



Análise da Geração de Resíduos em Filtros Lubrificantes Automotivos Usados no Estado de Goiás

Juarez de Moraes ¹
Ricardo Luiz Machado ²
Antônio Pasqualetto ³
Patrícia Regina da Silva Zaluski ⁴

RESUMO:

O setor automotivo é responsável pela geração de resíduos que, por força de leis de proteção ambiental, devem ser destinados adequadamente. Neste trabalho foi analisada a geração de materiais contaminados por hidrocarbonetos, especificamente o óleo residual usado, resultante das trocas de filtros e óleos lubrificantes de veículos produzidos pelas montadoras FIAT, Honda e Iveco. Uma abordagem de natureza descritiva e quantitativa foi adotada na pesquisa. Os dados utilizados foram coletados em entidades nacionais representativas dos setores ligados ao fenômeno estudado e em registros de serviços de manutenção periódicas de três concessionárias autorizadas de veículos, localizadas no Estado de Goiás, entre 2014 e 2015. A análise dos resíduos existentes nos filtros lubrificantes foi viabilizada por meio do procedimento de desmanche desses produtos, desenvolvido pela equipe de pesquisa. Os resultados evidenciaram que o montante de óleo usado e contaminado pela frota veicular é elevado e requer destinação adequada.

Palavras-chave: Filtros Lubrificantes; Óleo Lubrificante Usado e Contaminado; Sustentabilidade.

¹ Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC GOIÁS, Brasil. Docente na Faculdade Nossa Senhora Aparecida, FANAP, Brasil. juarez.morais@rodandoverde.com.br

² Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil. Docente na Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC GOIÁS; e no Centro Universitário de Anápolis, UniEVANGÉLICA, Brasil. drmmachado@gmail.com

³ Doutorado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. Docente na Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC GOIÁS; e no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, IFG, Brasil. pasqualetto@pucgoias.edu.br

⁴ Mestrado em andamento em Engenharia de Produção e Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC GOIÁS, Brasil. patricia_zaluski@hotmail.com

No fim da década de 1990, aproximadamente nove milhões de veículos eram descartados anualmente, criando aproximadamente nove milhões de toneladas de resíduos (Rogers & Tibben-lemcke 1999, p.2). Como consequência, em 21 de outubro de 2000, a União Europeia aprovou pioneiramente uma diretriz responsabilizando os fabricantes de veículos pelos resíduos gerados durante todo seu ciclo de vida. Dentre as cláusulas de responsabilidade existentes nessa diretriz, destacaram-se as seguintes (Rogers & Tibben-lemcke 1999, p.154): Garantia de que todos os veículos fossem encaminhados a desmontadoras autorizadas no fim de seus ciclos de vida; Restrição do uso de metal pesado na fabricação dos veículos a partir de 2003; e Garantia de que, até 2015, um mínimo de 95% dos componentes dos veículos seja reusáveis ou recuperáveis (incluindo a recuperação de energia através da incineração de resíduos). Nesse contexto, Medina & Gomes (2002, p.2) apontaram a tendência de produção dos denominados carros verdes, produzidos nas fábricas denominadas verdes, “onde todo o ciclo de produção e de vida do produto é planejado e gerenciado de forma a evitar qualquer impacto ambiental”.

Até o início da década de 1990 a busca por componentes que possibilitassem segurança, *design* e preço baixo levaram a indústria automobilística a empregar materiais que se tornavam inutilizados após o seu ciclo de vida, provocando descarte excessivo em aterros. Modernamente, o projeto do automóvel considera a concepção de conhecida como *End-of-Life Vehicle* (ELV), que preconiza a reciclagem ou reuso de 95% dos materiais utilizados no veículo, conforme meta estabelecida para o ano 2015 (Mat Saman *et al.* 2012).

Alguns componentes do automóvel o acompanharão até o fim de seu ciclo de vida. Outros elementos, entretanto, são substituídos periodicamente, em decorrência do desgaste causado por sua utilização. O fabricante do automóvel preconiza substituições periódicas de filtros, correias, óleos lubrificantes, velas, mangueiras, cabos, fluídos, pastilhas, lonas de freios, pneus e válvulas, entre outros. Além disso, é possível identificar vários subsistemas que formam o veículo que também requerem trocas periódicas de seus componentes, tais como: direção, suspensão, freios, motorização, câmbio, semiárvores, iluminação, embreagem, forração ou tapeçaria, sistemas elétricos, acessórios e outros. Essas trocas ocorrem em função da quilometragem percorrida, tempo de uso, desgaste natural ou em decorrência de colisões dos veículos.

Conforme determina o Artigo 30º da lei federal brasileira 12.305 (Brasil 2010), que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, a responsabilidade de tratamento de resíduos é compartilhada em regime de corresponsabilidade por fabricantes dos componentes novos, distribuidores, varejistas e consumidores. Apesar de existir formalmente uma lei que envolve todos os

atores identificados anteriormente, desde a fabricação até o consumo, acredita-se que somente consumidores e varejistas tem assumido os custos de destinação dos resíduos.

Segundo a Resolução do CONAMA 362/2005 (Brasil 2005) em seu artigo 2, Inciso V, toda pessoa física ou jurídica, que em decorrência de sua atividade gera óleo lubrificante usado e contaminado - OLUC é considerado um gerador e, portanto, possuem a responsabilidade (artigo 5º) de recolher e efetuar o armazenamento temporário dos OLUCs gerados e destinar às empresas coletoras e especializadas no rerrefino, devidamente autorizadas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Os trabalhos encontrados na literatura sobre o tema dos resíduos gerados por automóveis analisam apenas o OLUC extraído dos veículos automotores, não se envolvendo com estudos referentes à quantidade de OLUC que se acumula no interior dos filtros lubrificantes. Este trabalho contempla a decomposição do filtro lubrificante usado e quantifica os tipos de materiais existentes em seu interior, entre eles o OLUC residual, materiais contaminados e demais materiais recicláveis.

