

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

TALITA RODRIGUES DE UZÊDA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ÓLEO LUBRIFICANTE
RERREFINADO: APLICAÇÃO DE UM MÉTODO SIMPLIFICADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2014

TALITA RODRIGUES DE UZÊDA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ÓLEO LUBRIFICANTE
RERREFINADO: APLICAÇÃO DE UM MÉTODO SIMPLIFICADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Aulus Roberto Romão Bineli

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sabrina Rodrigues Sousa

LONDRINA

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ÓLEO LUBRIFICANTE RERREFINADO: APLICAÇÃO DE UM MÉTODO SIMPLIFICADO

por

TALITA RODRIGUES DE UZÊDA

Monografia apresentada no dia 09 de dezembro de 2014 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Marcos Jeronimo Goroski Rambalducci
(UTFPR)

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
(UTFPR)

Prof. Dr. Aulus Roberto Romão Bineli
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Não posso deixar passar esta oportunidade de agradecimentos sem demonstrar meu sentimento de gratidão a Deus, que tornou possível que eu chegasse ao final desta, que representa apenas a primeira de muitas caminhadas em minha vida profissional.

Agradeço também à minha família, se Deus é o caminho, vocês são o combustível que me move nas estradas da vida. Aos meus pais, Maurício e Analice, por me darem o exemplo de cidadã e de pessoa que eu tento ser. Aos meus irmãos, Vinícius, Diogo, Henrique e Alice, por serem meus melhores amigos e companheiros desde os primeiros passos. À minha sobrinha, Ana Júlia, por ser essa criança iluminada e graciosa que é. À todos os meus tios, primos e avôs que estiveram na torcida e nas orações para que eu chegasse até aqui.

Agradeço aos meus orientadores neste trabalho, o Prof. Dr. Aulus Roberto Romão Bineli e a Profa. Dra. Sabrina Rodrigues Sousa, por aceitarem o desafio de me acompanhar neste trabalho mesmo com alguns obstáculos no caminho.

À minha querida turma 5, à todos os que passaram por essa turma e que de alguma maneira me deixaram um vestígio de amizade, em especial às meninas: Veronika, Michelle, Soraya, Amanda, Rafaella (Noel), Camila, Luciana, Jaqueline, Camila (Serena) e Isabela.

Não posso deixar de agradecer também, aos meus amigos de infância que me acompanharam, mesmo que à distância, durante estes cinco anos de graduação, em especial às minhas irmãs de alma, Bárbara e Luana, vocês moram no meu coração.

Deixo ainda meu agradecimento à todos os professores que me acompanharam nesta caminhada, tudo o que sou e tenho como fruto desta graduação devo à vocês que se empenham e se dedicam todos os dias a formar cidadãos e engenheiros melhores em um mundo que às vezes parece injusto.

Por fim, à todos que participaram desta caminhada, mas que não se sentiram tocados por estas palavras, obrigada.

RESUMO

UZÊDA, Talita R. de. **Avaliação do Ciclo de Vida do Óleo Lubrificante Rerrefinado:** Aplicação de um método simplificado. 2014. 73 pag. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

O Óleo Lubrificante é um derivado de petróleo com aplicações diversas no setor automobilístico e industrial. O uso deste líquido, no entanto, gera um resíduo de alto potencial poluidor para águas, solos e ar (Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado – OLUC). A destinação deste resíduo pode variar da queima, para a produção energética, à reciclagem. No Brasil, a destinação obrigatória por lei é o processo de recuperação e purificação do resíduo por meio do rerrefino. A determinação do processo de destinação ambientalmente favorável depende da análise de aspectos e impactos ambientais decorrentes de todo o ciclo de vida do produto, sendo a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) uma ferramenta indicada para este tipo de análise. Este trabalho teve como objetivo a realização de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), para melhor entendimento do tema e dos estudos já realizados com esta temática, e a condução de uma ACV simplificada, para determinação do perfil ambiental do Óleo Lubrificante Rerrefinado (OLR). Os resultados da RBS mostraram carência em relação à existência de estudos neste tema. Dos trabalhos encontrados que objetivaram comparar as formas de destinação do OLUC, seis em nove, indicaram o rerrefino como método ambientalmente favorável. A ACV simplificada, executada por meio da metodologia da Matriz Dfe, apresentou o OLR com desempenho médio, destacando a etapa de uso do produto como a mais impactante, por se tratar da etapa em que é gerado o OLUC, e as etapas de distribuição e embalagem como as menos impactantes. Em relação aos aspectos ambientais, a geração de resíduos sólidos apresentou menor impacto ambiental, reforçando a alta reciclabilidade do OLUC e das embalagens comumente utilizadas para a comercialização do produto.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida, Óleo Lubrificante, Rerrefino, Matriz Dfe.

ABSTRACT

UZÊDA, Talita R. de. **Life Cycle Assessment of Re-refined Lubricant Oil**: use of a simplified method. 2014. 73 p. Course Conclusion Work (Bachelor of Environmental Engineering). — Environmental Engineering Graduation, Federal Technological University of Parana (UTFPR), Londrina, 2014.

Lubricant Oil is a petroleum product with many applications in the automotive and industrial sectors. Using this liquid, however, generates a high polluting potential residue to water, soil and air (Wasted Lubricant Oil – WLO). The disposal of this waste can vary from burning, for energy production, to recycling. In Brazil, the mandatory allocation by law is the recovery and purification of the residue by re-refining process. The determination of an eco-friendly disposal process depends on the analysis of environmental aspects and impacts generated by the whole life cycle of the products, and the Life Cycle Assessment (LCA) is an excellent tool to carry out this type of analysis. This study aimed to conduct a Systematic Literature Review (SLR) for a better understanding of the subject and also of the previous studies on this same subject and to guide the application of simplified LCA to determine the environmental profile of the Re-refined Lubricant Oil (RLO). The results of the SLR showed a scarcity of studies on this topic. Among the studies found that aimed to compare the alternatives for disposal of WLO, six in nine indicated the re-refining as environmentally friendly method. A simplified LCA, performed by the Dfe Matrix methodology, presented the RLO with average performance, highlighting the step product usage as the more impactful, once it is the step where WLO is generated, and the stages of distribution and packaging as the least impactful. Regarding environmental aspects, the solid waste generation showed lower environmental impact, emphasizing the high recyclability of WLO and of the packaging material commonly used in commercializing the product.

Keywords: Life Cycle Assessment, Lubricant Oil, Re-refining, Dfe Matrix

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de vida do Óleo Lubrificante no Brasil.....	15
Figura 2: Fluxograma básico do processo de rerrefino	19
Figura 3: Estrutura metodológica da avaliação do ciclo de vida.....	23
Figura 4: Análise das ferramentas de ecodesign existentes de acordo com o formato..	30
Figura 5: Análise das ferramentas quando às etapas do ciclo de vida consideradas	30
Figura 6: Análise das ferramentas quando aos aspectos ambientais considerados	31
Figura 7: Fluxograma de desenvolvimento da RBS	35
Figura 8: Matriz Dfe	38
Figura 9: Ilustração dos resultados gerais da RBS	43
Figura 10: Resultados da RBS por ferramenta de busca	44
Figura 11: Resultados da RBS por palavra-chave	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos óleos básicos pelo API	15
Quadro 2 - Função dos Aditivos	16
Quadro 3 - Combinação das técnicas de desasfaltamento e finalização nos principais processos de rerrefino atualmente praticados.....	20
Quadro 4 - Métodos de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada.....	36
Quadro 5 - Análise dos artigos incluídos na RBS.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados gerais da RBS	43
Tabela 2 - Resultados da RBS por ferramenta de busca	44
Tabela 3 - Resultados da RBS por palavra-chave	45
Tabela 4 - Matriz Dfe do Óleo Lubrificante Rerrefinado	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 O ÓLEO LUBRIFICANTE	14
3.2 PROCESSO INDUSTRIAL DO RERREFINO	18
3.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	21
3.3.1 DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO	22
3.3.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO	23
3.3.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (AICV)	24
3.3.4 INTERPRETAÇÃO	25
3.4 ACV APLICADA A ÓLEOS LUBRIFICANTES	25
3.5 MÉTODOS DE ACV SIMPLIFICADA	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS)	32
4.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADA	35
4.2.1 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE ACV SIMPLIFICADA	35
4.2.2 A MATRIZ DFE	38
4.2.3 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO DA MATRIZ DFE	39
4.2.3.1 PRÉ MANUFATURA (A)	40
4.2.3.2 MANUFATURA (B)	40
4.2.3.3 DISTRIBUIÇÃO E EMBALAGEM (C E D)	40
4.2.3.4 USO E MANUTENÇÃO (E)	41
4.2.3.5 FIM DE VIDA (F)	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	42
5.1.1 RESULTADOS GERAIS DA RBS	42
5.1.2 RESULTADOS DA RBS EM RELAÇÃO À FERRAMENTA DE BUSCA	44
5.1.3 RESULTADOS DA RBS EM RELAÇÃO ÀS PALAVRAS-CHAVE UTILIZADAS NA BUSCA	45
5.1.4 RESULTADOS QUALITATIVOS DA RBS	47
5.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADA	50
5.2.1 PRÉ-MANUFATURA	51
5.2.2 MANUFATURA	51
5.2.3 DISTRIBUIÇÃO E EMBALAGEM (OLR)	52
5.2.4 DISTRIBUIÇÃO E EMBALAGEM (OLA)	53
5.2.5 USO E MANUTENÇÃO	54
5.2.5 FIM DE VIDA	54
5.2.6 RESULTADOS GLOBAIS DA MATRIZ DFE	55
5.2.7 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA	57
6. CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA A MATRIZ DFE	65

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e industrial gera grande demanda na cadeia produtiva do petróleo e seus derivados, com destaque para o *óleo lubrificante*, líquido utilizado para diminuir o atrito e, conseqüentemente, aumentar a vida útil de motores de carros, caminhões, motocicletas, aviões, trens, barcos e inúmeras máquinas e equipamentos motorizados.

O óleo lubrificante extraído a partir do refino do petróleo é denominado *óleo lubrificante básico (OLB)*. Este líquido recebe aditivos que conferem ao mesmo as propriedades ideais para sua utilização sendo denominado a partir de então, *óleo lubrificante acabado (OLA)*.

A utilização normal do OLA provoca a degradação de seus constituintes e acúmulo de outros elementos potencialmente tóxicos oriundos do processo em que foi empregado, passando a ser denominado *óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC)*. Por suas características referentes à toxicidade, o OLUC é classificado como “resíduo classe I – Perigoso”, de acordo com a norma NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2004).

Além da carga original de perigo do óleo lubrificante, o OLUC apresenta maior toxicidade devido à degradação de seus componentes que gera compostos perigosos para a saúde e meio ambiente, tais como dioxinas, ácidos orgânicos, cetonas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (ASSOCIAÇÃO DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE DE CIANORTE - APROMAC, 2011).

O descarte indevido do OLUC no solo ou em cursos de água gera danos ambientais, inutilizando solos por torná-los inférteis e proporciona o cobrimento da superfície de água, formando uma fina película que impede a oxigenação e origina a morte por asfixia dos peixes e plantas (ALCOBIA, 2009).

O OLUC é um contaminante de composição complexa, de difícil degradação pelos microrganismos e, quando lançado no esgoto, compromete o funcionamento de estações de tratamento, que muitas vezes dependem de processos microbiológicos

ligados à oxigenação. Além disso, ele pode afetar o funcionamento de equipamentos mecânicos e tubulações.

Por fim, outra destinação indevida comum é a queima do OLUC, que causa forte concentração de poluentes como as bifenilas policloradas (PCBs), metais pesados (arsênio, cádmio e chumbo) e compostos orgânicos (benzeno e naftaleno), num raio de 2 km em média (APROMAC, 2011), que, além de comprometer a qualidade do meio ambiente, podem penetrar no sistema respiratório e aderir à pele dos seres humanos.

Dado o grau dos impactos ambientais que podem ser causados pela disposição incorreta do OLUC, surge a necessidade da gestão correta deste resíduo, de maneira a prevenir e minimizar os efeitos que ele pode acarretar sobre a qualidade do meio ambiente e saúde humana.

Existem diversas formas de destinação do OLUC praticadas e legalizadas internacionalmente. Na Europa, a Diretiva 75/439/EEC (European Economic Community – Comunidade Europeia Econômica) determina a hierarquia do gerenciamento de óleos usados dando preferência à regeneração, ou rerrefino, e aceitando também a incineração sob condições ambientais aceitáveis (PIRES; MARTINHO, 2012a). A preferência pelo rerrefino como tratamento para o OLUC tem sido amplamente implantada em países como a Grécia, Luxemburgo, Bélgica, Dinamarca, Alemanha, Itália, Holanda e Polônia, todos os quais alcançaram taxas superiores a 70% de rerrefino (PIRES e MARTINHO, 2012b).

Na Finlândia, até 2007, a maior parte do óleo usado gerado era utilizada como combustível em incineradores de resíduos perigosos, fornos de cimento e usinas elétricas. Com a construção de uma nova planta de rerrefino em 2009, no entanto, o sistema de gerenciamento de óleos usados finlandês vem mostrando um avanço no percentual destinado à regeneração de 9% em 2006 para 87% em 2011 (KAPUSTINA et. al., 2014).

Nos Estados Unidos, o total de OLUC coletado é destinado a três principais vias: o rerrefino, a destilação para utilização como óleo marinho e a venda como óleo não tratado (BOUGHTON; HORVATH, 2004).

Já no cenário brasileiro, o gerenciamento de resíduos sólidos é regido principalmente pela Lei Federal nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de

Resíduos Sólidos (PNRS). Em seu texto a PNRS define a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, expandindo a responsabilidade pela destinação correta de resíduos aos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores (BRASIL, 2010). Esta mesma lei define ainda, em seu artigo 33, a obrigatoriedade de estruturação e implementação de um sistema de logística reversa para resíduos perigosos, incluindo entre estes os óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens.

No âmbito específico de gerenciamento do OLUC, temos que, desde 1993, com a publicação da resolução Conama nº 09, foi determinado que todo OLUC deve ser destinado à reciclagem pelo processo de rerrefino. Esta resolução foi posteriormente revisada e alterada pela resolução Conama nº 362/2005, que reafirma a necessidade e obrigatoriedade de coleta e rerrefino do resíduo, apresentando este como o método ambientalmente mais seguro para a reciclagem do OLUC, e, portanto, a melhor alternativa de gestão ambiental deste tipo de resíduo.

O rerrefino é o conjunto de processos que permite a remoção de contaminantes, produtos de degradação e aditivos do OLUC, conferindo ao mesmo as características de óleos básicos (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA, 2005), ou seja, é considerado o melhor método de reciclagem do resíduo por neutralizar os impactos ambientais potencialmente gerados pela destinação incorreta, além de inserir no mercado um produto diretamente ligado à exploração do petróleo e à importação.

De acordo com a revista Lubs'n'Greases (BELMIRO, 2014) o mercado de óleos lubrificantes no Brasil atingiu em 2013 um volume de 1.37 milhões de toneladas, das quais menos de sessenta por cento são de responsabilidade de produção nacional, seja por refino ou rerrefino, ou seja, mais de quarenta por cento da demanda nacional de OLB ainda é dependente de importação.

Apesar das vantagens apresentadas, para enfatizar que o rerrefino é o método ambientalmente mais seguro para a destinação do OLUC, são necessários estudos que possam ponderar os aspectos e impactos potenciais relacionados ao processo, para que se torne mais evidente sua importância na cadeia de gerenciamento deste resíduo. Uma técnica que pode ser utilizada com este intuito é a Avaliação do Ciclo de Vida

(ACV) que merece destaque por se tratar de uma metodologia normatizada pela *International Organization for Standardization* (ISO) e que trata dos aspectos e impactos potenciais relacionados a todo o ciclo de vida.

De acordo com a norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), a ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto, mediante a compilação de um inventário de entradas e saídas de um sistema de produto, a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas e a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos. Ou seja, a ACV é uma ferramenta para a análise do impacto ambiental de um produto em todos os estágios de seu ciclo de vida – desde a extração de recursos, passando pela produção do produto, pelo seu uso e chegando ao gerenciamento final, seja por reuso, reciclagem ou disposição final. (GUINÉE et. al., 2004).

