impactos ambientais.

Através das análises também foi possível concluir que as categorias de impacto mais críticas, em todos os cenários, foram “Combustíveis Fósseis”, “Respiratórios Inorgânico”, “Carcinogênicos” e “Mudanças Climáticas”, que juntas representaram mais de 90% dos impactos totais. Tais resultados indicam que políticas públicas e estratégias industriais voltadas à redução do consumo energético e à modernização dos processos de rerrefino podem contribuir de forma significativa para a sustentabilidade do setor.

Os dados obtidos demonstram que o poder público deveria adotar políticas que incentivem a descentralização das unidades de rerrefino, especialmente em regiões como o Nordeste e o Centro-Oeste, que apresentam elevada geração de OLUC, mas carecem de infraestrutura de rerrefino. Além disso, é fundamental aprimorar fiscalização e rastreabilidade da coleta e destinação do OLUC, combatendo práticas ilegais como a queima em caldeiras e o descarte inadequado.

Para a indústria petroquímica, recomenda-se o investimento contínuo em tecnologias mais limpas e eficientes, que não apenas reduzam os impactos ambientais, mas também melhorem a qualidade do óleo básico produzido, além de ser necessário avaliar melhor os ganhos econômicos e ambientais ao descentralizar geograficamente novas plantas de rerrefino de OLUC que venham ser projetadas e construídas.

Por fim, esta pesquisa reforça a relevância da Avaliação do Ciclo de Vida como ferramenta de apoio à tomada de decisão ambiental, permitindo uma visão sistêmica e comparativa entre diferentes alternativas tecnológicas e logísticas.

Cabe ressaltar que os resultados apresentados devem ser compreendidos como preliminares, uma vez que se baseiam em modelagens simplificadas e em dados disponíveis na literatura e em portais do governo. Para que análises futuras possam refletir com maior fidelidade a realidade operacional e ambiental do rerrefino no Brasil, recomenda-se a ampliação do escopo da ACV, com a inclusão de maior detalhamento dos processos logísticos e produtivos, e a utilização de dados primários obtidos diretamente junto às empresas do setor. Tais aprimoramentos permitirão a construção de cenários mais realistas e a formulação de recomendações ainda mais embasadas para a gestão sustentável do OLUC.

5 REFERÊNCIAS

ABDALLA, N.; FEHRENBACH, H. LCA for regeneration of waste oil to base oil. **Heidelberg: IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung**, 2018. Disponível em: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/ifeu-GEIR-LCA-regeneration-waste-oil_final-version-2018corr.pdf. Acesso em: 23 maio 2025

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Coleta de OLUC: ANP lança novo sistema para consulta do cumprimento de metas. Brasília: ANP, 2021

ALVES, V. G. C. **Refinário de óleo lubrificante usado: uma revisão das tecnologias e do desempenho da Indicação Científica**. IMESA, Assis-SP, 2011.

ALTSCHUL, Joyce Sholl. **Governança pública como dimensão para mensuração do desempenho da logística reversa do óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC)**. 2022. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Rio de Janeiro, 2022.

BIONDI, Caio Oliveira. **Modelagem e otimização do planejamento da produção de uma refinaria de petróleo**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022

BRASIL. **Ministerio do Meio Ambiente**. Coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado – 2023 (ano base 2023). Brasília/DF, setembro de 2023. Disponível em: <https://staticsindirrefino-prod.s3.amazonaws.com/upload/arquivosparadownload/00001895.pdf>. Acesso em: 14 de março de 2025.

CANCHUMANI, R. Óleos lubrificantes: características e aplicações. **Revista de Engenharia Química**, v. 25, n. 2, p. 33-40, 2013.

COELHO, Thiago Cardeliquio; MIRANDOLA, Fernando. Logística reversa de OLUC – óleo lubrificante usado e contaminado. In: **FATECLOG – Logística e Sociedade: Presença Feminina, Diversidade, Inclusão Social e Sustentabilidade**, XIV., 2023, Americana/SP. Anais [...]. Americana: Fatec Americana, 2023

CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente**, 2005. Resolução nº 362 de 2005. Ministério do Meio Ambiente: Brasília, 2005.

COSTA, M. C. **Monitoramento de lubrificantes através de reações de oxidação**. Monografia de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Engenharia Química, UFIRN, Natal-RN. 40p. 2009.

GOEDKOOPE M.; HEIJUNGS R.; DE SCHRYVER A.; STRUIJS J.; VAN ZELM R. **ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level / Report I: Characterization**. Holanda. Ministerie van VROM, Den Haag, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Fortaleza (CE) – Cidades e Estados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/fortaleza.html>. Acesso em: 13 maio 2025

LIMA, E. A. **Avaliação e otimização do processo de recuperação dos lubrificantes usados por meio da técnica de adsorção**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biotecnológicas, Universidade Federal da Paraíba, 2016.

LWART LUBRIFICANTES. **Características da Logística Reversa e Rerrefino.**

Apresentação institucional. 2021.

MICROSOFT BING MAPS. **Rota entre São Luís-MA e Fortaleza-CE. 2025.** Disponível em: <https://bing.com>. Acesso em: 13 maio 2025.

NASCIMENTO, Irelia Rayra Dantas do. **Óleo lubrificante usado ou contaminado e resíduos associados: diagnóstico, estimativa e perspectivas de um ambiente sustentável.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal.

ROCHA, Arthur Ferreira; OSORTO, Mario Rene Rivera; CASAGRANDE, Michéle Dal Toé. **Avaliação do ciclo de vida (ACV) de misturas asfálticas do tipo Matriz Pétreo Asfáltica (SMA) com adição de fibras de coco.** In: PAN-AMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING, 17., 2024, La Serena, Chile. Anais [...]. La Serena: ISSMGE, 2024

ZHAO, B. et al. **Lubrication and Dynamic Characteristics Analysis Technology: For Journal-Thrust Coupled Bearing and Double-Layer Oil Film Floating Bearing in Marine Engine.** Singapore: Springer, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/book/9789819522699>. Acesso em: 01 set. 2025.