Neste sentido, o objetivo é analisar a quantidade de resíduos de filtros lubrificantes de veículos automotores (particularmente o OLUC), produzidos em função da execução das atividades de manutenção mecânica, a partir dos registros de assistências técnicas realizadas em concessionárias de veículos das marcas FIAT, Honda e Iveco. Além disso, estimar, por meio de projeções, os volumes gerados desses resíduos no Estado de Goiás, com base em sua frota veicular.

REVISÃO DA LITERATURA

Ao analisar as possibilidades de reuso, reprocessamento e reciclagem de peças, componentes e materiais diversos presentes nos veículos produzidos, Cury *et al.* (2008), concluíram que o setor automobilístico representa uma das indústrias com maior potencial poluidor e, ao mesmo tempo, mitigador de seus impactos. Com o intuito de verificar essa conclusão e estruturar uma base conceitual voltada ao tratamento de resíduos gerados por filtros lubrificantes usados de veículos automotivos são apresentados e discutidos diversos elementos associados ao tema.

VEÍCULOS AUTOMOTORES NO BRASIL: FROTA E QUILOMETRAGEM PERCORRIDA

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores – SINDIPEÇAS, a frota circulante de automóveis, veículos comerciais leves, caminhões e ônibus atingiu 40.087.191 de unidades em 2013 (SINDIPEÇAS 2014). Desse total, existem 31.532.073 automóveis, 6.377.155 veículos comerciais leves, 1.791.586 caminhões e 386.377 ônibus.

Segundo Guimarães & Lee (2010), os dados apresentados pelo SINDIPEÇAS são mais confiáveis que os do Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN, pois consideram também o

sucateamento não previsto da frota veicular decorrente de acidentes e roubos. Segundo dados do Sistema de Frota Circulante Nacional (Sistema SIF-SID), considerando informações estatísticas do licenciamento de veículos, a frota veicular brasileira apresentou uma mortalidade de 1,5% para veículos leves e de 1% para veículos pesados (SIF-SID 2014).

Segundo Ueda & Tomaz (2011), no Brasil os caminhões pesados percorrem 51.500 km em média a cada ano. Veículos comerciais leves percorrem em média 38.250 km/ano e automóveis transitam 20.000 km/ano. Em um estudo mais recente, o Sindicato da Indústria de Reparação de Veículos e Acessórios do Estado de São Paulo - SINDIREPA-SP publicou estimativa mais abrangente, considerando diversos tipos de veículos, de acordo com a Tabela 1 (SINDIREPA 2014):

Tabela 1. Quilometragem média anual percorrida pelos veículos brasileiros

SEGMENTO	QUILOMETRAGEM ANUAL PERCORRIDA (KM)
Automóveis	21.600
Comerciais Leves	78.000
Caminhões Urbanos	60.000
Caminhões Rodoviários	240.000
Ônibus Urbanos	150.000
Ônibus Rodoviários	249.600
Micro-Ônibus	132.000

Fonte: SINDIREPA-SP (2014).

Percebe-se aumento na referência de quilometragem média anual percorrida por veículos comerciais leves e automóveis, na análise comparativa entre os dados apresentados na Tabela 1 e aqueles indicados por Ueda & Tomaz (2011). Contribuindo para enriquecer essa discussão, Wills (2008) destaca que a quilometragem média anualmente percorrida por veículos automotores representa variável que depende da idade da frota veicular. Para este autor, veículos com até um ano de idade percorrem, em média 22.000 km/ano, mas na medida em que a idade aumenta a quilometragem média tende a ser reduzida. O veículo com cinco anos de idade tende a completar percurso de 14.000 km/ano, enquanto o veículo com 10 anos de idade deve transitar 13.000 quilômetros anualmente.

INTERVALOS DE SUBSTITUIÇÕES DE FILTROS LUBRIFICANTES AUTOMOTIVOS

Os fabricantes de automóveis recomendam a troca de óleo lubrificante em decorrência do tempo de uso ou distância percorrida (em km) (Chiconi 2011). Nessa discussão, a montadora de automóvel FIAT, em seu livro de garantia para veículos automotores recomenda o seguinte: “Atenção: o óleo lubrificante do motor degrada-se por quilometragem ou pelo tempo. Portanto, é imprescindível sua substituição de acordo com o Manual de Uso e Manutenção, respeitados os prazos de validade e/ou quilometragem [...]” (FIAT 2014, p.7). A FIAT preconiza a troca do filtro de óleo a cada 15.000 quilômetros percorridos, mas adverte, entretanto, que em situações consideradas como de condução

severa a troca deve ser realizada a cada 7.500 quilômetros. O manual de uso e manutenção da montadora dos caminhões IVECO modelo TECTOR recomenda que às trocas de filtro de óleo lubrificante devem ocorrer aos 40.000 km ou 600 h de uso (Iveco Latin América 2013, p.141). Segundo a Honda, é recomendável substituir o filtro de combustível a cada 10.000 ou 1(um) ano, se houver suspeita de que o combustível em uso esteja contaminado (Honda 2013).

FILTROS LUBRIFICANTES E OLUC

O filtro lubrificante automotivo é um conjunto formado por tampa, caneca, válvulas e juntas de vedação, que possui a função de filtrar as impurezas do óleo, que circula pelo meio filtrante, impulsionado pela pressão da bomba de óleo, que é ligada ao movimento de rotação do motor.

Segundo a norma NBR/ABNT 10.004/2004, os filtros usados de óleo lubrificante automotivo são classificados como perigosos, isto é, da classe I. Após o uso, o filtro lubrificante retém, em seu interior, diversos componentes impregnados de derivados do petróleo. Em um filtro lubrificante usado é possível encontrar a sucata metálica, o OLUC e a membrana filtrante. De maneira equivocada, o filtro lubrificante usado pode ser considerado somente uma sucata metálica e ser destinado a receptores intermediários. Essa destinação não é recomendada em função da membrana filtrante do filtro reter óleo contaminado (OLUC), que pode prejudicar o meio ambiente. Existem, no entanto, equipamentos que processam os filtros, promovendo a retirada do OLUC remanescente em seu interior. Além disso, esse processo oportuniza a separação dos demais componentes do filtro, favorecendo a destinação de suas partes a processos de reciclagens mais adequados.