A aplicação da ACV pode auxiliar na identificação de oportunidades de melhoria, na tomada de decisões na indústria ou em organizações governamentais, na seleção de indicadores de desempenho ambiental e no marketing de um produto. (ABNT, 2009).

Neste contexto, esta pesquisa traz a expectativa do pesquisador de contribuir com informações que subsidiem estudos comparativos posteriores e que demonstrem a importância do rerrefino do OLUC na reciclagem do resíduo e na fabricação de um produto de alta demanda, e tem por objetivo utilizar um método simplificado de ACV buscando responder ao seguinte questionamento: Em termos de etapas do ciclo de vida e aspectos ambientais mais significativos, qual o perfil ambiental do Óleo Lubrificante Rerrefinado (OLR)?

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o perfil ambiental do óleo lubrificante rerrefinado (OLR) por meio da realização de uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) e da aplicação de uma técnica de avaliação de ciclo de vida simplificada, auxiliando na geração de dados que sirvam de base para a conscientização dos agentes envolvidos na cadeia produtiva deste resíduo.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Visando atender ao objetivo geral acima definido, os seguintes objetivos específicos foram determinados:

- Adquirir conhecimentos sobre o óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC), bem como sobre seu processo de rerrefino;
- Adquirir conhecimentos sobre a técnica avaliação do ciclo de vida (ACV) e sua estrutura metodológica;
- Realizar uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) sobre a aplicação de ACV no estudo do OLUC e do OLR;
- Definir as bases de pesquisa mais indicadas, bem como as combinações de palavras-chave com melhores resultados para o caso estudado;
- Identificar os principais estudos existentes que tratem da ACV do OLUC e OLR;
- Definir o método de ACV simplificada mais aplicável ao caso do OLR;
- Traçar o perfil ambiental do OLR com o auxílio da metodologia definida;
- Identificar as etapas do ciclo de vida mais e menos impactantes e os aspectos ambientais mais relevantes para este estudo de caso; e
- Avaliar a metodologia definida propondo melhoras;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para contextualização do estudo, este capítulo apresenta os principais aspectos da utilização e destinação do óleo lubrificante (3.1), as características básicas do processo de rerrefino e os métodos usuais (3.2), as diretrizes para utilização da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (3.3), os principais estudos realizados com a aplicação de ACV a óleos lubrificantes (3.4) e as possíveis simplificações da metodologia de ACV.

3.1 O ÓLEO LUBRIFICANTE

O petróleo ainda é a principal fonte energética para as atividades humanas. De seu total são extraídos subprodutos como gasolina, querosene, óleo diesel, óleos lubrificantes, asfalto e piche. Apesar de ser um recurso considerado abundante, sua extração envolve altos custos e riscos ambientais. Dentre os subprodutos da extração e refino do petróleo, convém destacar os óleos lubrificantes, que representam uma importante família entre os produtos da indústria de refino e são amplamente utilizados para reduzir o atrito entre os componentes móveis e em motores modernos (GIROTTI et al., 2011). São também funções do lubrificante a refrigeração e a limpeza das partes móveis, a transmissão de força mecânica, a vedação, isolamento e proteção de componentes específicos, e até a transferência de determinadas características físico-químicas a outros produtos (APROMAC, 2011).

No Brasil, o óleo lubrificante básico (OLB) pode ser obtido por três diferentes processos: o refino do petróleo, a importação ou o rerrefino. As características deste primeiro produto são alteradas pela incorporação de aditivos que conferem ao OLB as propriedades ideais para o uso e, por isso, nesta etapa o chamamos de *óleo lubrificante acabado* (OLA). O OLA depois de usado tem seus constituintes degradados dando origem ao OLUC. O OLUC por sua vez, passa pelo processo de rerrefino e tem as

características de óleo básico recuperadas. As etapas deste ciclo podem ser observadas na Figura 1.

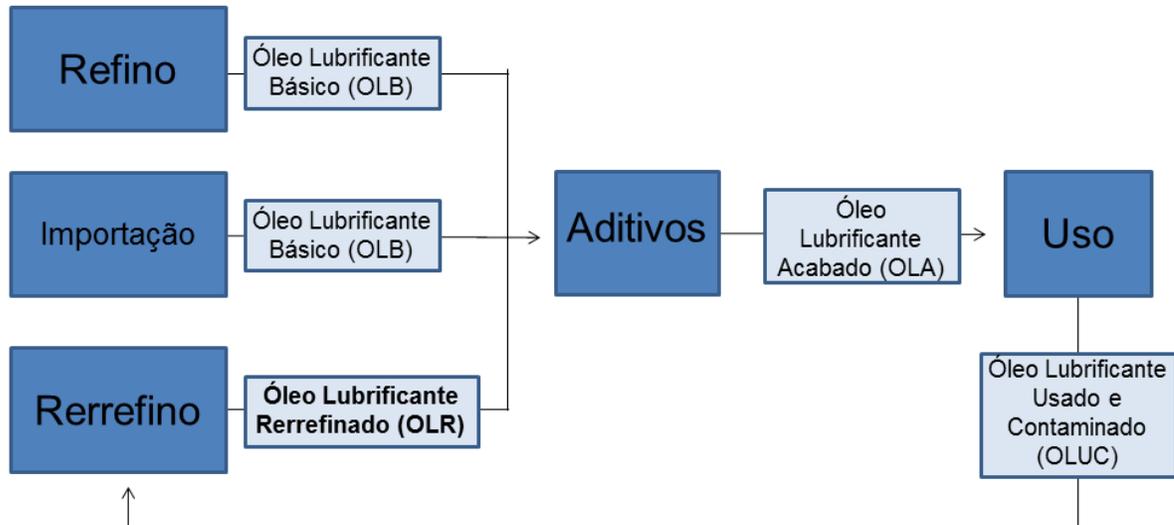


Figura 1: Ciclo de vida do Óleo Lubrificante no Brasil
 Fonte: Autoria própria

Os óleos lubrificantes básicos podem ainda ser de origem sintética, ou seja, serem produzidos através de reações químicas, a partir de produtos geralmente extraídos do petróleo (APROMAC, 2011), neste trabalho serão tratados apenas os óleos lubrificantes minerais que consistem naqueles produzidos diretamente a partir do refino do petróleo.

O Instituto Americano de Petróleo (API – *American Petroleum Institute*) classifica o OLB de acordo com o teor de enxofre, saturações e o índice de viscosidade como mostrado no Quadro 1. Os grupos I, II e III representam os óleos minerais enquanto que os grupos IV e V são os óleos sintetizados.

Quadro 1 - Classificação dos óleos básicos pelo API

Grupo	% de Enxofre	% de Saturação	Viscosidade
I	> 0.03	< 90	80 – 119
II	≤ 0.03	≥ 90	80 – 119
III	≤ 0.03	≥ 90	≥ 120
IV	PAOs		
V	Não incluídos nos grupos I, II, III e IV		

Fonte: KUPAREVA; MAKI-ARVELA; MURZIN (2013)

Como dito anteriormente, é comum que sejam adicionados aos óleos básicos aditivos que conferem aos mesmos as características de óleos lubrificantes acabados. Aditivos são compostos químicos que, quando adicionados aos óleos básicos, podem reforçar, adicionar, ou eliminar algumas de suas características (CANCHUMANI, 2013) .

A indústria de aditivos de lubrificantes está continuamente se desenvolvendo para melhorar as propriedades e o desempenho de lubrificantes comerciais, reduzir o consumo de combustíveis e aumentar a vida útil de motores (RAIMONDI et al., 2012). Aliado aos benefícios dos aditivos, tem-se ainda o aumento do tempo entre trocas de óleo automotivo, o que resulta na menor demanda de OLB e menor geração de OLUC.

O Quadro 2 apresenta os principais aditivos utilizados, suas funções e principais substâncias.

Quadro 2 - Função dos Aditivos

Tipo de Aditivo	Função	Substâncias Usadas
Antioxidantes	Retardar a oxidação dos óleos lubrificantes, que tendem a sofrer esse tipo de deterioração quando em contato com o ar, mesmo dentro do motor.	ditiofosfatos, fenóis, aminas
Detergentes / Dispersantes	Impedir a formação de depósitos de produtos de combustão e oxidação, mantendo-os em suspensão no próprio óleo e permitindo que sejam retirados pelos filtros ou na troca do lubrificante.	sulfonatos, fosfonatos, fenolatos
Anticorrosivos	Neutralizar os ácidos que se formam durante a oxidação e que provocam a corrosão de superfícies metálicas	ditiofosfatos de zinco e bário, sulfonatos
Antiespumantes	Minimizar a formação de espumas que tendem a se formar devido à agitação dos óleos lubrificantes e prejudicam a eficiência do produto.	siliconas, polímeros sintéticos
Rebaixadores de ponto de fluidez	Impedir que os óleos “engrossem” ou congelem, mantendo sua fluidez sob baixas temperaturas	
Melhoradores de índice de viscosidade	Reduzir a tendência de variação da viscosidade com a variação de temperatura	

Fonte: APROMAC (2011)

Durante o uso dos óleos lubrificantes, estes envelhecem, se deterioraram e perdem eficiência graças à mistura com materiais externos que contêm farelos de metais, outros óleos e aditivos (HSU; LIU, 2011). Os óleos usados contêm elevados níveis de hidrocarbonetos e metais pesados, sendo os mais representativos: chumbo, zinco, cobre, cromo, níquel e o cádmio (GONÇALVES, 2013). A presença destes tipos de metais pesados, associados a hidrocarbonetos aromáticos policíclicos faz deste resíduo (OLUC) uma substância perigosa.

Diversos países como Portugal, França, Alemanha, Finlândia, Grécia, Estados Unidos, Japão, entre outros, têm investido na criação de sistemas de gestão de OLUC. Os principais objetivos destes sistemas são: (i) minimizar os impactos ambientais das atividades de gerenciamento de óleos; (ii) intensificar a recuperação de recursos e materiais essenciais; e (iii) reduzir os custos associados à gestão de óleos usados (KAPUSTINA et al., 2014).

Estes sistemas baseiam-se, muitas vezes, na cobrança de taxas ambientais sobre o litro de óleo colocado no mercado, instalações de ecopontos para a coleta do resíduo, criação de organizações regulatórias, entre outras medidas que visam diminuir o desvio de volume de óleo para fins ilegais.

As destinações finais comumente empregadas na gestão do OLUC no mundo são: a recuperação energética, a reciclagem para utilização em motores marinhos, a produção de argila expandida e o rerrefino.

A recuperação energética compreende a queima controlada para produção de energia, sendo realizada muitas vezes em fornos de cimentos, onde o OLUC é utilizado como combustível. Nos Estados Unidos, todo óleo usado é testado e, se atender aos padrões determinados, pode ser queimado (CALRECYCLE, 2013). Na Finlândia, até 2007, a maior parte do óleo usado era utilizada como combustível suporte em incineradores de resíduos perigosos, fornos de cimento e usinas elétricas (KAPUSTINA et al., 2014).

A utilização como óleo em motores marinhos inclui o processo de destilação para separação da água e do asfalto e a remoção de contaminantes grosseiros. A destilação resulta na recuperação de um óleo marinho de alta qualidade (baixos índices de cinzas e enxofre) e um composto asfáltico residual (BOUGHTON; HORVATH, 2014).

Na produção de argila expandida, o OLUC pré-tratado é utilizado como agente expensor em argilas que naturalmente não se expandem, ou seja, aquelas que quando aquecidas não aumentam de volume significativamente (PIRES; MARTINHO, 2012b).

Por fim, tem-se o processo de rerrefino, por meio do qual o OLUC tem as características do OLB recuperadas pela remoção de contaminantes, aditivos degradados, asfalto e água. Os diferentes processos de rerrefino assemelham-se pelas principais etapas presentes, sendo elas: remoção da água e dos combustíveis, desasfaltamento, fracionamento e finalização, destaca-se que as principais diferenças estão nas técnicas utilizadas para desasfaltamento e finalização (HSU; LIU, 2011). As tecnologias mais utilizadas para esta última etapa são: (i) o tratamento ácido-argila, que produz resíduos de difícil gestão, (ii) a extração por solventes, e (iii) o hidrotreatamento, que produz um óleo final de alta qualidade com baixos teores de enxofre e de insaturações. (GONÇALVES, 2013).

No Brasil, desde 1993 com a publicação da resolução CONAMA nº 9, foi determinado que todo OLUC deve ser destinado à reciclagem pelo processo de rerrefino. Esta resolução foi posteriormente revisada e alterada pela resolução CONAMA nº 362/2005, que reafirma a necessidade e obrigatoriedade de coleta e rerrefino do resíduo, definindo este método como o ambientalmente mais seguro para a reciclagem do OLUC, e, portanto, a melhor alternativa de gestão ambiental deste tipo de resíduo.

3.2 PROCESSO INDUSTRIAL DO RERREFINO

A Resolução CONAMA nº 362/2005 define o rerrefino como a categoria de processos industriais de remoção de contaminantes, produtos de degradação e aditivos dos óleos lubrificantes usados ou contaminados, que confere aos mesmos, características de óleos básicos. Basicamente o processo de rerrefino consiste em cinco etapas: filtração, desidratação, desasfaltamento, finalização e fracionamento. As etapas básicas do processo de rerrefino são apresentadas na Figura 2:

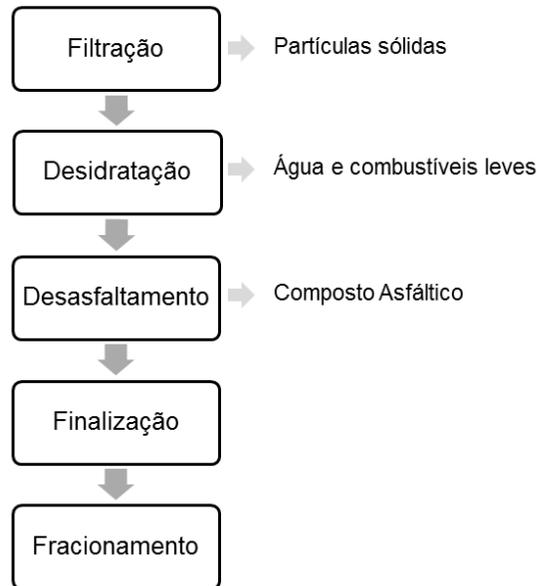


Figura 2: Fluxograma básico do processo de rerrefino

Fonte: Adaptado de: KUPAREVA; MAKI-ARVELA; MURZIN, 2013.

Em geral o processo de rerrefino se inicia com a filtração do OLUC para a remoção material grosseiro como plásticos, estopas e areia.

Na etapa de desidratação é removida a água e os combustíveis leves, como a nafta, provenientes de vazamentos de combustível do motor e da deterioração de componentes do óleo lubrificante (HSU; LIU, 2011). Estes contaminantes são extraídos através de diferenças de propriedade físicas como ponto de fusão e solubilidade em água.

O processo de desasfaltamento tem como premissa a remoção de combustíveis, aditivos degradados e outros contaminantes como os metais pesados provenientes do uso do óleo lubrificante. As principais técnicas de desasfaltamento se classificam em: (i) Químicas: utilização de ácido sulfúrico para reação e (ii) Físicas: extração por solventes; desasfaltamento térmico ou evaporação em filme fino. (KUPAREVA; MAKI-ARVELA; MURZIN, 2013).

O fracionamento pode ocorrer antes ou depois da finalização e tem por objetivo separar as frações do óleo lubrificante de acordo com ponto de ebulição, densidade e

viscosidade. De acordo com a resolução da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis nº 130 de 1999, o óleo lubrificante básico rerrefinado pode ser fracionado em: Spindle, Neutro Leve, Neutro Médio e Neutro Pesado.

A última etapa do processo de rerrefino, a finalização, é realizada para remoção de materiais indesejáveis não removidos nos processos anteriores como cloro, nitrogênio, oxigênio e enxofre (HSU; LIU, 2011). As técnicas de finalização mais utilizadas são o hidrotratamento e a finalização por argila ativada.