Após o processo de rerrefino, o OLUC se transforma no óleo lubrificante básico rerrefinado e passa a ter valor de mercado. A coleta do OLUC é efetuada por organizações autorizadas pela ANP e ocorre nas instalações de revendedores do óleo lubrificante (postos de gasolina, concessionárias de automotores e oficinas mecânicas, dentre outros). Embora a coleta seja normatizada pelos Ministérios do Meio Ambiente (MMA) e de Minas e Energia (MME), o volume recolhido de OLUC ainda é considerado reduzido, segundo Canchumani (2013). Na Tabela 2 são apresentadas as metas de recolhimento do OLUC estabelecidas pelos órgãos governamentais.

Ao se analisar os percentuais de coleta de OLUC apresentados na Tabela 2, levanta-se preocupação relativa ao recolhimento desse resíduo, que poderá receber destinações diferentes à do rerrefino, como estabelecido pelas Resoluções do CONAMA 362/2005 e 450/2012. Segundo essas resoluções, quaisquer aplicações distintas do rerrefino são consideradas impróprias e, portanto, sujeitas às penalidades da Lei 9.605/98. O tratamento adequado de materiais que oferecem algum tipo de risco ao meio ambiente, como é o caso do OLUC, é tratada pela PNRS, que dispõe sobre a destinação de

forma ambientalmente prevista pela legislação, além dos responsáveis por suportar os custos desse processo.

Tabela 2. Metas estabelecidas pela Portaria Interministerial 59/2012 do MMA/MME para coleta de OLUC por região, para período de 2012 a 2015

ANO	REGIÃO					BRASIL
	NORDESTE	NORTE	CENTRO OESTE	SUDESTE	SUL	
2012	26,0%	26,0%	32,0%	42,0%	36,0%	36,90%
2013	28,0%	28,0%	33,0%	42,0%	36,0%	37,40%
2014	30,0%	30,0%	34,0%	42,0%	37,0%	38,10%
2015	32,0%	31,0%	35,0%	42,0%	37,0%	38,50%

Fonte: SINDIRREFINO (2015).

RESÍDUOS GERADOS NAS TROCAS DE ÓLEO LUBRIFICANTE DE VEÍCULOS AUTOMOTORES

As intervenções mecânicas nos veículos automotores ocorrem em decorrência de manutenções preventivas e corretivas e, geralmente, provocam substituições de componentes, que se tornam resíduos. Sobre esse assunto, Papa & Riquena (2011) sustentam que o volume de resíduos gerados por um carro em seu primeiro ano de vida equivale a aproximadamente 10,5 litros de óleo combustível, filtros de óleo, combustível e ar, 5 quilos de resíduos de estopa, embalagens, materiais e outros insumos.

Mais especificamente, os principais resíduos gerados nas vendas de veículos são filtros e papéis da cabine de pintura, borras de retífica, lodo de tinta, solventes e químicos, óleos, graxas e lubrificantes usados, embalagens de óleos e graxas, embalagens de produtos químicos, metais ferrosos, plásticos (polietileno de alta densidade - PEAD, polietileno de baixa densidade - PEABD e polipropileno - PP), madeira, tambores metálicos, papéis e papelão, pneus inservíveis, peças e acessórios sucateados, filtros e papéis com resina, resíduos de varrição não perigosos, papéis e panos contaminados por hidrocarbonetos, equipamentos de proteção individual usados, filtros de óleo lubrificante, filtros de combustível, lonas e pastilhas de freio.

O descarte dos filtros sem a remoção prévia do óleo contido em seu interior não só desperdiça recursos preciosos de aço e do volume residual do OLUC, mas também é perigoso para o meio ambiente, devido ao vazamento potencial do óleo contido. O OLUC, objeto de estudo deste trabalho, constitui resíduo que possui enorme capacidade de poluição. Segundo Tamada *et al.* (2012), a toxicidade do OLUC permanece elevada mesmo após passar por um processo de biodegradação, devido à alta concentração de metais pesados.

No Brasil a destinação adequada do OLUC é prevista por um conjunto de normas, leis, resoluções e portarias ministeriais, como as seguintes: Lei 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos

Sólidos; Resoluções do CONAMA 362/2005 e 450/2012; Portaria MMA nº 31/2007 que Institui o Grupo de Monitoramento Permanente; e Portaria Interministerial MMA/MME nº 464/2007, que estabelece diretrizes para o recolhimento, coleta e destinação dos óleos usados e contaminados, determinando percentuais mínimos de coleta, a serem atendidos pelos produtores e importadores de lubrificantes acabados, por região e no Brasil.

Ott *et al.* (2012) citando o *American Institute Petroleum* (2009), afirmam que nos EUA mais de duzentos milhões de galões de OLUC são descartados de forma inadequada a cada ano. Ao analisar os filtros lubrificantes usados, Gaidajis *et al.* (2011) estimam que 7.650.000 unidades (correspondendo a 0,7 filtros / habitante) são utilizadas na Grécia todos os anos, considerando apenas os filtros usados por veículos de passageiros. Segundo estes autores, ao realizar uma extrapolação dos dados da Grécia para a União Europeia, observa-se um número estimado de 345 milhões de filtros de óleo usados e posteriormente eliminados em 2007.

Hsu & Liu (2011) ponderam que o OLUC não deve ser descartado de forma aleatória, devido à presença de agentes nocivos ao meio ambiente. Para esses autores, as tecnologias de destinação devem ser comparadas com vistas a uma sugestão ao governo de Taiwan para que formule políticas de recuperação de lubrificantes. Kanokkantung *et al.* (2009) afirmam que o OLUC é um resíduo com grau de dificuldade elevada de se lidar devido à sua toxicidade e à complexidade na seleção de tecnologias para sua recuperação, que deve levar em consideração não somente os aspectos técnicos, mas ainda a questão ambiental. Na análise desses autores, a queima do OLUC como combustível em fornos de cimenteiras possibilitou a melhor destinação dentre as alternativas consideradas.

Pires & Martinho (2013) analisaram 15 possibilidades de destinação do OLUC em Portugal, com o intuito de avaliar as opções que apresentaram melhor índice de redução dos impactos ambientais. Ao término do trabalho, os autores concluíram que o rerrefino é a opção preferível dentro de uma hierarquia de destinação.

Utsev *et al.* (2013) observaram que na Nigéria não existe legislação específica para proibir o descarte inadequado do OLUC e, com base na análise do ponto de fulgor, poder calorífico, viscosidade, metais pesados, teor de enxofre, ponto de inflamação e teor de cinzas do OLUC, o produto pode ser adicionado ao óleo combustível pesado, que é empregado como óleo combustível nas fábricas de cimento.

METODOLOGIA DE PESQUISA

ABORDAGEM DE PESQUISA, OBJETOS DE ESTUDO E ESCOPO

Adotou-se abordagem metodológica aplicada, descritiva e de natureza quantitativa. Dessa forma, análise paramétrica foi realizada a partir de bancos de dados disponibilizados por entidades representativas de setores ligados direta ou indiretamente ao objeto de estudo do trabalho, isto é, à geração de resíduos oriundos de filtros de combustíveis de veículos automotores. Nesse sentido, foram consultados dados disponibilizados pela ANFAVEA, ANP, DENATRAN, SINDIPEÇAS, SINDIREPA – SP, SINDIRREFINO e SIF-SID, além daqueles disponíveis nos manuais e catálogos das montadoras de veículos, cujos automóveis foram submetidos ao estudo.

A pesquisa foi realizada em Goiânia, no Estado de Goiás, centro-oeste do Brasil e selecionadas três concessionárias de veículos automotores, das marcas FIAT, Honda e Iveco.

As observações relativas à geração de resíduos oriundos dos filtros lubrificantes usados ocorreram em período de doze meses entre 01 de junho de 2013 e 31 de maio de 2014 a fim de buscar registros que abordassem as diversas flutuações de demanda ao longo de um ano de operação nas concessionárias das marcas estudadas.

ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada de acordo com as seguintes etapas:

- Coleta de dados relativos às quantidades de óleo e filtros lubrificantes novos consumidos nos concessionárias de automóveis que serviram como objetos de pesquisa, no período de junho de 2013 a maio de 2014;
- Análise preliminar sobre a associação existente entre a entrada de veículos nas concessionárias estudadas (para receberem o serviço de manutenção) e o consumo de óleo combustível (em litros).
- Levantamento de dados a respeito da quantidade de OLUC coletado nas concessionárias de automóveis estudadas no período de análise, através da verificação dos certificados de OLUC existentes (documentos emitidos pelos agentes credenciados pela ANP atestando o recolhimento de OLUC na concessionária);
- Análise da geração de resíduos em cada filtro lubrificante usado substituído no serviço de manutenção. Esta análise foi realizada por meio da decomposição do filtro, mediante procedimento descrito detalhadamente na próxima etapa. Como

procedimento operacional padrão preconizado pelas montadoras de automóveis, houve substituição de filtro em cada automóvel que ingressou na concessionária;

- - Realização da decomposição dos filtros lubrificantes usados e análise dos resíduos gerados. Nesta etapa foram feitos cortes em uma amostra de filtros de óleos lubrificantes usados, de acordo com a Equação 1 (Dimensionamento amostral). Essa etapa foi realizada nas instalações da empresa responsável pela reciclagem de filtros:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p) + e^2 \cdot (N - 1)} \quad (1)$$

Onde:

n = amostra calculada;

N = população de filtros lubrificantes usados;

Z = variável normal padronizada associada ao nível de confiança;

p = probabilidade do evento;

e = erro amostral (arbitrada nesta análise como 5%);

Nas análises foram considerados dois grupos de variáveis: um associado ao óleo lubrificante novo e outro associado à análise do filtro lubrificante usado.

O primeiro grupo incluiu as seguintes variáveis:

- Consumo de óleo por troca (medida em L/troca);
- Trocas de óleo por ano (medida em unidades); e
- Consumo total de óleo da frota veicular de Goiás (medida em L/ano).

Nas análises realizadas em relação ao primeiro grupo de variáveis foi considerado que em cada veículo que recebeu manutenção na concessionária houve substituição de filtro e óleo lubrificante. Além disso, o consumo de óleo lubrificante por veículo foi calculado através da divisão entre os dados de registros mensais de volumes consumidos de óleo combustível e quantidade de filtros lubrificantes utilizados. O consumo de óleo lubrificante (em litros/veículo) foi determinado pela Equação 2 (Consumo de óleo lubrificante por veículo).

$$Lo = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{\sum_{i=1}^n yi} \quad (2)$$

Onde:

Lo = Quantidade média de óleo consumido por veículo em cada troca (litros /unidade);

xi = Quantidade de óleo lubrificante consumido em cada veículo, durante o período considerado (litros);

yi = Quantidade de filtros lubrificantes utilizados durante o período considerado (unidades).

Em cada veículo foi consumido apenas um filtro de óleo;

n = Número de períodos (meses) considerados na Amostra.

No segundo grupo, associado às análises dos filtros lubrificantes, foi incluído as seguintes variáveis:

- Geração de OLUC, em Goiás (em litros/ano);
- Geração de resíduos de materiais metálicos, em Goiás (em ton/ano);
- Geração de resíduos de borrachas, em Goiás (em ton/ano);
- Geração de resíduos plásticos, em Goiás (em ton/ano);
- Geração de resíduos de membranas filtrantes, em Goiás (em ton/ano).

Os resultados das análises associadas às variáveis do segundo grupo foram apresentados por meio de cálculos de médias aritméticas, relacionadas em tabelas sintéticas.