A combinação dos métodos de desasfaltamento e finalização gera uma grande diversidade de processos de rerrefino praticados atualmente. Uma síntese destes processos é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - Combinação das técnicas de desasfaltamento e finalização nos principais processos de rerrefino atualmente praticados. (continua)

Desasfaltamento	Finalização	Características
Ácido	Argila Ativada	Primeiro processo de rerrefino conhecido. Tem sido evitado principalmente pela geração de resíduos de difícil gestão (argila e borra ácida), emissão de odores e contaminação da água. Produz OLB do Grupo I com altos teores de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.
Evaporação em filme fino	Argila Ativada	Utilização dos filmes para remoção de materiais indesejáveis e da argila para a purificação do óleo. Utiliza menos ácido do que o tratamento ácido-argila e gera como resíduos uma borra neutra que pode ser utilizada na indústria cimenteira e na composição de asfalto.
Evaporação em filme fino	Hidrotratamento	Novamente o filme fino é utilizado para a remoção de materiais indesejados e desasfaltamento. O hidrotratamento consiste na reação do óleo com o hidrogênio na presença de um catalisador, proporcionando a remoção de enxofre e nitrogênio e a saturação de componentes aromáticos aumentando o índice de viscosidade. O hidrotratamento é capaz de produzir OLB do Grupo II.

Quadro 3 - Combinação das técnicas de desasfaltamento e finalização nos principais processos de rerefino atualmente praticados. (conclusão)

Desasfaltamento	Finalização	Características
Extração por solventes	Hidrotratamento	Utilização do propano para a separação de substâncias suspensas, asfalto, componentes metálicos e resina. Procede-se com o hidrotratamento como já detalhado.

Fonte: Adaptado de: HSU; LIU (2011), KUPAREVA; MAKI-ARVELA; MURZIN (2013), MYAMURA; LIMA (2011).

3.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A crescente preocupação com a escassez dos recursos naturais e preservação dos ecossistemas despertou no homem a necessidade de melhor gerir suas atividades, de maneira a reduzir os aspectos ambientais resultante das mesmas.

No âmbito do gerenciamento de resíduos sólidos e do desenvolvimento de sistemas de gestão de resíduos, se faz necessário o uso de ferramentas que possibilitem a quantificação e interpretação dos impactos potenciais de cada etapa do ciclo de vida dos produtos e processos. Uma das ferramentas para este objetivo é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), normatizada pela subsérie de normas ISO 14040, sendo parte da série ISO 14000, que trata da gestão ambiental pela *International Organization for Standardization (ISO)*.

Os estudos de ACV se iniciaram com um trabalho realizado pela Coca-Cola em 1969 para comparar diversos tipos de embalagens e definir qual se caracterizava pelos menores impactos ambientais. A grande contribuição deste estudo foi focar outros aspectos ambientais como o lançamento de efluentes e o consumo de recursos naturais, diferentemente dos estudos realizados na época, os quais somente analisavam o consumo de recursos energéticos (CANCHUMANI, 2013).

A ACV é uma ferramenta sistemática utilizada para avaliar os impactos associados a um produto ou a um serviço específico (ALCOBIA, 2009). Dentre as metodologias existentes na gestão ambiental, a ACV pode ser considerada uma das

mais apropriadas, pois busca soluções para problemas ambientais globais, incluindo todas as etapas do ciclo de vida de um produto ou processo (HINZ; VALENTINA; FRANCO, 2006). De acordo com a norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), a ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto, que inclui a obtenção de matérias-primas, passando por produção, distribuição uso e disposição.

Esta ferramenta pode ser utilizada em diferentes contextos, uma vez que pode ajudar na identificação de oportunidades de melhoria, na tomada de decisão na indústria e governo, na seleção de indicadores de desenvolvimento sustentável e no marketing (ABNT, 2009).

A execução de uma ACV de acordo com a NBR ISO 14040 engloba as fases de: (i) definição de objetivo e escopo; (ii) análise do inventário; (iii) avaliação de impactos e (iv) interpretação de resultados, como visto na Figura 3. Cada uma das etapas é apresentada a seguir.

3.3.1 Definição de objetivo e escopo

O objetivo da ACV deve informar o motivo da realização do estudo, as aplicações pretendidas, o público a quem os resultados serão comunicados, e se os resultados serão utilizados em análises comparativas divulgadas publicamente.

Na definição do escopo são considerados aspectos metodológicos, tais como o estabelecimento da função estudada, unidade funcional e fluxo de referência do produto, definição de fronteiras, critérios para a alocação de cargas ambientais, bem como as categorias de impacto a serem usadas (ABNT, 2009).

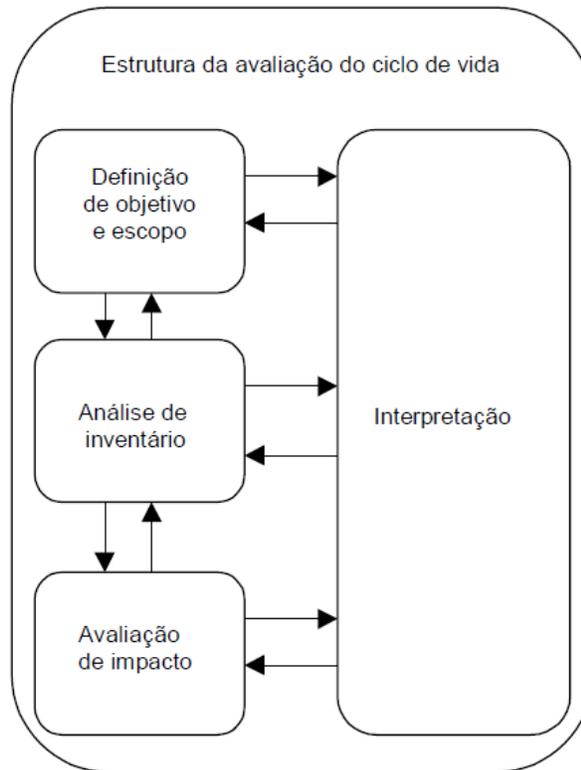


Figura 3: Estrutura metodológica da avaliação do ciclo de vida
Fonte: Baseado em ABNT (2009)

3.3.2 Análise de inventário

Na segunda etapa é feita a coleta de dados e os cálculos para quantificar as entradas e saídas de um sistema de produto conforme o objetivo e o escopo definidos (BARBIERI, 2011). Coletam-se dados sobre os materiais, energia, produtos, coprodutos, resíduos, lançamentos de poluentes no ar, água ou solo e outros. No caso do produto apresentar mais de uma função, os cálculos devem ser realizados de acordo com a metodologia de alocação definida anteriormente, quantificando as entradas e saídas proporcionais à função estudada.

O uso de alocação é feito quando o produto entrega mais de um serviço e a análise envolve menos serviços do que o total. A alocação pode ser feita considerando diferentes parâmetros: massa, energia e preço de mercado (RAIMONDI et al., 2012).

Para resolver problemas de alocação, o processo pode ser dividido em partes ou a expansão do sistema pode ocorrer (PIRES; MARTINHO, 2012b).

Nesta fase pode-se identificar pontos de produção de resíduos e sua destinação, as quantidades de material que circulam no sistema e as quantidades que deixam o sistema, determinar a poluição associada a uma unidade do sistema e identificar pontos críticos de desperdício de matéria prima ou de produção de resíduos (RIBEIRO; GIANNETI; ALMEIDA, 2003).

3.3.3 Avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV)

Esta fase objetiva entender e avaliar a magnitude e significância dos impactos potenciais do sistema. Durante esta etapa, os efeitos do uso de recursos e emissões geradas são agrupados e quantificados em categorias de impacto que podem ser pesadas para a atribuição de importância (GAIDAJIS et al., 2011).

Embora os resultados do inventário sejam válidos, é difícil construir estas longas listas de matérias e substâncias, portanto, a avaliação de impactos é necessária para um melhor entendimento dos resultados do inventário (GAIDAJIS et al, 2011).

A etapa de AICV traduz os aspectos ambientais identificados e quantificados no inventário em impacto potencial por meio das chamadas *categorias de impacto* através de indicadores de categoria que condensam e explicam os resultados do inventário.

De acordo com a norma ABNT ISO 14044 (ABNT, 2009b), a avaliação de impactos de uma ACV deve obrigatoriamente incluir a seleção de categorias de impactos, a classificação e a caracterização dos aspectos e impactos potenciais. Como resultado desta etapa tem-se os indicadores de categorias.

As categorias de impacto referem-se aos problemas ambientais gerados no decorrer do ciclo de vida (BARBIERI, 2011). São exemplos de categorias de impactos: mudanças climáticas (aquecimento global), eutrofização, degradação da camada de ozônio, acidificação, ecotoxicidade, toxicidade humana, consumo de energia e recursos naturais, entre outras. A caracterização consiste na conversão do aspecto ambiental em

um indicador de categoria que identifica a questão ambiental como, por exemplo, miligramas de dióxido de carbono equivalente para a categoria “mudanças climáticas”.

3.3.4 Interpretação

A última fase da ACV deve incluir a identificação de aspectos e impactos significativos, avaliação do estudo em termos de completeza, sensibilidade e consistência, além de recomendações e conclusões (BARBIERI, 2011). A fase de interpretação pode envolver o processo iterativo de análise crítica e revisão do escopo da ACV, assim como da natureza e da qualidade dos dados coletados de forma consistente com o objetivo definido (ABNT, 2009).

3.4 ACV APLICADA A ÓLEOS LUBRIFICANTES

Atualmente, existem poucos estudos referentes à condução de ACVs aplicadas a Óleos Lubrificantes. Os principais artigos publicados abordam a comparação entre os métodos de destinação do resíduo ou ainda a comparação entre a produção do óleo lubrificante básico a partir do primeiro refino do petróleo ou do rerrefino.

O governo do estado da Califórnia (EUA), a partir da publicação da Lei Estadual nº 546, em 2009 encomendou ao Departamento de Reciclagem e Recuperação de Recursos da Califórnia (CALRECYCLE) unido à Universidade da Califórnia - Santa Bárbara (UCSB) e a outras partes interessadas, a realização de uma ACV do sistema de gerenciamento de OLUC estadual. Ao todo, foram analisados dez cenários considerando diferentes proporções de destinação final formal e informal dada ao óleo. Por destinação formal foram consideradas as rotas de reciclagem para recuperação energética, destilação para produção de óleo marinho e o rerrefino. Como destinação

informal foram considerados o lançamento *in natura* ou cursos de água, aterramento e combustão *on site*.

Dentre os cenários de gerenciamento informal, os piores resultados foram encontrados no cenário de lançamento *in natura*. Para os cenários de gerenciamento formal, os melhores resultados foram encontrados com a utilização do rerrefino como forma de tratamento.

Pires e Martinho (2012) publicaram dois trabalhos relativos à aplicação de ACV no sistema de gerenciamento de OLUC em Portugal. O primeiro estudo utiliza oito categorias de impacto para comparar 16 rotas de gerenciamento do resíduo. As rotas consideram o gerenciamento atual praticado pelo sistema nacional, comparado a três opções de pré-tratamentos diferentes, associadas a uma das rotas de destinação: produção de argila expandida, rerrefino, recuperação energética, utilização como fonte de calor na produção de cimento e gerenciamento informal.

A partir da análise dos resultados, as autoras concluíram que a melhor rota de destinação utiliza o rerrefino como tratamento final do OLUC e a rota com maiores impactos é aquela em que a recuperação energética é utilizada.

O segundo artigo publicado pelas autoras (PIRES; MARTINHO, 2012a) analisa a pegada de carbono do Sistema Integrado de Gestão de Óleos Usados (SIGOU) a partir da utilização apenas da categoria de potencial de aquecimento global, dada em quilogramas de CO₂ equivalentes (Kg CO₂ eq.). São comparados o cenário atual com três cenários de gerenciamento por rerrefino, produção de argila expandida e produção energética.

Conclui-se nesse segundo estudo, que o cenário hipotético de produção de argila expandida, apresentou os melhores resultados quando se trata de emissão de gases estufa. Os piores resultados foram obtidos pelo cenário de produção energética, sendo esta rota não mais considerada viável pelas autoras.

Grice et al. (2014) realizaram um estudo similar comparando a pegada de carbono da produção de óleo rerrefinado com a produção de óleo no primeiro refino. A unidade funcional utilizada foi de um galão de óleo e os dados fornecidos pela Safety-Keen, uma empresa de rerrefino norte-americana. A análise mostrou que em todos os

cenários estudados o óleo rerrefinado apresentou 50% menos emissões quando comparado ao óleo de primeiro refino.

Rosa (2009) realizou um estudo com o objetivo de identificar a opção de valorização de óleos lubrificantes usados que conduz a menores custos ambientais, complementando a análise com a estimativa dos respectivos custos financeiros. O autor associou a ACV à metodologia de Avaliação dos Custos do Ciclo de Vida, que visa à monetarização dos aspectos relevantes, incluindo os custos internos e as externalidades. A unidade funcional considerada foi de 1 tonelada de OLUC associadas a dez categorias de impacto.

O autor conclui que, de maneira geral, o rerrefino apresenta menores impactos e custos ambientais quando comparado à combustão, porém, os custos internos deste segundo tratamento são bastante inferiores ao primeiro, o que torna a combustão o destino com menor valor de custo total (custos internos e custos ambientais). O rerrefino é a opção de valorização que permite maior ganho ambiental relativamente ao seu processo equivalente, neste caso, a produção de óleos lubrificantes virgens, embora a combustão também apresente um comportamento bastante benéfico, face à queima de outros combustíveis utilizados no setor industrial (ROSA, 2009).

Canchumani (2013) conduziu um estudo de ACV no Brasil, com o objetivo de comparar dois cenários com diferentes distâncias do ponto de coleta até a rerrefinaria e, posteriormente, comparar com um terceiro cenário de produção de óleo base de primeiro refino. O autor utilizou como unidade funcional 1 Kg de OLUC. Os dados necessários obtidos na base de dados Ecoinvent 2010, foram aplicados ao software SimaPro aliado a 11 categorias de impacto de acordo com o método de AICV Eco-Indicador 99. Como conclusões, o autor ressalta a importância do rerrefino como processo de obtenção de óleo lubrificante básico e evidencia a necessidade de se reduzir as distâncias entre os pontos de coleta e as rerrefinaria, com o objetivo de diminuir os impactos ambientais, principalmente na categoria “mudanças climáticas”.

Raimond et al. (2012) e Girotti et al. (2011) conduziram estudos de ACV aplicada a óleos lubrificantes, com o intuito de avaliar a contribuição dos aditivos nos impactos ambientais gerados pelo recurso. Os autores concluíram que a contribuição de aditivos nos impactos de ciclo de vida de óleos comerciais não pode ser

negligenciada, uma vez que pode representar até 70% do total de impactos, enquanto eles representam apenas 20% em massa (RAIMONDI et al., 2012).

Finalmente, Gaidajis et al. (2011) aplicaram a ACV para avaliar o potencial de reciclagem de filtros de óleo usados. Os autores compararam três diferentes cenários de destinação dos filtros: aterramento sem tratamento prévio, aterramento após remoção de 45% do óleo e 100% do aço contido no filtro e reciclagem dos filtros com recuperação de 90% do óleo e 90% do aço. A AICV foi conduzida utilizando quatro métodos diferentes, sendo elas: Eco-Indicador 99, Ecological Scarcity 2006, Ecological Footprint e IPCC GWP 100a. Os resultados mostraram que o terceiro cenário é ambientalmente mais favorável, mas que, o alcance dos percentuais do segundo cenário já seria vantajoso visto a grande diferença deste para o primeiro.

3.5 MÉTODOS DE ACV SIMPLIFICADA

Apesar das vantagens e benefícios da ACV já apresentados, a execução da metodologia em sua versão mais completa pode apresentar dificuldades e limitações:

- Dependendo do grau de complexidade que o usuário deseja explorar, a coleta de dados pode ser problemática e a disponibilidade de dados pode gerar grande impacto de acurácia no resultado final. (Scientific Applications International Corporation – SAIC, 2006);
- A ACV tem foco nos impactos ambientais dos produtos e não diz nada a respeito dos impactos econômicos e sociais e outras características. Os impactos ambientais são comumente descritos como “potenciais” visto que, não são especificados no tempo e espaço e são relativos a uma unidade funcional muitas vezes arbitrária (Guineé, 2004); e
- ACV, por sua natureza, é uma ferramenta subjetiva, não sendo capaz de medir qual produto ou processo é o mais eficiente tanto em relação ao custo quanto em relação a outros fatores, já que não mede, por exemplo,

impactos reais ambientais, e sim impactos potenciais. (INSTITUTO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT, 2005).

Devido à estas dificuldades e limitações, o uso da ACV em seu modelo completo, assim como apresentado pela família de normas da ISO 14.040, pode se tornar inviável. Portanto é importante pesar, a disponibilidade de dados, o tempo necessário para conduzir o estudo e os recursos financeiros requeridos, contra os benefícios do projeto (SAIC, 2006).