DADOS DE INVENTÁRIO E PREMISSAS

A população considerada na pesquisa envolveu 4.422 veículos da marca FIAT, 4.246 veículos da marca Honda e 952 veículos da marca IVECO. A população foi totalmente incluída em análise preliminar, que visou a determinação da associação existente entre a entrada de veículos nas concessionárias e consumo de óleo combustível (em litros).

Em etapa seguinte, devido aos custos relacionados ao processo de decomposição dos filtros lubrificantes usados, a análise da geração de resíduos produzidos foi feita com base em amostragem. O cálculo das amostras foi determinado a partir da população de veículos, uma vez que foi considerado que cada veículo recebeu para trabalhos de manutenção na concessionária uma troca de óleo lubrificante. Nesta segunda análise, foram investigados 354 filtros lubrificantes de veículos da marca FIAT, 353 filtros de veículos da marca Honda e 274 filtros de veículos da marca Iveco.

Adotou-se no artigo o intervalo de troca de 10.000 km para veículos leves e camionetes. Para os ônibus, micro-ônibus e caminhões adotou-se a média de 20.000 km percorridos por troca de filtros e óleos lubrificantes.

ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES

OLUC GERADO NO PROCESSO DE TROCA DE ÓLEO

Com o objetivo de fazer uma estimativa da geração de OLUC em Goiás foi levantada a frota registrada no banco de dados do DENATRAN (DENATRAN 2016), considerando decréscimos de veículos ocorridos por mortalidade, com base no sistema FIF (SIF-SID 2014). Havia em Goiás, no momento em que foi realizada a pesquisa, frota veicular de 2.293.487 unidades. Destes, 1.697.544

automóveis, 166.756 caminhões, ônibus e micro-ônibus, e 429.187 veículos comerciais leves, camionetes e utilitários.

Após realizar o levantamento da frota veicular de Goiás, foram calculados o consumo de óleo lubrificante novo e de geração de OLUC. Para tanto, foi necessário arbitrar alguns pressupostos, com base na revisão da literatura apresentada anteriormente. Inicialmente, foram consideradas as distâncias percorridas pelos veículos incluídos na análise, de acordo com a natureza de cada um deles, com base em dados extraídos do SINDIREPA-SP (2014). A distância média percorrida anualmente por automóveis foi considerada igual a 20.000 km. Para veículos comerciais leves, camionetes e utilitários foi considerado percurso médio de 78.000 km/ano e para caminhões, ônibus e micro-ônibus foi considerado percurso de 150.000 km/ano. Os percursos (em km) para trocas de filtros e óleos lubrificantes foram arbitrados com base nas recomendações dos fabricantes das marcas de veículos estudadas (FIAT, 2014, Honda, 2013, Iveco Latin América, 2013). Para os automóveis foi adotada como referência quilometragem média anual de 10.000 km/troca. Para veículos comerciais leves, camionetes e utilitários foi considerado percurso médio de 10.000 km/troca e para caminhões, ônibus e micro-ônibus percurso de 20.000 km/troca. Considerando perda de 15% entre o volume de óleo novo consumido e de OLUC gerado, adotou-se para automóveis, veículos comerciais leves, camionetes e utilitários consumo anual de óleo novo de 3,86 L/troca (obtido pelo cálculo da média aritmética entre os consumos de veículos das marcas FIAT e Honda), enquanto que, para caminhões, ônibus e micro-ônibus consumo anual de 19,05 L/troca (obtido pelo cálculo da média aritmética entre os consumos de veículos da marca Iveco). Na tabela 3 são apresentados os resultados das análises de consumo de óleo lubrificante e geração de OLUC, considerando a frota veicular do Estado de Goiás.

Na Tabela 3, os valores apresentados na coluna com as quantidades de trocas de óleo por ano foram calculados por meio da divisão entre os quilômetros percorridos e o intervalo de troca de óleo. Já o consumo anual de óleo novo foi calculado pelo produto entre o consumo de óleo por troca e as trocas de óleo por ano. O consumo total de óleo da frota foi calculado por meio da multiplicação entre a quantidade de veículos após a consideração da mortalidade (pelo sistema FIF) e o consumo anual de óleo. Por fim, a estimativa de geração anual de OLUC foi obtida com base no consumo total de óleo da frota, considerando perda do óleo novo de 15% em relação ao volume de OLUC gerado. Este cálculo foi feito com base na premissa de que há perda de 15% entre a colocação de óleo novo no veículo e a retirada do OLUC, devido ao fato, de que os motores modernos consomem parcela do óleo, que é queimada juntamente com o combustível. Isto ocorre porque há perdas de óleo decorrentes de suas funções de promover a lubrificação das paredes dos cilindros e movimentar os pistões do motor. Nesse

sentido, considera-se aceitável o consumo de óleo pelo motor de um veículo automotivo até a proporção de 1 litro para cada 1.000 quilômetros percorridos.

Tabela 3. Consumo de óleo lubrificante novo e usado por tipo de veículos em Goiás

*Considerada perda de 15% entre óleo novo e usado

TIPO DE VEÍCULO	QUANTIDADE DE VEÍCULOS (MIL UNIDADES) (Anfavea 2016)	QUANTIDADE DE VEÍCULOS APÓS MORTALIDADE - SISTEMA FIF (MIL UNIDADES) (Anfavea 2016)	KM PERCORRIDOS (KM/ANO)	INTERVALO DE TROCA DE ÓLEO (KM/TROCA)	CONSUMO DE ÓLEO POR TROCA (L/TROCA)	TROCAS DE ÓLEO POR ANO (TROCA/ANO)	CONSUMO ANUAL DE ÓLEO (L/ANO)	CONSUMO TOTAL DE ÓLEO DA FROTA (MIL L/ANO)	ESTIMATIVA DE GERAÇÃO ANUAL DE OLUC (MIL L/ANO)*
Automóveis	1.697	1.080	21.000	10.000	3,86	2,1	8,106	8.755	7.441
Comerciais leves, camionetes e utilitários	459	432	78.000	10.000	3,86	7,8	30,108	13.007	11.056
Caminhões, ônibus e microônibus	166	108	150.000	20.000	19,05	7,5	142,875	15.431	13.116
TOTAL	2292	1.620						37.193	31.615

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Ao se analisar o volume de OLUC gerado anualmente apresentado na Tabela 3, é necessário fazer uma ressalva de que estes não consideram o volume gerado por outras máquinas, como navios, aviões e tratores, que também requerem destinação adequada.

Como discutido anteriormente, as resoluções do CONAMA 362/2005 e 450/2012 (Brasil 2012) dispõem sobre o rerrefino como destino obrigatório do OLUC. O óleo lubrificante novo é considerado perigoso ao meio-ambiente por conter materiais que podem contaminar o solo e seus mananciais (águas superficiais e subterrâneas). Já o OLUC oferece periculosidade maior do que a apresentada pelo óleo novo, pois carrega carga de componentes nocivos à saúde como dioxinas, ácidos orgânicos, cetonas, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, chumbo, cádmio, cromo e arsênio. No sentido de reforçar a aplicação das resoluções do CONAMA e considerando o elevado volume de OLUC gerado pela frota veicular do Estado de Goiás, é relevante citar o trabalho de Tsambe *et al.* (2017), que sugere ser possível recuperar em óleo novo cerca de 80 a 85% do OLUC.

RESÍDUOS ENCONTRADOS NO INTERIOR DOS FILTROS LUBRIFICANTES USADOS

Após estimar o volume de OLUC a partir de trocas de óleo regulares, foi analisada a quantidade existente desse material que permanecia remanescente no interior dos filtros lubrificantes

usados. Essa análise foi possível após o levantamento de parâmetros a respeito do OLC residual nos filtros lubrificantes, obtidos por meio de médias aritméticas calculadas com base nas amostras analisadas (conforme apresentado anteriormente). Para a obtenção desses dados, cada filtro lubrificante usado passou por um procedimento de corte. O desmanche do filtro lubrificante usado foi realizado com o uso de um pequeno torno mecânico, equipado com ferramenta de corte de aço. Após a fixação do filtro em cabeçote consistindo de três placas que, posteriormente, entravam em movimento, a ferramenta de corte avançava sobre o filtro efetuando cisão em sua carcaça metálica, dividindo-a em duas partes, possibilitando o escoamento do OLC residual. Na sequência, eram retirados os demais materiais internos (membranas filtrantes, materiais metálicos, borracha e materiais plásticos), com o intuito de conhecer o peso de cada componente.

RESÍDUOS DE OLC

Após o desmanche dos filtros lubrificantes considerados nas amostras estudadas, foi encontrado volume médio de OLC residual por filtro lubrificante usado de 0,0491 litros/filtro para automóveis, veículos comerciais leves, camionetes e utilitários. Já os caminhões, ônibus e micro-ônibus apresentaram geração de OLC residual de 0,0181 litros/filtro. Na Tabela 4 são apresentados os resultados da análise sobre o volume residual de OLC nos filtros lubrificantes usados, considerando a frota veicular de Goiás:

Tabela 4. OLC residual dos filtros lubrificantes usados considerando a frota veicular de Goiás

TIPO DE VEÍCULO	FROTA VEICULAR DE GOIÁS (EM MIL UNIDADES)	TROCAS ANUAIS DE ÓLEO (UN. /ANO)	OLC RESIDUAL (L/FILTRO)	VOLUME RESIDUAL DE OLC (MIL L/ANO)
Automóveis	1.697	2,1	0,0491	174,98
Comerciais leves, camionetes e utilitários	429	7,8	0,0491	164,30
Caminhões, ônibus e micro-ônibus	166	7,5	0,0181	22,53
TOTAL	2.292			361,81

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Na Tabela 4, a estimativa de volume residual de OLC gerado pela frota veicular de Goiás foi calculada por meio da multiplicação entre a frota veicular do Estado pela quantidade de trocas anuais de filtros e pelo OLC residual existente no filtro usado.

RESÍDUOS DE MEMBRANAS FILTRANTES E MATERIAIS METÁLICOS

Foram encontradas quantidades médias de membranas filtrantes e materiais metálicos residuais nos filtros lubrificantes usados, respectivamente, de 0,0671 kg/filtro e 0,1854 kg/filtro para

Juarez de Moraes; Ricardo Luiz Machado; Antônio Pasqualetto; Patrícia Regina da Silva Zaluski

automóveis, veículos comerciais leves, camionetes e utilitários. Já os caminhões, ônibus e micro-ônibus apresentaram quantidades residuais de membranas filtrantes de 0,4772 kg/filtro e de materiais metálicos de 0,616 kg/filtro. Na Tabela 5 são apresentados os resultados da análise sobre a quantidade residual de membranas filtrantes e materiais metálicos nos filtros lubrificantes usados, considerando a frota veicular de Goiás:

Tabela 5. Quantidade residual de membranas filtrantes e materiais metálicos encontrados nos filtros lubrificantes usados considerando a frota veicular de Goiás

TIPO DE VEÍCULO	FROTA VEICULAR DE GOIÁS (EM MIL UNIDADES)	TROCAS ANUAIS DE ÓLEO (UN./ANO)	MEMBRANA FILTRANTE RESIDUAL (KG/FILTRO)	MATERIAL METÁLICO RESIDUAL (KG/FILTRO)	QTDE RESIDUAL DE MEMBRANA FILTRANTE (T/ANO)	QTDE RESIDUAL DE MATERIAL METÁLICO (T/ANO)
Automóveis	1.697	2,1	0,0671	0,1854	239,12	660,71
Comerciais leves, camionetes e utilitários	429	7,8	0,0671	0,1854	224,53	620,39
Caminhões, ônibus e micro-ônibus	166	7,5	0,4772	0,616	594,11	766,92
TOTAL	2.292				1.057,77	2.048,02

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

As membranas filtrantes do filtro lubrificante representam o único resíduo que não permite reciclagem direta, em decorrência de estarem impregnadas com derivados do petróleo. Entretanto, segundo Sellitto *et al.* (2013), uma alternativa de destinação desse resíduo pode estar na utilização em fornos de indústrias de fabricação de cimento, transformando esse material em combustível.