Uma alternativa para reduzir o tempo e recursos necessários para a condução do estudo é a utilização de um dos métodos simplificados de ACV, também conhecidos como ferramentas de Ecodesign. Uma ACV simplificada é como uma variedade menos complexa de uma ACV detalhada, conduzida de acordo com guias de execução, mas não em total consonância com os padrões das normas da série ISO relacionadas ao estudo de uma ACV (ALVARENGA, 2012).

Para produtos mais complexos, uma ACV completa pode apresentar alta demanda de recursos e ao mesmo tempo não ser muito precisa devido ao número de possibilidades ser muito alto e as bases de dados dos materiais específicos serem limitadas, nestes casos, os métodos simplificados podem ser mais úteis (PIGOSSO; SOUSA, 2011)

Uma avaliação do ciclo de vida simplificada pode analisar todo o ciclo de vida do objeto de estudo e também apenas partes isoladas deste, como é o caso de análises de fases de produção que mais apresentam possibilidade de acarretar impactos ambientais (ALVARENGA; RENOFIO; ARAUJO, 2013).

A maioria das ACVs simplificadas é concebida pelo desenvolvimento de matrizes, onde os principais recursos utilizados no sistema estudado são analisados sobre diversos aspectos relacionados ao campo ambiental (ALVARENGA, 2012).

Pigozzo e Sousa (2011) realizaram um estudo para o levantamento dos principais métodos de ACV simplificada e Ecodesign utilizando a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS). Como resultado do estudo foram identificados 18 métodos qualitativos e semi-quantitativos.

Cobra (2012) realizou um estudo para o desenvolvimento de roteiros de aplicação de ferramentas de ecodesign. Para tanto o autor identificou e classificou 76 ferramentas. Entre outros critérios, as ferramentas foram classificadas de acordo com o formato do método (Figura 4), os estágios do ciclo de vida considerados (Figura 5) e os aspectos ambientais tratados (Figura 6).

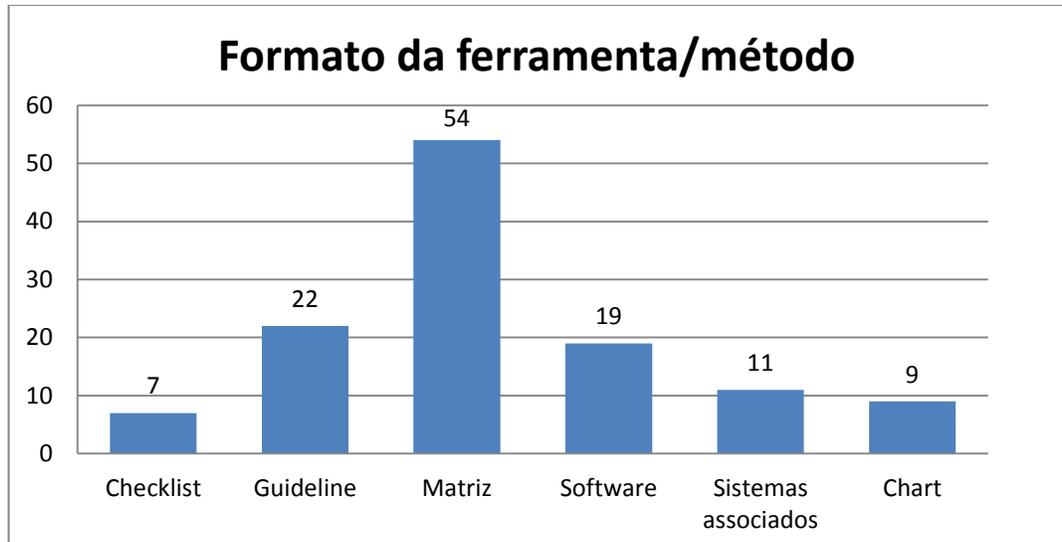


Figura 4: Análise das ferramentas de ecodesign existentes de acordo com o formato.
Fonte: Adaptado de: COBRA (2012).

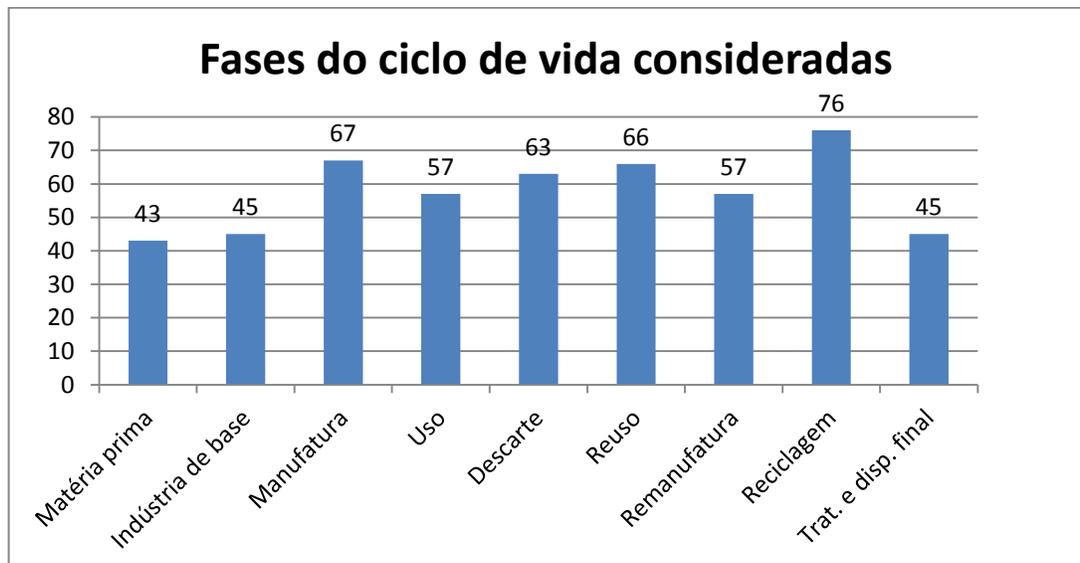


Figura 5: Análise das ferramentas quando às etapas do ciclo de vida consideradas
Fonte: Adaptado de: COBRA (2012).

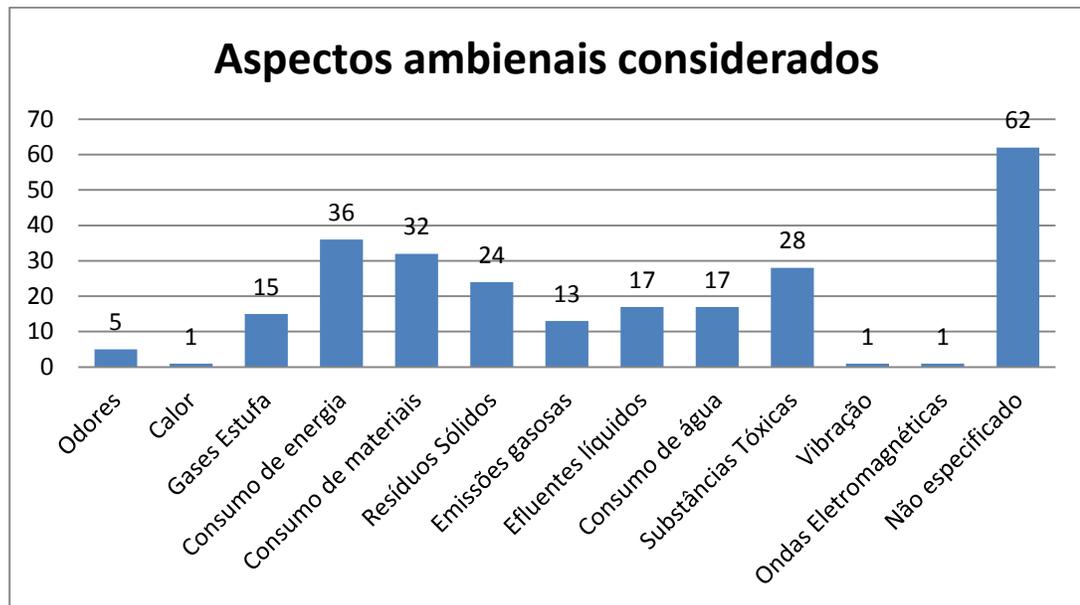


Figura 6: Análise das ferramentas quando aos aspectos ambientais considerados
Fonte: Adaptado de: COBRA (2012).

Pode-se observar que, de acordo com os gráficos apresentados pelo autor, o modelo de ferramenta de Ecodesign mais utilizado são as matrizes. Quando à fase do ciclo de vida considerada nos métodos, temos grande destaque para as fases de manufatura e as opções de fim de vida do produto (reuso, remanufatura e reciclagem). Do ponto de vista dos aspectos ambientais foram destacados o consumo de energia e de materiais além das substâncias tóxicas.

Percebe-se que existe grande variedade de modelos de ferramentas de ACV simplificada ou Ecodesign. A escolha do método mais adequado para cada caso fica sob a percepção do usuário quanto ao tempo disponível, complexidade do trabalho pretendido, fases do ciclo de vida que deseja considerar e aspectos ambientais a serem tratados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Silva e Menezes (2005), uma pesquisa pode ser classificada do ponto de vista da natureza em básica ou aplicada. Esta pesquisa é classificada como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos.

Do ponto de vista de abordagem do problema, esta pesquisa classifica-se como semi-quantitativa por possuir uma etapa qualitativa, na qual será realizada a pesquisa bibliográfica, interpretação e descrição do cenário atual de recuperação do OLUC no mundo, e uma segunda etapa semi-quantitativa, que consistirá na condução de uma ACV simplificada aplicada ao caso.

Do ponto de vista do objetivo, a pesquisa é classificada como exploratória, já que visa à familiarização com o problema e construção de hipóteses. Silva e Menezes (2005) afirmam que este tipo de pesquisa assume em geral, as formas de Pesquisa Bibliográfica e Estudos de Caso, neste trabalho, ambas as formas serão exploradas.

Quanto aos procedimentos técnicos, conforme os objetivos estipulados para esta pesquisa, podemos dividir o trabalho em dois momentos distintos, primeiramente foi realizada a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) para análise dos estudos focados na utilização da ACV no âmbito do gerenciamento do OLUC (4.1) e, no segundo momento realizada a escolha e aplicação de um método de ACV simplificada para o óleo lubrificante rerrefinado (4.2).

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS)

A Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) é uma técnica de identificação, avaliação e análise de estudos primários publicados, com o objetivo de investigar uma questão de pesquisa específica (STAPLES; NIAZI, 2006). Ao contrário do processo

usual de revisão bibliográfica, a RBS segue uma sequência bem definida de passos metodológicos, de acordo com um protocolo desenvolvido (BIOLCHINI et al., 2005).

A RBS é uma técnica que parte da definição de uma estratégia e um método sistemático para realizar buscas e analisar resultados, permitindo a repetição por meio de ciclos contínuos até que os objetivos sejam alcançados (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011). A condução de uma RBS permite ainda a formação de uma base sólida de conhecimento e a familiarização com o assunto tratado.

De acordo com Biolchini et al. (2005), a RBS pode ser conduzida através de cinco etapas básicas:

1. Formulação do problema: definição da questão de pesquisa, das palavras-chave que deverão ser utilizadas na busca, das ferramentas de busca e do horizonte de tempo que será abordado nas buscas.
2. Coleta de dados: consiste na condução da pesquisa em si.
3. Avaliação dos dados: pode ser vista como um primeiro filtro dos estudos encontrados na busca.
4. Análise e interpretação dos dados: é o segundo filtro de busca, deve ser mais criterioso e detalhado.
5. Conclusões: apresentação final dos estudos considerados mais relevantes para a pesquisa.

Neste estudo foram seguidas as cinco etapas descritas com maior detalhamento dos procedimentos.

Na etapa de “Formulação do Problema” foi considerado como problema central abordado a utilização de ACV no gerenciamento de OLUC.

As palavras-chave foram escolhidas a partir da combinação da nomenclatura da metodologia (ACV) e do resíduo (OLUC e OLR), sendo utilizadas vinte combinações diferentes em português e inglês, sendo elas:

- "Life cycle assessment" "Lubricant oil"
- "Life Cycle Analysis" "Lubricant Oil"
- "Life-cycle-assessment" "Lubricant Oil"
- "Life-cycle-analysis" "Lubricant Oil"
- "Life cycle assessment" "Re-refined Oil"
- "Life Cycle Analysis" "Re-refined Oil"
- "Life-cycle-assessment" "Re-refined Oil"
- "Life-cycle-analysis" "Re-refined Oil"

- LCA "Lubricant Oil"
- Ecobalance "Lubricant Oil"
- Eco-balance "Lubricant Oil"
- "Avaliação do ciclo de vida" "Óleo Lubrificante"
- "Análise do ciclo de vida" "Óleo Lubrificante"
- ACV "Óleo Lubrificante"
- LCA "Re-refined Oil"
- Ecobalance "Re-refined Oil"
- Eco-balance "Re-refined Oil"
- "Avaliação do ciclo de vida" "Óleo rerrefinado"
- "Análise do ciclo de vida" "Óleo rerrefinado"
- ACV "Óleo rerrefinado"

As bases de dados consultadas foram: Google Scholar (www.scholar.google.com.br), Science Direct (www.sciencedirect.com), IEEE Xplore (www.ieeexplore.ieee.org) e Web of Science (www.webofknowledge.com). O horizonte de tempo considerado foi de 10 anos, ou seja, na condução das buscas foi delimitado o intervalo de tempo de 2004 a 2014.

Na etapa de busca, ou “Coleta de dados”, foram consideradas as peculiaridades de cada ferramenta, como por exemplo, a utilização de aspas para determinar termos compostos que deveriam obrigatoriamente ser encontrados em sequência, como o termo “Avaliação do Ciclo de Vida”. Os resultados da busca foram classificados como estudos “identificados”

Na etapa de “Avaliação dos dados” foi aplicado o primeiro filtro, sendo considerado como critério de eliminação o conteúdo do título, resumo e palavras-chave de todos os estudos encontrados. Os estudos não eliminados foram classificados como “selecionados”.

Para o segundo filtro, na etapa de “Análise e interpretação”, foi realizada a leitura completa dos estudos “selecionados” e fichamento dos mesmos para controle. Os estudos mais relevantes de acordo com o foco da RBS foram classificados como “incluídos”.

Para as conclusões, os estudos incluídos foram relidos e sintetizados para fins de comparação, tirada de conclusões e formação da base de conhecimento.

Durante todas as etapas da RBS foi mantida uma planilha de controle com resultados quantificados de cada etapa. O fluxograma de desenvolvimento da RBS, apresentado na Figura 7, demonstra as etapas e o funcionamento do método.

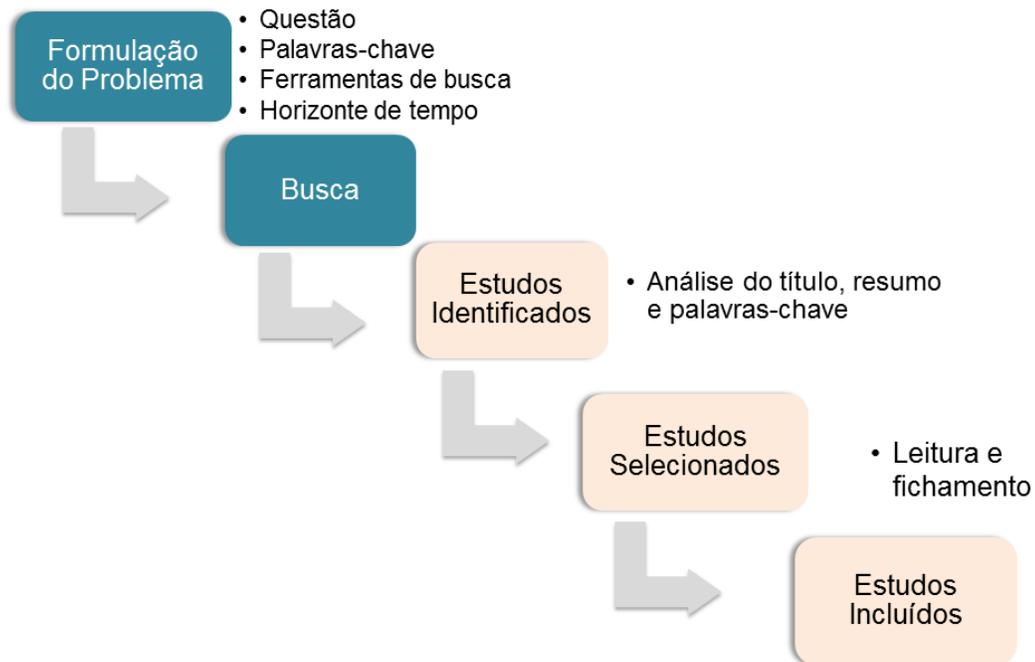


Figura 7: Fluxograma de desenvolvimento da RBS
 Fonte: Autoria própria.

4.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADA

4.2.1 Definição do método de ACV simplificada

Para a definição do método de ACV simplificada mais aplicável ao estudo de caso pretendido, foi realizada a análise dos 18 métodos apresentados por Pigosso e Sousa (2011) (Quadro 4). Primeiramente foram excluídos os métodos de abordagem qualitativa, os 11 métodos restantes foram analisados quanto à complexidade, recursos necessários, etapas do ciclo de vida consideradas, aspectos ambientais considerados e disponibilidade de material para a aplicação do método.

Quadro 4 - Métodos de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada (continua)

Método	Resumo	Abordagem
ABC Analysis	Avaliação do produto em 11 critérios e classificação em A (problemático), B (médio) e C (inofensivo)	Qualitativa
Green Design Tool	Baseada no "índice de atributos verdes" de um produto. Permite ao designer uma visão da situação ambiental do design do produto	Semi-quantitativa
Design Abacus	Utilizado para classificar um produto nas áreas sociais, econômicas e ambientais. Ajuda na identificação de objetivos do design, comparação de variáveis do design e comparação de diversos designs a partir do ciclo de vida do produto	Qualitativa
DfE Matrix	Produz um indicador de impacto ambiental a partir das respostas de 100 questões dirigidas a diversos tópicos ambientais e de design.	Semi-quantitativa
Eco-Compass Technique	Utilizada para avaliar o impacto ambiental de um produto existente. O impacto ambiental pode ser analisado a partir do desempenho do processo e fases de vida, utilizando oito indicadores	Semi-quantitativa
Ecodesign Checklist Method	Baseada em uma visão holística do produto, este método mostra, os pontos fracos do produto e como alcançar o reuso, onde integrar, omitir ou criar funções e onde reduzir o consumo ou aumentar a eficiência ou utilidade do produto	Semi-quantitativa
Ecodesign Web	Ajuda na identificação das áreas que precisam de maior foco para melhora do desempenho ambiental. Funciona através da comparação de sete áreas do design.	Qualitativa
Eco-Indicator 99	Produz um indicador que reflete o impacto ambiental do material ou processo baseado nos dados do ciclo de vida	Semi-quantitativa
Eco-Products Tool	Define como um eco-produto aquele que atinge uma pontuação de no mínimo 2 numa escala de 0 a 5 para cada um dos oito critérios analisados	Semi-quantitativa
Environmental Design Strategy Matrix (EDSM)	Identifica estratégias de design baseadas nas características do produto nos diferentes estágios do ciclo de vida	Qualitativa
Environmental Effect Analysis (EEA)	Identifica e avalia os impactos potenciais em todas as etapas do ciclo de vida do produto investigado de maneira sistemática	Qualitativa

Quadro 5 - Métodos de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada (conclusão)

Método	Resumo	Abordagem
Environmental Efficiency Potential Assessment Method (E2-PA)	Desenvolvida para auxiliar no ecodesign de produtos. Avalia a performance ambiental e os impactos ambientais potenciais de um produto	Semi-quantitativa
Green Design Advisor (GDA)	Fornecer uma direção de melhoria bem como, os aspectos de design com maior potencial de melhoria.	Semi-quantitativa
MECO Matrix	Estima os impactos ambientais em cada etapa do ciclo de vida. A informação do produto é estruturada em um quadro que pode ser seguido de uma ACV mais detalhada	Semi-quantitativa
MET Matrix	Aponta o impacto ambiental mais importante durante todo o ciclo de vida do produto, o que pode ser utilizado para definir estratégias de melhoria	Qualitativa ou Quantitativa
Metodologia baseada nas técnicas MCDM (Multiple criteria decision analysis)	Ajuda a identificar o estágio do ciclo de vida com maior impacto ambiental, no qual os princípios do ecodesign podem ser aplicados com melhor desempenho	Semi-quantitativa
Philis Fast Fiva Awareness	Utilizada para julgar em comparar diferentes conceitos de produtos	Qualitativa
The Environmental Responsible Product Assessment Matrix (ERPA)	Pode ser utilizada para avaliar produtos, processos, instalações, serviços e infraestrutura. Cada elemento da matriz é avaliado em uma nota de 0 (maior impacto) a 4 (menor impacto) de acordo com um checklist.	Semi-quantitativa

Fonte: Adaptado de: PIGOSSO; SOUSA (2011).

Dos métodos analisados, a decisão final ficou entre a metodologia Eco-Indicador 99 e a Matriz Dfe. Por questões de complexidade e de recursos requeridos, optou-se pela aplicação da Matriz Dfe.

4.2.2 A Matriz Dfe

O Design para o Meio Ambiente (Design for Environment – Dfe) é uma maneira de incorporar atributos ambientais dentro do design do produto (YAWOOD; EAGAN, 1998). A partir deste conceito Graedel, Allenby e Conrie (1995) propuseram a Matriz de Avaliação do Produto Ambientalmente Responsável, uma matriz 5 x 5 que analisa em uma dimensão as etapas do ciclo de vida do produto e na outra dimensão os aspetos ambientais.

A pedido do Escritório de Assistência Ambiental de Minnesota, Yarwood e Eagan (1998) aprimoraram a matriz proposta e desenvolveram uma metodologia mais detalhada para aplicação da mesma. Cobra (2012) traduziu a metodologia apresentada para o português através de um roteiro para preenchimento da matriz.

A metodologia proposta por Yarwood e Eagan (1998) consiste em um questionário que aborda cada etapa do ciclo de vida aplicada aos aspectos ambientais: materiais, energia, resíduos sólidos, resíduos líquidos e resíduos gasosos.

Estágio do ciclo de vida	Aspecto Ambiental					Total
	1 Materias	2 Consumo de Energia	3 Resíduos Sólidos	4 Resíduos Líquidos	5 Resíduos Gasosos	
A Pré-manufatura	(A.1)	(A.2)	(A.3)	(A.4)	(A.5)	
B Manufatura	(B.1)	(B.2)	(B.3)	(B.4)	(B.5)	
C Embalagem e Distribuição	(C.1)	(C.2)	(C.3)	(C.4)	(C.5)	
D Uso e Manutenção	(D.1)	(D.2)	(D.3)	(D.4)	(D.5)	
E Fim de Vida	(E.1)	(E.2)	(E.3)	(E.4)	(E.5)	
Total						

Figura 8: Matriz Dfe
Fonte: Cobra (2012)

Ao responder as 100 questões propostas o produto recebe uma pontuação de 0 a 5 para cada cruzamento entre etapa do ciclo de vida e aspecto ambiental, formando a matriz proposta por Graedel, Allenby e Conrie (1995) (Figura 8). A pontuação total do produto pode atingir o valor máximo de 125 pontos sendo que, quanto maior a pontuação, melhor o desempenho ambiental do produto.

4.2.3 Aplicação do questionário da Matriz Dfe

Para aplicação da Matriz Dfe ao estudo de caso do Óleo Lubrificante Rerrefinado (OLR) o questionário traduzido por Cobra (2012) foi respondido com a colaboração de uma empresa nacional de coleta e rerrefino do Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado (OLUC). A escolha da empresa entrevistada foi baseada na facilidade de acesso (proximidade) e na participação da mesma no setor, sendo a mais representativa em volume de OLUC coletado e rerrefinado no Brasil.

O preenchimento do questionário exigiu algumas alterações para adequação ao caso do OLR. De acordo com Yarwood e Eagan (1998), as questões propostas podem parecer vagas, uma vez que foram desenvolvidas visando à aplicação ao máximo de produtos possível. Os autores destacam ainda a abertura de espaço para que o usuário faça as adequações necessárias.

O questionário utilizado para este estudo de caso se encontra, com as alterações realizadas, no Apêndice A deste trabalho.

O roteiro proposto por Cobra aborda o questionário em 5 etapas (de A a E) de acordo com as fases do ciclo de vida do produto. Dentro de cada etapa são abordadas as questões para cada aspecto ambiental considerado. As seções seguintes apresentarão a metodologia para o preenchimento do questionário com suas adaptações para cada etapa.

4.2.3.1 Pré Manufatura (A)

As questões da primeira etapa do questionário são focadas nos fornecedores da matéria-prima do produto, para o caso do OLR, a matéria-prima principal é o OLUC, desta forma, os fornecedores são os próprios geradores do resíduo, como postos de combustível, oficinas mecânicas, concessionárias, indústrias, entre outros.

4.2.3.2 Manufatura (B)

A etapa de manufatura, para o OLR, consiste no processo de rerrefino, ou seja, o processo pelo qual o OLUC é tratado e purificado.

Vale ressaltar que as respostas para esta etapa consideraram o processo de rerrefino utilizado pela empresa parceira, neste caso, o processo conta com a coleta do OLUC, transporte até a unidade de rerrefino e processo com acabamento por hidrotratamento.

4.2.3.3 Distribuição e embalagem (C e D)

Para esta etapa do questionário foi necessária a repetição das questões em duas etapas distintas, a primeira focada da distribuição e embalagem do OLR que sai da rerrefinadora, nesta etapa o óleo é transportado a granel e vendido às grandes produtoras de óleo lubrificante.

A segunda repetição das questões focou-se na distribuição do Óleo Lubrificante Acabado, ou seja, aquele que recebe os aditivos necessários para cada caso de aplicação do produto. Nesta etapa o óleo é embalado de acordo com o cliente final,

desta forma, a embalagem pode ser através de frascos plásticos de 1 e 0,5 litro, galões de 3 a 5 litros, baldes e bombonas plásticas (MARTINATO, 2008)

4.2.3.4 Uso e Manutenção (E)

O uso do produto consiste na aplicação do OLA, seja ela em indústrias, automóveis, máquinas ou motores em geral. A manutenção, por sua vez, ocorre através do processo de troca do óleo.

4.2.3.5 Fim de vida (F)

A etapa de fim de vida retoma o processo de coleta e rerrefino do OLUC, visto que esta é a destinação legal e obrigatória do resíduo no Brasil e que, o processo de rerrefino pode ocorrer inúmeras vezes sem que haja prejuízos à qualidade do produto final.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho serão apresentados de acordo com as etapas da metodologia, desta forma, teremos primeiramente os resultados referentes à RBS (5.1) e em seguida, os resultados da aplicação do método de ACV simplificada escolhido (5.2).

5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Como resultados da RBS, podemos tirar os valores quantificados de cada etapa do método, ou seja, o número de estudos que foram identificados, selecionados e incluídos. O segundo resultado, e mais importante, se refere à análise dos estudos incluídos e caracterizados como relevantes para este trabalho.

5.1.1 Resultados gerais da RBS

Para cada ferramenta de busca foram realizadas 20 buscas com palavras-chave diferentes, totalizando 80 buscas e 1529 resultados, considerando que um mesmo artigo foi encontrado como resultado em mais de uma busca.

Como citado no capítulo anterior, durante todas as etapas da RBS, foi mantida uma planilha com o controle dos resultados quantificados do método. Desta forma, podemos analisar como resultado geral o valor de frequência de estudos classificados em cada etapa, conforme mostra a Tabela 1 e Figura 9.

Foram feitas considerações referentes à existência de estudos repetidos nos resultados da RBS, estas considerações foram feitas a partir das etapas de resultados selecionados e incluídos, visto que este tipo de análise durante a etapa de busca nas

bases de dados se tornaria inviável. O cenário 1, se refere à análise quantificada considerando os estudos repetidos, enquanto que o cenário 2, apresenta apenas aos resultados sem repetição.

Tabela 1 - Resultados gerais da RBS

Cenário	Número de estudos		
	Identificados	Selecionados	Incluídos
1	1529	109	50
2	1529	20	9

Fonte: Autoria própria

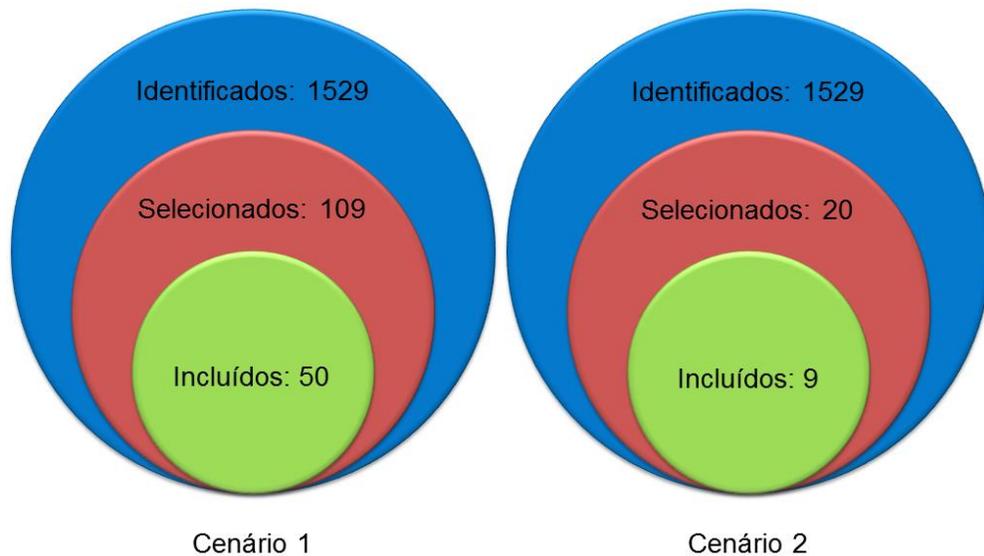


Figura 9: Ilustração dos resultados gerais da RBS
Fonte: Autoria própria

Analisando estes resultados podemos perceber a grande eficiência do primeiro filtro da RBS, referente à avaliação do título, resumo e palavras-chave, com uma redução de 92,8% em relação aos estudos identificados e selecionados levando em conta o número de estudos repetidos e de 98,7% considerando apenas os estudos não repetidos.

A eficiência do segundo filtro, referente à análise feita a partir da leitura completa dos estudos, apresenta valor de aproximadamente 45% para ambos os critérios de repetição.

5.1.2 Resultados da RBS em relação à ferramenta de busca

Como tratado no capítulo anterior, as ferramentas de busca utilizadas na RBS foram: Google Scholar, Science Direct, IEEE Xplore e Web of Science. A Tabela 2 e Figura 10 apresentam os resultados da RBS referentes às diferenças entre as bases de busca.