RESÍDUOS DE BORRACHAS E MATERIAIS PLÁSTICOS

Foram encontradas quantidades médias de borrachas e materiais plásticos residuais nos filtros lubrificantes usados, respectivamente, de 0,0000059 kg/filtro e 0,1854 kg/filtro para automóveis, veículos comerciais leves, camionetes e utilitários. Já os caminhões, ônibus e micro-ônibus apresentaram quantidades residuais de borrachas de 0,0000383 kg/filtro e 0,616 kg/filtro de materiais plásticos. Na Tabela 6 são apresentados os resultados da análise sobre a quantidade residual de borrachas e materiais plásticos nos filtros lubrificantes usados, considerando a frota veicular de Goiás:

Embora com pouco valor agregado no processo de reciclagem, as borrachas e materiais plásticos causam passivo ambiental considerável, o que não deve ser esquecido.

Tabela 6. Quantidade residual de borracha e materiais plásticos encontrados nos filtros lubrificantes usados considerando a frota veicular de Goiás

TIPO DE VEÍCULO	FROTA VEICULAR DE GOIÁS (EM MIL UNIDADES)	TROCAS ANUAIS DE ÓLEO (UN. /ANO)	BORRACHA RESIDUAL (KG/FILTRO)	MATERIAIS PLÁSTICOS RESIDUAIS (KG/FILTRO)	QTDE RESIDUAL DE BORRACHA (T/ANO)	QTDE RESIDUAL DE MATERIAIS PLÁSTICOS (T/ANO)
Automóveis	1.697	2,1	0,0000059	0,1854	21,03	660,71
Comerciais leves, camionetes e utilitários	429	7,8	0,0000059	0,1854	19,74	620,39
Caminhões, ônibus e micro-ônibus	166	7,5	0,0000383	0,616	47,68	766,92
TOTAL	2.292				88,45	2.048,02

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

RESÍDUOS DA TROCA DO FILTRO DE ÓLEO LUBRIFICANTE DA FROTA DE GOIÁS

Na Tabela 7 é apresentada síntese dos resultados obtidos nas análises anteriores. É possível verificar a existência de volumes elevados de resíduos gerados, que servem como alerta ao poder público para a estruturação de mecanismos de fiscalização da disposição adequada dos materiais apresentados.

Tabela 7. Resíduos gerados nas trocas de óleo de veículos automotores em Goiás

RESÍDUO	ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS (MIL L OU T /ANO)
OLUC (mil litros/ano)	31.610,81
Metálicos (t/ano)	2.048,02
Borracha (t/ano)	88,45191
Plástico (t/ano)	2.048,02
Membrana (t/ano)	1.057,77

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Ainda analisando a magnitude dos números da Tabela 7, verifica-se a possibilidade de criação de negócios em uma cadeia reversa de produção, amparada pela regulamentação da área que torna obrigatória o tratamento dos resíduos dos filtros lubrificantes usados.

CONCLUSÕES

Após a realização da pesquisa, concluiu-se que no desmanche dos filtros lubrificantes usados é possível identificar resíduos com elevado potencial de reaproveitamento, possibilitando fechar o ciclo produtivo de uma cadeia de suprimentos de forma que cumpra sua responsabilidade ambiental.

É necessário desenvolver inovações tecnológicas relacionadas aos equipamentos e técnicas voltados para a desmontagem de filtros lubrificantes, no sentido de aprimorar o aproveitamento dos

resíduos existentes no interior desses produtos. Além disso, é preciso ainda pensar em aperfeiçoar o processo de retirada de resíduos com maior produtividade, no sentido de aumentar a viabilidade econômica de negócios dessa natureza e contribuir para a preservação do meio ambiente.

O processo de desmontagem do filtro lubrificante usado pode gerar inspiração para o projeto deste produto, no sentido de desenvolver uma nova concepção que considere o aumento da eficiência em seu desmanche e o aproveitamento de seus componentes. Levando em consideração este aspecto observado na pesquisa, destaca-se o processo de retirada da membrana filtrante do filtro usado, que, a partir de um novo projeto do filtro novo, possa ser retirada mais facilmente e tornar melhor o processo de aproveitamento dos materiais metálicos residuais.

O volume elevado de resíduos de OLUC encontrado na pesquisa torna necessário aprimorar os mecanismos regulatórios de controle da destinação desse produto, visto que constitui elemento com elevado grau de contaminação ambiental.

REFERÊNCIAS

Anfavea 2014. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. *Brazil automotive guide 2014: guia setorial da indústria automotiva brasileira*.

Anfavea 2016. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. *Anuário da indústria automobilística brasileira*. Anfavea, São Paulo: SP.

ANP 2016. Agência Nacional do Petróleo. *Produção Nacional de Derivados de Petróleo (metros cúbicos)*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?dw=8484>. Acesso em: 18 de agosto de 2016.

Brasil 1998. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. *Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências*. Presidência da República, Brasília.

Brasil 2000. *Constituição da República do Brasil*. Senado Federal: Brasília, 512 p.

Brasil 2005. Resolução CONAMA 362/2005. *Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado*. Presidência da República, Brasília. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2005_362.pdf. Acesso em: 27 set. 2016.

Brasil 2010. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências*. Presidência da República, Brasília.

Brasil 2012. Resolução CONAMA 450/2012. *Altera os arts. 9, 16, 19, 20, 21 e 22, e acrescenta o art. 24-A à Resolução no 362, de 23 de junho de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, que dispõe sobre recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado*. Presidência da República, Brasília. Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=674>. Acesso em: 27 set. 2016.

Canchumani GAL 2013. *Óleos Lubrificantes Usados: um Estudo de Caso da Avaliação do Ciclo de Vida do Sistema de Refino no Brasil*, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/Programa de Planejamento Energético, 123 p.