Tabela 2 - Resultados da RBS por ferramenta de busca

Ferramenta de Busca	Número de estudos		
	Identificados	Selecionados	Incluídos
Google Scholar	1049	86	41
Science Direct	319	12	3
IEEE Xplore	140	0	0
Web of Science	21	11	6

Fonte: Autoria própria

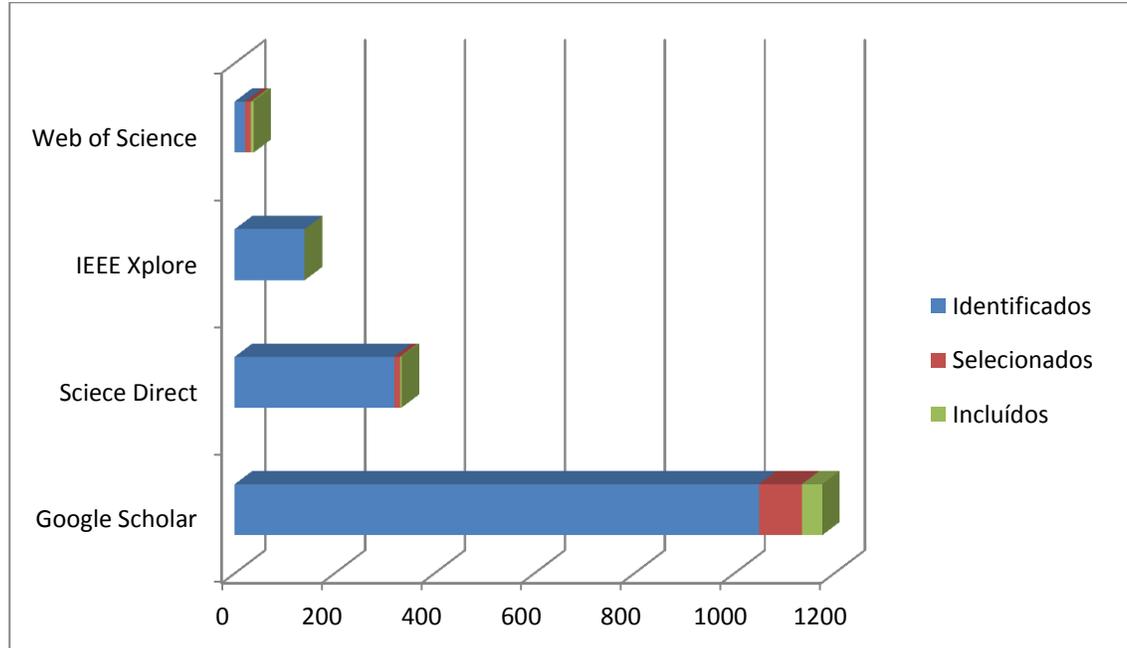


Figura 10: Resultados da RBS por ferramenta de busca

Fonte: Autoria própria

Pode-se observar que a ferramenta Google Scholar apresentou maior número bruto de resultados (1049), no entanto, a relação entre estudos incluídos e identificados

revela uma eficiência da ferramenta de aproximadamente 4%. Já a ferramenta Web of Science apresentou número bruto de resultados igual a 21, e de estudos incluídos igual a 6, representado uma eficiência de 28%, ou seja, podemos considerar esta ferramenta mais criteriosa que as demais.

5.2.3 Resultados da RBS em relação às palavras-chave utilizadas na busca

As 20 combinações de palavras-chave utilizadas levaram em consideração as variações de nomenclatura da metodologia ACV e do produto foco, óleo lubrificante ou óleo lubrificante rerrefinado. Foram consideradas ainda as variações em português e em inglês.

A Tabela 3 e Figura 11 apresentam os resultados da RBS por palavra-chave.

Tabela 3 - Resultados da RBS por palavra-chave

Palavras-chave	Número de estudos		
	Identificados	Selecionados	Incluídos
"Life cycle assessment" "Lubricant oil"	393	14	8
"Life-cycle-assessment" "Lubricant Oil"	268	16	9
LCA "Lubricant Oil"	247	13	9
"Life Cycle Analysis" "Lubricant Oil"	118	6	2
"Life-cycle-analysis" "Lubricant Oil"	109	7	3
ACV "Óleo Lubrificante"	98	4	3
"Análise do ciclo de vida" "Óleo Lubrificante"	87	5	3
"Avaliação do ciclo de vida" "Óleo Lubrificante"	74	2	2
LCA "Re-refined Oil"	27	8	2
"Life cycle assessment" "Re-refined Oil"	23	7	2
"Life Cycle Analysis" "Re-refined Oil"	22	8	2
"Life-cycle-assessment" "Re-refined Oil"	22	7	2
"Life-cycle-analysis" "Re-refined Oil"	21	8	2
Ecobalance "Lubricant Oil"	9	0	0
Eco-balance "Lubricant Oil"	5	0	0
"Avaliação do ciclo de vida" "Óleo rerrefinado"	2	1	1
"Análise do ciclo de vida" "Óleo rerrefinado"	2	2	0
ACV "Óleo rerrefinado"	2	1	0
Ecobalance "Re-refined Oil"	0	0	0
Eco-balance "Re-refined Oil"	0	0	0

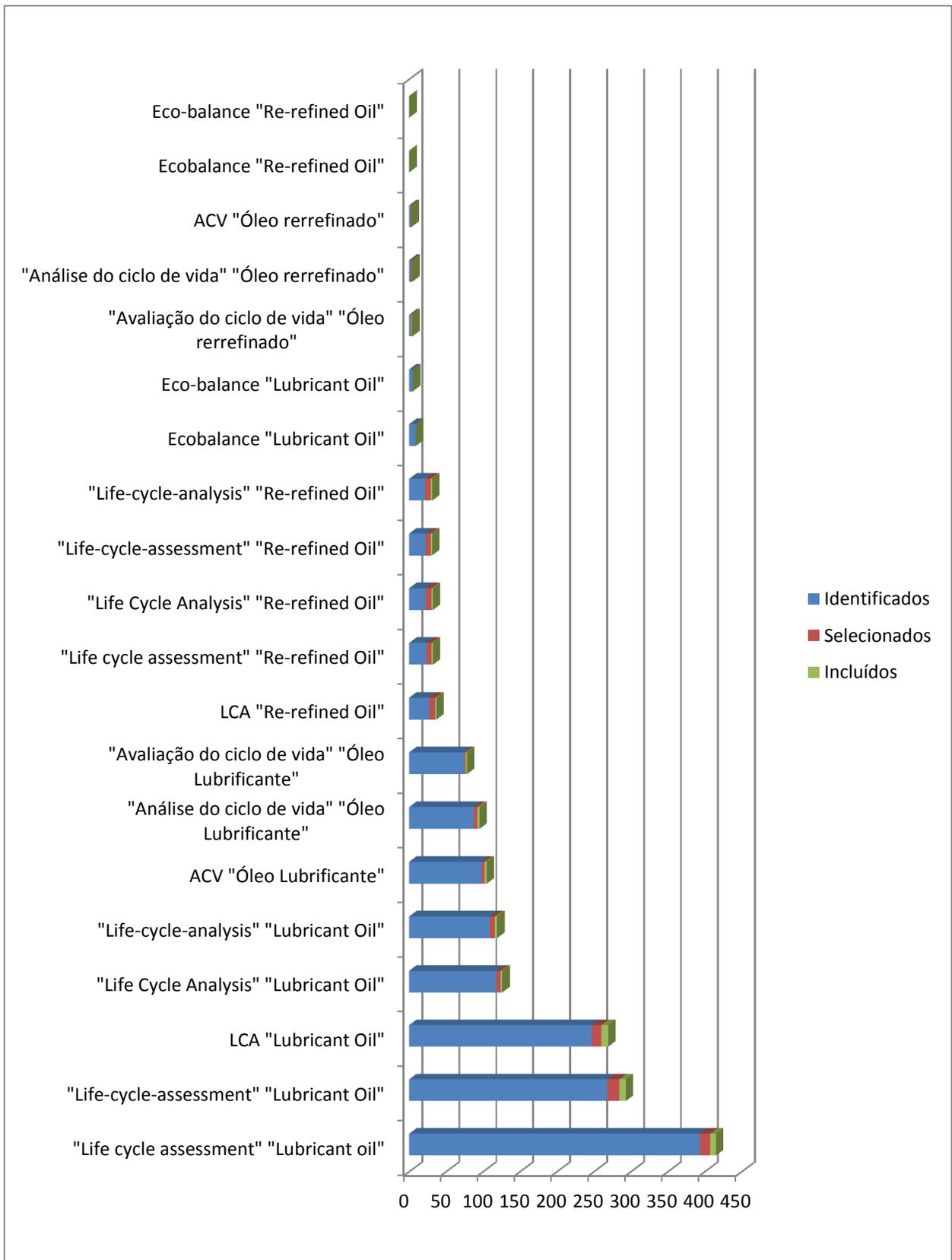


Figura 11: Resultados da RBS por palavra-chave
Fonte: Autoria própria

A informação mais aparente na análise dos dados é a diferença entre os resultados feitos com as palavras-chave em inglês e em português, sendo que a primeira língua apresenta um número significativamente maior. Deste fato pode-se tirar que o número de estudos referentes à aplicação da ACV a óleos lubrificantes publicados na língua portuguesa é visivelmente menor do que na língua inglesa.

Outro fato que pode ser observado refere-se às combinações de palavras-chave que apresentaram melhor desempenho nas buscas, são elas:

- “Life Cycle Assessment” e “Lubricant Oil”;
- “Life-Cycle-Assessment” e “Lubricant Oil” e
- LCA e “Lubricant Oil.

De maneira geral a terminologia da metodologia como “Avaliação do Ciclo de Vida”, ou “Life Cycle Assessment”, obteve melhores resultados do que “Análise do Ciclo de Vida”, ou “Life Cycle Analysis”. O uso do termo “Eco-balance” ou “Ecobalance” apresentou resultados desprezíveis quando comparados com as outras nomenclaturas do método.

Quanto à nomenclatura do resíduo, os melhores resultados foram encontrados com o termo “Óleo Lubrificante” em detrimento do termo “Óleo Lubrificante Rerrefinado”. Deste fato podemos tirar que a maioria dos estudos trata do ciclo de vida do produto em si e não apenas do resíduo, como será o caso deste trabalho.

5.1.4 Resultados qualitativos da RBS

Todos os estudos classificados como “selecionados”, ou seja, aprovados no primeiro filtro referente ao conteúdo do título, resumo e palavras-chave, foram lidos e utilizados na formação da base de conhecimento. Estes trabalhos foram de extrema importância no entendimento de todos os aspectos relacionados ao óleo lubrificante, como legislações nacionais e internacionais, diferentes formas de utilização, possibilidades de fim de vida e, em especial, práticas de rerrefino.

Dos nove artigos classificados como incluídos, seis tratam diretamente da aplicação da ACV ao gerenciamento do OLUC, dois tratam da interferência dos aditivos nos impactos do ciclo de vida e um analisa o potencial de reciclagem de filtros automotivos de óleo lubrificante a partir da aplicação da ACV.

Os nove estudos foram lidos e analisados para os seguintes parâmetros:

- Escopo e Objetivos
- Metodologia (unidade funcional, software e método de avaliação de impacto)
- Resultados

A partir desta análise foi desenvolvido o Quadro 5 que trata resumidamente os principais parâmetros analisados em cada estudo.

Quadro 6 - Análise dos artigos incluídos na RBS. (continua)

Autores	Objetivos	Metodologia	Resultados
ALCOBIA, 2009	Avaliar as diversas tecnologias de recuperação do OLUC por meio da ACV	Não foi possível a realização do estudo por complexidade e extensão da base de dados requerida. Realização de uma revisão bibliográfica na busca do melhor método de gestão do resíduo	Revisão bibliográfica mostra que não é possível afirmar qual opção de gerenciamento do OLUC é favorável visto que, cada uma encontra-se associada a pelo menos um benefício ambiental
CANCHUMANI, 2013	Avaliar os impactos do ciclo de vida do OLUC, principalmente na fase de rerrefino comparado com a produção de óleos de primeiro refino	Software: SimPro. Métodos de AICV: EcoIndicador 99. Unidade funcional: 1 kg de OLUC	Ressalta-se a importância do rerrefino como processo de obtenção de óleo lubrificante básico.
GAIDAJIS et al., 2011	Analisar o potencial de reciclagem do filtro do óleo usado utilizando a ACV	Software: SimaPro 7.2. Métodos de AICV: Eco-Indicador 99, Ecological Scarcity 2006, Ecological Footprint e IPCC GWP 100a. Unidade funcional: 1 (um) filtro de óleo usado	Melhor cenário ambiental se mostrou na opção de recuperação de 90% do aço e 90% do óleo contidos nos filtros seguida pela reciclagem

Quadro 7 - Análise dos artigos incluídos na RBS. (conclusão)

Autores	Objetivos	Metodologia	Resultados
GIROTTI et al., 2011	Avaliar a influência de aditivos nos aspectos e impactos de ciclo de vida do óleo lubrificante	Método de AICV: ReCiPe. Unidade funcional: 1kg de óleo lubrificante acabado (óleo básico + aditivos)	A contribuição de aditivos nos impactos de óleos lubrificantes pode chegar até 50% nas categorias de impacto de ocupação do solo e extração mineral.
GRICE et al., 2014	Comparar a pegada de carbono da produção de óleo rerrefinado com o óleo de primeiro refino	Unidade funcional: 1 galão de óleo continuamente rerrefinado e 1 galão de óleo de primeiro refino	Em todos os cenários estudados o rerrefino apresentou menos de 50% das emissões comparado ao óleo de primeiro refino
PIRES; MARTINHO, 2012 ^a	Comparar 15 sistemas de gerenciamento de OLUC formados pela combinação de 3 pré-tratamentos e 5 tratamentos do resíduo	Software: UMBERTO 5.5. Unidade funcional: volume de OLUC gerado em 2010 em Portugal	Melhores resultados ambientais obtidos na rota que alia o pré-tratamento com pouco consumo de combustíveis e o rerrefino
PIRES; MARTINHO, 2012 ^b	Comparar a pegada de carbono do gerenciamento de OLUC por rerrefino, produção de argila expandida e recuperação energética.	Software UMBERTO 5.5. Categoria de Impacto: Potencial de aquecimento global (kg CO ₂ -eq.). Unidade funcional: Volume de OLUC tratado em 2011 em Portugal	Analisando apenas o impacto de aquecimento global potencial, o cenário hipotético com melhor desempenho ambiental foi o de gerenciamento por produção de argila expandida
RAIMOND et al., 2012	Avaliar a influência de aditivos nos aspectos e impactos de ciclo de vida do óleo lubrificante	Método de AICV: IMPACT 2002. Unidade funcional: 1 kg de óleo lubrificante acabado (óleo básico + aditivos)	Mesmo com pequena participação na composição dos óleos acabados os aditivos podem representar até 70% do total de impactos e não podem ser negligenciados
ROSA, 2009	Identificar a melhor opção de valorização do OLUC por meio da análise de custos ambientais e custos financeiros associados ao ciclo de vida	Unidade funcional: 1 tonelada de OLUC.	A regeneração é a opção que permite maior ganho ambiental relativo à produção de óleos virgens.

Observa-se que, dos seis estudos que objetivam comparar as formas de gerenciamento e destinação do OLUC, quatro destacam o rerrefino como ambientalmente favorável, sendo que dos outros dois estudos, um (ALCOBIA, 2009) não chega a uma resposta conclusiva e o segundo (PIRES; MARTINHO, 2012b) destaca a produção de argila expandida como melhor rota quando analisada apenas a categoria de potencial de aquecimento global (kg CO₂-eq.).

5.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADA

Como citado no capítulo anterior, as respostas para o questionário da Matriz Dfe foram obtidas em entrevista realizada em uma empresa nacional de coleta e rerrefino do OLUC. Vale destacar que, o questionário, desenvolvido por Yarwood e Eagan (1998) e traduzido por Cobra (2012), pode ser muito vago e abrangente em algumas questões, causando a existência de questões não aplicáveis a este estudo de caso, nestas ocasiões, os resultados quantificados das questões não foram pontuados para não interferir no resultado final da Matriz.

Outro ponto importante refere-se à abrangência dos resultados, visto que, as respostas do questionário dizem respeito ao processo produtivo e práticas ambientais da empresa entrevistada, desta forma, os resultados não devem ser entendidos como verdades absolutas pois, com a diversidade de processos de rerrefino, as respostas e pontuações da Matriz podem variar, no entanto, os resultados obtidos neste trabalho podem fornecer uma boa percepção do perfil ambiental do Óleo Lubrificante Rerrefinado.

Os resultados serão abordados primeiramente por etapa do ciclo de vida do OLR, desta forma serão explicadas as considerações feitas para cada questão abordada.

5.2.1 Pré-Manufatura

A etapa referente ao fornecimento de matéria-prima traz questões focadas nas práticas ambientais dos fornecedores, como a existência de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA), práticas de conservação de energia, certificações de gestão ambiental e da qualidade, programas de conservação da água e de minimização das emissões gasosas.

Os fornecedores, ou geradores, de OLUC formam um grande e diversificado grupo de empreendimentos, variando desde postos de combustível aos grandes grupos industriais. A magnitude e diversidade destes fornecedores dificulta o conhecimento das práticas ambientais de cada um, portanto, para esta primeira etapa, 4 de 5 questões foram respondidas como valor desconhecido, visto que abordam o percentual de fornecedores que apresentam determinada prática ambiental.

A questão A.3, no entanto, aborda o percentual de fornecedores que possuem certificação ISO 9001 ou 14001 em andamento ou regulamentada. Neste caso, a opção informada aponta um percentual de 26 a 50%. Esta opção foi selecionada devido ao número de Auditorias Ambientais de segunda parte (auditoria de fornecedor) que a empresa entrevistada recebe, visto que, estas auditorias são em grande parte requisitos das normas certificadoras, o que pôde dar um indicativo do número de geradores que apresentam tais certificações.