Chiconi N 2011. Troca de óleo. *Revista Quatro Rodas*, Edição de Outubro.

Cury RM, Rodriguez AM, Duarte PC, Mendes KB 2008. Recuperação de Valor em Peças de Veículos em Fim de Vida. Resultados de um Estudo Exploratório. *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Rio de Janeiro.

DENATRAN 2016. Departamento Nacional de Trânsito. Frota. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>. Acesso em: 30 set. 2016.

Duque S 2016. O consumo de óleo lubrificante no mercado brasileiro. *Revista Mercado Automotivo*, Ed. 220. Abril de 2013. [Citado em 10 de junho de 2016]. Disponível em <http://www.revistamercadoautomotivo.com.br/O-consumo-de-oleo-lubrificante-%20no-mercado-automotivo-brasileiro/219/r/>.

FIAT 2014. *Manual de uso e manutenção família Palio*. Betim: MG.

Gaidajis G, Angelakoglou K, Botsaris PN, Filippidou F 2011. Analysis of the recycling potential of used automotive oil filters using the Life Cycle Assessment approach. *Resources, Conservation and Recycling* 55: 986-984.

Honda 2013. *Manual do Proprietário Civic*. Sumaré: SP.

Hsu YL, Liu CC 2011, Evaluation and selection of regeneration waste lubricating oil technology. *Environ Monit Assess* 176: 197-212.

Iveco Latin América 2013. *Manual de uso e manutenção Tector Attack*. Sete Lagoas: MG.

Kanokkantung V, Kiatkittipong W, Panyapinyopold B, Wongsuchotoc P, Pavasantc P 2009. Used lubricating oil management options based on life cycle thinking. *Resources, Conservation and Recycling* 53: 294-299. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.01.002>.

Mat Saman M Z, Zakuan N, Blount G 2012. Design for End-of-Life Value Framework for Vehicles Design and Development Process. *J Sust Develop* 5 (3): 95-111.

Medina H, Gomes D 2002. *A Indústria Automobilística Projetando para a Reciclagem*, CETEM.

MMA 2011. Ministério do Meio Ambiente - 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/163_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf. Acesso em: 10 ago. 2016.

Ott L S, Smith B L, Bruno T J 2010. Composition-Explicit Distillation Curves of Waste Lubricant Oils and Resourced Crude Oil: A Diagnostic for Re-Refining and Evaluation. *American J Environ Sci* 6: 523-534. Doi: <https://doi.org/10.3844/ajessp.2010.523.534>.

Papa V, Riquena C A 2011. *Gestão de concessionários de veículos*. Alaúde Editorial, São Paulo: SP.

Pires A, Martinho G 2013. Life cycle assessment of a waste lubricant oil management system. *J Life Cycle Assess* 18: 102-112.

Rogers DS, Tibben-Lembke RS 1999. *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Reno: University of Nevada.

Sellitto MA, Kadel Jr N, Mirian B, Pereira GM, Domingues J 2013. Coprocessamento de cascas de arroz e pneus e inservíveis e logística reversa na fabricação de cimento. *Amb Soci XVI(1)*: 141-162.

SIF-SID 2014. Sindicato Nacional de Frota Circulante. Disponível em: <http://www.frotacirculante.com.br/sstm.html>. Acesso em: 13 de outubro de 2014.

SINDIPEÇAS 2014. Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores. *Anuário* 2014.

SINDIREPA-SP 2014. Sindicato da Indústria de Reparação de Veículos e Acessórios do Estado de São Paulo. Disponível em: http://www.sindirepa-sp.org.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=90:a-quilometragem-media-estimada-da-frota-brasileira-de-veiculos&catid=40:noticias-consumidor&itemid=323. Acesso em: 13 outubro de 2014.

SINDIRREFINO 2015. Sindicato Nacional da Indústria do Refino de Óleos Minerais. Disponível em: <http://www.sindirrefino.org.br/>. Acesso em: 27 fev. 2015.

Tamada I S, Lopes P R M, Montagnoli R N, Bidoia E D 2012. Biodegradation and Toxicological Evaluation of Lubricant Oils. *Bra Arch Biol Tech* 55(6): 951-956. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-83822012000400042>.

Tsambe M Z A, Almeida C F, Lohmann G, Santiago M R, Cybis L F A 2017. Avaliação do Sistema de Gerenciamento de Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados no Brasil. *Tecno-Lógica* 21(2): 57-79.

Ueda A P, Tomaz E 2011. Inventário de emissão de fontes veiculares da região metropolitana de Campinas, São Paulo. *Quim Nova* 34(9): 1496-1500.

Utsev J T, Aho M I, Uungwa S J 2013. Lub Oil Recycling: Environmental and Economic Implications. *Energ Sci Technol* 6(1): 73-78.

Wills W 2008. *O Aumento da Eficiência Energética nos Veículos Leves e suas Implicações nas Emissões de Gases de Efeito Estufa Cenários Brasileiros entre 2000 e 2030*, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 155 p.

Analysis of Waste Generation in Used Automotive Lubricating Filters in Goiás, Brazil

ABSTRACT:

The automotive sector is responsible for the generation of waste that, due to environmental protection laws, must be appropriately disposed of. In this study, we analyzed the generation of materials

contaminated by hydrocarbons, in particular, the residual waste oil resulting from the exchange filters and lubricating oils produced by vehicle manufacturers Fiat, Honda, and Iveco. The research adopted a descriptive and quantitative approach to reach its objectives. We collected the data in national entities representing the sectors linked to the phenomenon studied and in periodic maintenance service records of three authorized dealers of vehicles, in the State of Goiás, between 2014 and 2015. We analyzed the existing residues in the lubricating filters through a procedure of disassembly of these products, developed by the research team. The results showed that the amount of oil used and contaminated by the vehicle fleet is high and requires adequate disposal.

Keywords: Lubricants Filters; Used and Contaminated Lubricant Oil; Sustainability.

Submissão: 30/05/2017

Aceite: 18/12/2017