5.2.2 Manufatura

Esta etapa refere-se ao processo industrial de rerrefino utilizado pela empresa entrevistada.

Na primeira seção, referente ao uso de materiais, uma questão, de um total de quatro, foi marcada como resposta negativa (pontuação igual a zero), a pergunta refere-se à minimização dos materiais perigosos utilizados no processo, e recebeu pontuação

nula, visto que, o OLUC, principal matéria-prima do processo, é um resíduo perigoso. Este resultado, no entanto, não pode ser considerado como negativo, visto que, a maximização do volume de OLUC processado através do rerrefino representa a minimização do volume de resíduo destinado para práticas ilegais como a queima e o lançamento *in natura*.

Na seção referente aos resíduos sólidos, apenas a segunda questão apresentou resultado nulo. A pergunta refere-se ao incentivo aos fornecedores para que os mesmos minimizem a quantidade e os tipos de embalagem de seus produtos. A resposta negativa pode ser vista de duas formas, primeiramente, a empresa entrevistada não pratica o incentivo de práticas ambientais com seus fornecedores, além da destinação correta do OLUC, por outro lado, podemos analisar a questão como não aplicável, visto que o OLUC é coletado em caminhão coletor específico para a atividade, desta forma, o produto não é fornecido em nenhum tipo de embalagem.

Na seção específica para os efluentes líquidos questiona-se a investigação de alternativas para o uso de solventes e óleos tóxicos, esta questão recebeu resposta nula visto que, OLUC é um resíduo perigoso e não se podem aplicar alternativas de substituição desta matéria-prima para o processo de rerrefino.

Na seção que trata do aspecto de emissões gasosas deve-se destacar que o processo produtivo da empresa entrevistada acontece inteiramente à vácuo e todo o resíduo gasoso passa por tratamento antes de ser lançado, desta forma, toda a emissão de gases poluentes ou causadores do aquecimento global é evitada e minimizada.

5.2.3 Distribuição e Embalagem (OLR)

Nesta seção foi avaliada a distribuição do óleo lubrificante rerrefinado, ou seja, o óleo purificado que deixa a planta de rerrefino em direção aos produtores responsáveis pela inserção de aditivos e embalagem final do produto.

Para o caso estudado, o OLR produzido pela empresa é totalmente transportado à granel, ou seja, em caminhão tanque. Devido à este fato, as seções referentes aos materiais utilizados na embalagem e resíduos sólidos foram consideradas como não aplicáveis.

As outras seções, referentes ao consumo de energia, efluentes líquidos e emissões gasosas obtiveram pontuação máxima (5), confirmando este modelo de distribuição como o melhor para o caso analisado.

5.2.4 Distribuição e Embalagem (OLA)

A segunda etapa de distribuição refere-se ao produto final destinado ao consumo. Este produto é embalado de acordo com o consumidor, para postos de gasolina, por exemplo, o óleo lubrificante é vendido em embalagens plásticas, já no caso de indústrias e grandes consumidores, o produto pode ser comercializado em galões.

Os frascos plásticos representam 90% das embalagens utilizadas para a comercialização do Óleo Lubrificante do Brasil (MARTINATO, 2008). Estes frascos são produzidos a partir de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e as tampas de Polipropileno (PP). Por se tratarem de embalagens altamente recicláveis e reutilizáveis, a pontuação para o aspecto ambiental referente à materiais foi máxima (5).

Os aspectos de consumo energético e resíduos sólidos também receberam pontuação máxima, visto que, as embalagens apresentam acondicionamento otimizado do produto e não geram resíduos, se forem recicladas.

A questão referente à geração de efluentes líquidos perigosos foi considerada não aplicável, visto que, o produto transportado, OLA, não é considerado produto perigoso.

Para o aspecto de emissões gasosas, a pontuação foi referente à presença de plásticos que possam produzir emissões gasosas perigosas caso seja incinerado em baixas temperaturas.

5.2.5 Uso e Manutenção

Esta etapa diz respeito à aplicação do óleo lubrificante. Como visto anteriormente, este líquido pode ser utilizado para inúmeras finalidades, entre elas a lubrificação de partes, refrigeração e transmissão da força mecânica.

Vale ressaltar que o óleo lubrificante não é consumido durante o uso, desta forma, quando o líquido é degradado e perde suas funções essenciais, deve-se proceder com a troca do óleo. A utilização do OLA gera então um resíduo perigoso, sendo assim, as questões referentes aos resíduos sólidos receberam pontuação igual a 1, dentro de um máximo de 5, este ponto recebido refere-se à não existência de componentes descartáveis como baterias e cartuchos.

Para os aspectos ambientais de efluentes líquidos e emissões gasosas, o questionário recebeu pontuação nula devido à geração do resíduo com alto potencial de poluição da água e da atmosfera.

No aspecto referente aos materiais, três de quatro questões foram consideradas não aplicáveis, visto que referem-se à desmontagem do produto e reparo de partes. A questão pontuada refere-se às barreiras para a reciclagem, esta questão recebeu pontuação positiva (valor 2), pois, apesar do produto apresentar aditivos, esta participação na composição não representa barreira para o rerrefino.

Para o aspecto de consumo de energia as questões foram consideradas não aplicáveis, visto que o consumo ou uso do óleo lubrificante não representa consumo de energia.

5.2.5 Fim de vida

Para a etapa final do ciclo de vida do produto, voltamos ao processo de coleta e rerrefino do OLUC.

No aspecto referente aos materiais, o OLR recebeu pontuação 1 devido à alta reciclabilidade do resíduo gerado, no entanto, as respostas negativas, referem-se à dificuldade de separação dos materiais/contaminantes e à presença de chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente no resíduo.

Para o aspecto de consumo energético o produto recebeu pontuação nula, visto que não pode ser utilizado para recuperação energética e que exige consumo de energia em sua destinação final (transporte e rerrefino).

Nos aspectos de resíduos sólidos e efluentes líquidos, o produto recebeu pontuação máxima justificada pela existência de infraestrutura externa para a reciclagem do resíduo e total recuperação dos líquidos perigosos.

Para o aspecto de emissões gasosas uma questão foi considerada não aplicável e as restantes receberam pontuação máxima devido ao processo de rerrefino praticado pela empresa apresentar estrutura para o tratamento de todo resíduo gasoso gerado.

5.2.6 Resultados globais da Matriz Dfe

Para a avaliação global do desempenho ambiental do OLR, podemos observar a Matriz Dfe dada pela pontuação atribuída através do questionário (Tabela 4).

Considerando que foi incluída uma nova etapa do ciclo de vida, referente à distribuição e embalagem do OLA, a pontuação máxima permitida seria de 150 pontos, desconsiderando as questões marcadas como não aplicáveis, o total máximo passa para 126 dos quais o OLR recebeu 76. A pontuação com valor aproximadamente médio (60%) pode ser explicada pela compensação entre o alto grau poluidor do resíduo gerado, o OLUC, e a alta reciclabilidade do mesmo por um processo controlado.

A avaliação por etapa do ciclo de vida, considerando apenas as questões válidas, revela que a fase mais impactante (menor pontuação) é a de uso e manutenção (3 pontos), este resultado deve-se a geração do OLUC nesta etapa, um resíduo perigoso de alto potencial poluidor da água, solo e ar.

Tabela 4 - Matriz Dfe do Óleo Lubrificante Rerrefinado

Fases do ciclo de vida	Aspecto Ambiental					Total
	1) Materiais	2) Consumo de Energia	3) Resíduos Sólidos	4) Resíduos Líquidos	5) Resíduos Gasosos	
A) Pré-manufatura	0	0	4	0	0	4
B) Manufatura	3	4	4	3	4	18
C) Embalagem e Distribuição (OLB)	N.A.	5	N.A.	5	5	15
D) Embalagem e Distribuição (OLA)	5	5	5	N.A.	2	17
E) Uso e Manutenção	2	N.A.	1	0	0	3
F) Fim de Vida	2	0	5	5	4	16
Total	12	14	19	13	15	73

Fonte: Autoria própria

A etapa de pré-manufatura também apresentou um resultado bem inferior quando comparada às outras (4 pontos), porém este resultado não pode ser considerado negativo visto que, fundamenta-se na dificuldade de conhecimento das práticas ambientais dos geradores de OLUC.

As etapas de distribuição e embalagem apresentaram o melhor desempenho nas questões válidas (15 e 18), este resultado confirma a aplicabilidade do transporte à granel do OLR e em embalagens plásticas para o OLA devido à economia, segurança e alta reciclabilidade deste sistema.

A avaliação por aspecto ambiental mostra o alto desempenho na questão dos resíduos sólidos. Este resultado reflete a não geração de resíduos imposta pelo processo de rerrefino, que consegue recuperar o OLUC reinserindo-o no ciclo de vida do produto.

5.2.7 Avaliação da metodologia

Os resultados apresentados mostraram a capacidade da Matriz Dfe na definição do perfil ambiental do OLR. Através desta metodologia foi possível a identificação das etapas do ciclo de vida com maior e menor impacto além de reafirmar o desempenho ambiental das práticas de distribuição do produto e reciclagem do resíduo por meio do processo de rerrefino

Algumas críticas, no entanto devem ser feitas para o aprimoramento da metodologia. Apesar de parecer muito abrangente, algumas questões propostas acabam restringindo a gama de produtos que podem ser avaliados pela Matriz Dfe, as questões de uso e manutenção, por exemplo, consideram em grande parte que o produto é desmontável e composto por partes, por este motivo, várias questões tiveram que ser consideradas como não aplicáveis. Uma solução poderia ser através da repartição da matriz, apresentando questões aplicáveis a produtos desmontáveis e outra lista para produtos de composição homogênea, desta forma, o usuário poderia determinar quais questões seriam aplicáveis para o produto avaliado.

Outra crítica deve ser feita em relação às questões que abordam o aspecto ambiental de emissões gasosas. Em nenhum ponto do questionário é levada em consideração a emissão oriunda do transporte, seja da matéria-prima, ou do produto final. Para o caso do OLR, sabe-se que a coleta e o transporte do OLUC poderiam representar valores altos de emissões gasosas visto que, muitas vezes os pontos de geração do resíduo se encontram distantes das unidades de rerrefino e produção do OLA.

Por fim, futuros utilizadores do questionário traduzido por Cobra (2012) devem se atentar a alguns erros de tradução que podem gerar interpretações errôneas. A questão 1 do item C.2 e 2 do item E.2 apresentam erros de tradução que podem gerar erros de interpretação.

6. CONCLUSÃO

A questão do gerenciamento do Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado (OLUC) é de grande importância num cenário de aumento da preocupação com o desenvolvimento sustentável. No Brasil, a destinação obrigatória por lei é o processo de rerrefino, porém outros países praticam outras formas de destinação como a queima controlada, produção de energia e reciclagem para uso em outros fins. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se apresenta como uma ferramenta válida para a definição do método ambientalmente mais favorável para a destinação do resíduo.

Através da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) tornou-se clara a necessidade de aprofundamento nos estudos de aplicação da ferramenta de ACV nesta problemática. Dos nove estudos encontrados que tratam do tema, seis indicam o rerrefino como melhor prática ambiental. A maior parte dos estudos encontrados foi na língua inglesa, mostrando a maior concentração de publicações internacionais relevantes ao tema de destinação do OLUC. A ferramenta de busca com maior número de resultados foi o Google Scholar, porém a ferramenta Web of Knowledge apresentou maior refinamento dos resultados (mais específicos ao tema).

Dos termos utilizados na busca, a terminologia da metodologia como Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment) apresentou mais resultados do que as variações, Análise do Ciclo de Vida (Life Cycle Analysis) e Eco balanço (Ecobalance). Quanto à nomenclatura do resíduo, o termo Óleo Lubrificante (Lubricant Oil) apresentou melhor desempenho que Óleo Rerrefinado (Re-refined Oil).

A condução da ACV simplificada utilizando-se do método da Matriz Dfe mostrou resultados interessantes, porém com algumas sugestões de melhoria.

O resultado global da matriz mostra uma pontuação de 73 dentro de um limite de 126, o que se justifica pela geração de um resíduo de grande potencial poluidor compensado pela alta reciclabilidade do mesmo pelo processo de rerrefino.

A avaliação por etapa do ciclo de vida mostra que o uso do produto é a etapa mais impactante, visto que, é nesta etapa que é gerado o OLUC. Quanto às etapas de menor impacto, temos a distribuição e embalagem do produto sem e com aditivos (OLB

e OLA respectivamente), vale ressaltar que, esta avaliação não levou em conta os impactos ambientais referentes às emissões gasosas oriundas do transporte.

A avaliação por aspecto ambiental revela que o aspecto com melhor desempenho refere-se à geração de resíduos sólidos o que reafirma a elevada reciclabilidade do OLUC e das embalagens plásticas comumente utilizadas para comercialização do Óleo Lubrificante.

Para estudos posteriores, fica a necessidade de aprofundamento na temática de aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida para o Óleo Lubrificante.

Para utilização da Matriz Dfe no tratamento do tema, propõe-se a abordagem dos outros processos de rerrefino atualmente praticados no Brasil, de maneira a enriquecer o resultado obtido neste trabalho.

Estudos de ACV de acordo com a metodologia proposta pela série ISO podem se mostrar trabalhosos, porém devem abordar melhor os aspectos ambientais do ciclo de vida deste produto, dando uma melhor perspectiva da destinação mais indicada em termos ambientais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. Resolução nº 130, de 30 de julho de 1999. Estabelece o Regulamento Técnico ANP nº 005/99, que especifica os óleos lubrificantes básicos rerrefinados. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 02 ago. 1999. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/1999/julho/panp%20130%20-%201999.xml>. Acesso em 27 set. 2014.

ALCOBIA, Betina A. **Desenvolvimento de um modelo conceptual para a Análise do Ciclo de Vida (ACV) de tecnologias de tratamento e valorização de óleos usados**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Departamento de Gestão e Sistemas Ambientais, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, 2009.

ALVARENGA, Rafael P. **Subsídios para avaliação do ciclo de vida de modo simplificada da produção agrícola de milho, por meio de um estudo de caso**. 164 f. Dissertação – Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2012.

ALVARENGA, Rafael P; RENOFIO, Adilson; ARAUJO, Allan T. Avaliação da periculosidade ambiental da produção agrícola de milho por meio de um estudo qualitativo de avaliação do ciclo de vida (ACV): Um estudo de caso. **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. 13 p. Salvador, out 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR ISO 14.040**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2009a. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR ISO 14.044**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2009b. 46 p.

ASSOCIAÇÃO DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE DE CIANORTE - APROMAC.
Guia Básico – Gerenciamento de Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados.
2ª edição. Setembro de 2011.

BARBIERI, José Carlos. Avaliação do Ciclo de Vida do Produto. In: BARBIERI, José Carlos. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, Modelos e Instrumentos.** 3. ed. Saraiva, 2011. Cap. 7. p. 244-255.

BELMIRO, Pedro Nelson A. Brazilian Lubes Boomed in 2013. **Lubes'n'Greases.** Mar. 2014.

BIOLCHINI, Jorge et al. **Systematic Review in Software Engineering.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005. 30 p

BOUGHTON, Bob; HORVATH, Arpad. Environmental Assessment of Used Oil Management Methods. **Environmental Science & Technology**, v. 38, n. 2, p.353-358, 2004.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> . Acesso em 26 jun. 2014.

CALRECYCLE. **California Department of Resources Recycling and Recovery.** Life Cycle Assessment of Used Oil Management in California: Pursuant to Senate Bill 546 (Lowenthal). Jul, 2013.

CANCHUMANI, Giancarlo A. L. **Óleos Lubrificantes Usados: Um Estudo de Caso de Avaliação de Ciclo de Vida do Sistema de Rerrefino no Brasil.** 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento Estratégico, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

COBRA, Raphael L. R. de B. **Elaboração de roteiros de aplicação de métodos e ferramentas de ecodesign.** 2012. 155 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CONFORTO, Edivandro C.; AMARAL, Danie C.; SILVA, Sérgio L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8 Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP**, Porto Alegre, 12 p. set de 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 09, de 31 de agosto de 1993. Estabelece definições e torna obrigatório o recolhimento e destinação adequada de todo o óleo lubrificante usado ou contaminado. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**. n 188. Brasília, DF, 01 out. 1993. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res93/res0993.html>>. Acesso em 14 abr. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 362, de 23 de junho de 2005. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**. n 121. Brasília, DF, 27 jun. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res36205.xml>>. Acesso em 14 abr. 2014.

GAIDAJIS, Georgios et al. Analysis of the recycling potential of used automotive oil filters using the Life Cycle Assessment approach. **Resources, Conservation And Recycling**, n. 55, p.986-994, 2011.

GIROTTI, Giorgia et al. The Contribution of Lube Additives to the Life Cycle Impacts os Fully Formulated Petroleum-Based Lubricants. **American Journal Of Applied Sciences**, v. 11, n. 8, p.1232-1240, 2011.

GONÇALVES, Diogo M. **Análise da viabilidade de implementação de um sistema de recolha seletiva de óleos lubrificantes usados**. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

GRAEDEL, T. E; ALLENBY, B. R; CONRIE, P. R. Matrix Approaches to Abridged Life Cycle Assessment. **Environmental Science & Technology**, v. 29, n. 3, 6 p.1995.

GRICE, Lisa N. et al. Life Cycle Carbon Footprint of Re-refined versus Base Oil that is not Re-refined. **ACS Sustainable Chemistry & Engineerig**, Lp, v. 2, n. 2, p.158-164, fev. 2014.

GUINÉE, Jeroen B. et. al. **Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**. Kluwe Academic Publishers. 2004. 687 p. Disponível em: < <http://www.isa.utl.pt/der/ASAmb/DocumentosAulas/Recipe/Handbook%20on%20Life%20Cycle%20Assessment.pdf> > Acesso em 12 de outubro de 2014.

HINZ, Roberta T. P.; VALENTINA, Luiz. V.; FRANCO, Ana C. Sustentabilidade ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida. **Estudos Tecnológicos**, v. 2, n. 2, p.91-98, jun. 2006.

HSU, Yu-Lung; LIU, Chun-Chu. Evaluation and selection of regeneration of waste lubricating oil technology. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 176, n. 1-4, p.176-197, maio 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT. **Avaliação do Ciclo de Vida: Limitações**. Disponível em: < http://acv.ibict.br/fases/limitacoes.htm/document_view > Acesso em: 12 de outubro de 2014.

KAPUSTINA, V. et al. System analysis of waste oil management in Finland. **Waste Management & Research**, v. 7, n. 1, mar. 2014.

KUPAREVA, Antonina; MAKI-ARVELA, Paivi; MURZIN, Dmitry Y. Technology for rerefining used lube oils applied in Europe: a review. **Journal Of Chemical Technology And Biotechnology**, v. 88, n. 10, p.1780-1793, jul. 2013.

MARTINATO, André. **Canais de logística reversa na cadeia do óleo lubrificante no estado de São Paulo: o caso das embalagens plásticas**. 2008. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MIYAMURA, Jimena H. M. O; LIMA, Livia K. R. **Perspectiva técnica e econômica do processo de ultrafiltração por membranas e adsorção aplicado ao rerrefino de óleos lubrificantes usados e contaminados**. 2011. 135 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PIGOSSO, Daniela C. A; SOUSA, Sabrina R. Life Cycle Assessment (LCA): discussion on full-scale and simplified assessments to support the product development process.

3rd International Workshop Advances in Cleaner Production. 10 p. São Paulo, mai. 2011.

PIRES, Ana; MARTINHO, Graça. Carbon Footprint Analysis for the Waste Oil Management System in Portugal. **British Journal Of Environment & Climate Change**, v. 3, n. 2, p.278-287, out. 2012b.

PIRES, Ana; MARTINHO, Graça. Life cycle assessment of a waste lubricant oil management system. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, n. 18, p.102-112, jun. 2012a.

RAIMONDI, Andrea et al. LCA of petroleum-based lubricants: state of art and inclusion of additives. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, n. 17, p.987-996, maio 2012.

RIBEIRO, Celso M.; GIANNETTI Biagio F.; ALMEIDA Cecilia M. V. B. Avaliação do Ciclo de vida (ACV): Uma Ferramenta Importante da Ecologia Industrial. **Revista de Graduação da Engenharia Química**, n. 12, novembro 2003. Disponível em < <http://www.hottopos.com/regeq12/art4.htm> > Acesso em 21 de junho de 2014.

ROSA, Hugo M. P. **Avaliação ambiental e econômica das externalidades na análise de ciclo de vida: o caso dos óleos usados em Portugal.** 139 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION – SAIC. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice.** U. S. Environmental Protection Agency. Mai. 2006. Disponível em: < http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/pdfs/chapter1_frontmatter_lca101.pdf >. Acesso em 12 de outubro de 2014.

SILVA Edna L. da; MENEZES, Estera M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 4 ed. 139 p. Florianópolis: UFSC, 2005.

STAPLES, Mark; NIAZI, Mahmood. Experiences using systematic review guidelines. **The Journal Of Systems And Software**, n. 80, p.1425-1437, nov. 2006.

YARWOOD, Jeremy M.; EAGAN, Patrick D. **Design for the Environment Toolkit: A competitive edge for the future.** Minnesota Office Of Environmental Assistance, 1998. 71 p.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA A MATRIZ Dfe

Questionário adaptado de Cobra (2012) para o caso do Óleo Lubrificante Rerrefinado.

A – Pré-manufatura (Geração de OLUC)

Responda as questões de A1 a A5 escolhendo uma das 5 alternativas (a,b,c,d ou e)

A.1: Pré-manufatura X Materiais

Qual percentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em andamento?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A1 da matriz:

A.2: Pré-manufatura X Consumo de Energia

Qual percentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui práticas de conservação de energia formais em andamento?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A2 da matriz:

A.3: Pré-manufatura X Resíduos Sólidos

Qual percentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui ISO 9000 ou ISO 14000 em andamento ou regularmente publicam relatórios ambientais da empresa?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A3 da matriz:

A.4: Pré-manufatura X Efluentes Líquidos

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa de conservação da água?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A4 da matriz:

A.5: Pré-manufatura X Emissões Gasosas

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa formal em andamento para a minimização das emissões gasosas?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A5 da matriz:

B – Manufatura (Rerrefino)

B.1: Manufatura X Materiais

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. O uso de materiais recicláveis no seu produto é o maior possível?	1	0
2. Os materiais perigosos foram evitados ou minimizados?	2	0
3. A quantidade de material utilizado foi minimizada?	1	0

4. O número de diferentes tipos de materiais que são usados foi minimizado? 1 0

Pontos totais para o elemento B1 da matriz:

B.2: Manufatura X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. O processo de manufatura minimiza o uso intensivo de energia dos processos?	2	0
2. Os processos de manufatura usam co-geração, troca de calor ou outras técnicas para utilizar a energia que seria desperdiçada?	2	0
3. O transporte entre a manufatura e os pontos de montagem foi minimizado?	1	0

Pontos totais para o elemento B.2 da matriz:

B.3: Manufatura X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. A perda de materiais foi minimizada e o reuso otimizado ao máximo durante a manufatura?	1	0
2. Os fornecedores de matéria-prima e componentes foram contatados para encorajá-los a minimizar as quantidades e tipos de embalagem dos seus produtos?	1	0
3. Sua empresa maximizou as oportunidades de reusar e reduzir os resíduos de embalagens quando os componentes são transportados entre as instalações?	1	0
4. A introdução intencional de todo chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente foi evitada?	2	0

Pontos totais para o elemento B.3 da matriz:

B.4: Manufatura X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. Foram investigadas alternativas para o uso de solventes e óleos tóxicos?	2	0
2. As oportunidades para captura e reuso dos sub-produtos líquidos gerados durante o processo de manufatura foram investigadas?	1	0

3. A geração de poluentes da água foram evitadas ou minimizadas? 2 0
Pontos totais para o elemento B.4 da matriz:

B.5: Manufatura X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. A geração de gases que causam o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foram evitados?	2	0
2. A geração de poluentes do ar perigosos foi evitada durante o processo de manufatura?	2	0
3. O uso de solventes, tintas e adesivos com altas taxas de evaporação de compostos orgânicos voláteis foi eliminado ou minimizado?	1	0
Pontos totais para o elemento B.5 da matriz:	<input type="text"/>	

C – Distribuição e Embalagem (OLB)

C.1: Distribuição e Embalagem X Materiais

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre as instalações da empresa?	1	0
2. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre a empresa e seus fornecedores?	1	0
3. Materiais reciclados são usados nas embalagens utilizadas para transporte e entrega do produto?	1	0
4. Materiais recicláveis são usados nas embalagens para transporte e entrega do produto?	1	0
5. O número de diferentes tipos de materiais usados nas embalagens foi minimizado?	1	0
Pontos totais para o elemento C.1 da matriz:	<input type="text"/>	

C.2: Distribuição e Embalagem X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. O material usado para embalagem é reutilizável ou de menor massa possível, mantendo as funções de transporte e embalagem final?	5	0
Pontos totais para o elemento C.2 da matriz:	<input type="text"/>	

C.3: Distribuição e Embalagem X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. A embalagem foi desenvolvida para fácil separação entre os materiais possibilitando o reuso e a reciclagem?	1	0
2. Os tipos de embalagem comumente usadas são recicladas?	2	0
3. Os materiais da embalagem são claramente marcados e facilmente identificados por tipo de material?	2	0
Pontos totais para o elemento C.3 da matriz:	<input type="text"/>	

C.4: Distribuição e Embalagem X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. A máxima prevenção quanto ao vazamento de líquidos perigosos durante o transporte foi tomada?	5	0
Pontos totais para o elemento C.4 da matriz:	<input type="text"/>	

C.5: Distribuição e Embalagem X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. As embalagens para transporte e consumo não contém polímeros clorados ou plásticos que possam produzir emissões gasosas perigosas caso incinerados a baixas temperaturas?	3	0
2. As embalagens para transporte e consumo não contém inibidores de chamas bromados que possam produzir emissões se incinerados a baixas temperaturas?	2	0
Pontos totais para o elemento C.5 da matriz:	<input type="text"/>	

D – Distribuição e Embalagem (OLA)

D.1: Distribuição e Embalagem X Materiais

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre as instalações da empresa?	1	0
2. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre a empresa e seus fornecedores?	1	0

- | | | |
|--|----------------------|---|
| 3. Materiais reciclados são usados nas embalagens utilizadas para transporte e entrega do produto? | 1 | 0 |
| 4. Materiais recicláveis são usados nas embalagens para transporte e entrega do produto? | 1 | 0 |
| 5. O número de diferentes tipos de materiais usados nas embalagens foi minimizado? | 1 | 0 |
| Pontos totais para o elemento D.1 da matriz: | <input type="text"/> | |

D.2: Distribuição e Embalagem X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

- | | | |
|--|----------------------|-----|
| | Sim | Não |
| 1. O material usado para embalagem é reutilizável ou de menor massa possível, mantendo as funções de transporte e embalagem final? | 5 | 0 |
| Pontos totais para o elemento D.2 da matriz: | <input type="text"/> | |

D.3: Distribuição e Embalagem X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

- | | | |
|--|----------------------|-----|
| | Sim | Não |
| 1. A embalagem foi desenvolvida para fácil separação entre os materiais possibilitando o reuso e a reciclagem? | 1 | 0 |
| 2. Os tipos de embalagem comumente usadas são recicladas? | 2 | 0 |
| 3. Os materiais da embalagem são claramente marcados e facilmente identificados por tipo de material? | 2 | 0 |
| Pontos totais para o elemento D.3 da matriz: | <input type="text"/> | |

D.4: Distribuição e Embalagem X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

- | | | |
|--|----------------------|-----|
| | Sim | Não |
| 1. A máxima prevenção quanto ao vazamento de líquidos perigosos durante o transporte foi tomada? | 5 | 0 |
| Pontos totais para o elemento D.4 da matriz: | <input type="text"/> | |

D.5: Distribuição e Embalagem X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

Sim Não

1. As embalagens para transporte e consumo não contém polímeros clorados ou plásticos que possam produzir emissões gasosas perigosas caso incinerados a baixas temperaturas? 3 0

2. As embalagens para transporte e consumo não contém inibidores de chamas bromados que possam produzir emissões se incinerados a baixas temperaturas? 2 0

Pontos totais para o elemento D.5 da matriz:

E – Uso do Produto e Manutenção

E.1: Uso do Produto e Manutenção X Materiais

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. O produto ou componente é facilmente desmontado para atualização, reparo ou reuso?	1	0

2. As partes deste produto ou componente estão prontamente disponíveis para reparo?	1	0
---	---	---

3. As barreiras potenciais para a reciclagem, como uso de aditivos, tratamentos metálicos em plásticos, aplicação de pinturas no plástico ou o uso de materiais de composição desconhecidas foram evitadas?	2	0
---	---	---

4. Os plásticos utilizados estão claramente identificados por tipo de resina?	1	0
---	---	---

Pontos totais para o elemento E.1 da matriz:

E.2: Uso do Produto e Manutenção X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. O projeto do produto possibilita o mínimo consumo de energia durante o uso do produto?	2	0

2. Esse produto ou componente pode ter um ajuste de energia baseada na intensidade de atividade?	3	0
--	---	---

Pontos totais para o elemento E.2 da matriz:

E.3: Uso do Produto e Manutenção X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. O projeto do produto evita o uso de componentes descartáveis como baterias e cartuchos?	1	0

- | | | |
|--|---|---|
| 2. Os elementos de ligação utilizados, como parafusos e prendedores por adesão, possuem o mesmo tipo de cabeça? O uso de adesivos e soldas foi evitado para partes unidas de forma a facilitar a desmontagem, reparo e reciclagem? | 2 | 0 |
| 3. O produto foi desenvolvido de forma a ser facilmente reparado e/ou atualizado preferencialmente à substituição total? | 2 | 0 |

Pontos totais para o elemento E.3 da matriz:

E.4: Uso do Produto e Manutenção X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

- | | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O uso dos produtos evita a liberação de substâncias conhecidas por serem poluentes da água? | 5 | 0 |

Pontos totais para o elemento E.4 da matriz:

E.5: Uso do Produto e Manutenção X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

- | | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. A emissão de poluentes atmosféricos perigosos foi evitada durante o uso e manutenção do produto? | 2 | 0 |
| 2. A emissão de gases que causam aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foi evitada durante o uso e a manutenção do produto? | 3 | 0 |

Pontos totais para o elemento E.5 da matriz:

F – Fim de Vida (Rerrefino)

F.1: Fim de Vida X Materiais

Para esse produto ou componente:

- | | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. Os materiais são facilmente reusados ou comumente reciclados? | 1 | 0 |
| 2. Os materiais são de fácil separação e identificação por tipo? | 1 | 0 |
| 3. Algum dos materiais utilizados precisam ser disposto como resíduo perigoso ? | 1 | 0 |

4. A introdução de chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente nos materiais do produto foram evitadas ? 2 0

Pontos totais para o elemento F.1 da matriz:

F.2: Fim de Vida X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

Sim Não

1. As partes de plástico e fibras podem ser seguramente utilizadas para geração de energia, como na incineração? 2 0

2. Estão ausentes materiais que precisam ser transportados como resíduos perigosos para aterros industriais? (i.e. energia adicional é requerida para transportar materiais de manejo especial) 3 0

Pontos totais para o elemento F.2 da matriz:

F.3: Fim de Vida X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

Sim Não

1. Existe infra-estrutura interna ou externa à empresa para recuperar/reciclar os resíduos sólidos? 2 0

2. O projeto do produto evita a ligação entre diferentes materiais que possa dificultar a sua separação? 3 0

Pontos totais para o elemento F.3 da matriz:

F.4: Fim de Vida X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

Sim Não

1. O produto foi desenvolvido de forma a recuperar líquidos perigosos durante a sua desmontagem? 5 0

Ponto totais para o elemento F.4 da matriz:

F.5: Fim de Vida X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

	Sim	Não
1. A liberação de substâncias que causam a destruição da camada de ozônio e/ou aquecimento global foi evitada durante a disposição final do produto ou componente?	2	0
2. Os gases contidos no produto podem ser recuperados durante a desmontagem para que não sejam perdidos?	1	0
3. A liberação de poluentes atmosféricos foi evitada durante a disposição final deste produto ou componente?	2	0
Pontos totais para o elemento F.5 da matriz:	<input type="text"/>	