Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
06 a 10 de Novembro de 2022 | Águas de Lindóia – SP – Brasil

MODELAGEM DO CICLO DE VIDA E ESTIMATIVA DE ECO-INDICADORES DE DISCOS DE VINIL: UM ESTUDO DE CASO

Allan F. Peterline[1], Murilo B. Miuci[1], Francys K. V. Moreira[1]*

1 – Grupo de Embalagens Multifuncionais (GEF^m), Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Rodovia Washington Luís, km 235, São Carlos, CEP 13565-905, SP.

**francys@ufscar.com.br*

RESUMO

O presente trabalho buscou estimar os eco-indicadores para o ciclo de vida de borracha vulcanizada considerando diferentes tratamentos pós-consumo (aterro sanitário, incineração e reciclagem mecânica) e a posterior comparação de tais indicadores com aqueles relativos à aplicação da borracha reciclada na produção do asfalto ecológico. Os eco-indicadores foram estimados utilizando a avaliação do ciclo de vida (ACV) a qual foi realizada de acordo com a norma ISO 14040. A ACV foi aplicada também de modo a comparar os impactos resultantes da reciclagem energética de diferentes classes de borracha (borracha natural, SBR, BR e silicone), A modelagem dos ciclos de vida foi realizada sendo os inventários completados com as databases *Product Environmental Footprint (PEF)* e IDEMAT. Os eco-indicadores *global warming potential* (GWP), *Human toxicity* (HT) (*non-carcinogenic effects*) e *fossil resource scarcity* (FRS) foram calculados utilizando o modelo ambiental ReCiPe Midpoint (H). Em relação à reciclagem energética, a borracha natural apresentou os menores eco-indicadores. O SBR e BR apresentaram impactos intermediários, apresentando também resultados equivalentes, em vista da similaridade de composição. Já a borracha de silicone apresentou os maiores impactos para todos os eco-indicadores analisados. Constatou-se que o asfalto ecológico contendo 20% de borracha reciclada mecanicamente apresentou eco-indicadores menores em relação ao asfalto convencional, exceto para o eco-indicador WC. Isso foi observado majoritariamente pela diminuição da utilização de betume, sendo ele o principal causador dos impactos ambientais estudados. Já o consumo de água mais elevado foi causado pela presença da reciclagem mecânica na obtenção da borracha moída, etapa associada a um alto consumo de energia de hidroelétricas. Os resultados deste trabalho apontam que a pegada ambiental do asfalto é mitigada pela substituição de betume pela borracha de pneu moída. Além disso, quando se faz a produção do asfalto ecológico, naturalmente reduz-se o número de pneus que seriam descartados em aterros ou incinerados, o que reduz ainda mais os possíveis impactos desses sistemas.

Palavras-chave: ACV, formulações, modelagem computacional.

INTRODUÇÃO

O constante aumento de resíduos de borracha tem se tornado um dos maiores problemas ambientais ao redor do mundo, em vista da crescente demanda por artigos elastoméricos destinados aos setores médico, industrial, de produtos domésticos e, principalmente, o setor

automotivo, uma vez que aproximadamente 70% de toda a borracha produzida globalmente é utilizada na fabricação de pneus, tornando seu descarte um fator de preocupação[1].

Apesar das diferentes formas de destinação de pneus usados, um dos métodos mais comuns é depositá-los em aterros. Esse tipo de prática representa um alto risco de incêndios, além de produzir um ambiente propício para a proliferação de roedores, mosquitos e outras pragas, o que leva à contaminação de lençóis freáticos, ar e solo, motivo pelo qual diversas legislações buscam impor medidas para prevenir e reduzir os efeitos negativos gerados[2].

Por conta da estrutura tridimensional formada pelas ligações cruzadas durante o processo de vulcanização, os materiais elastoméricos não são biodegradáveis e não podem ser facilmente reprocessados, como os polímeros termoplásticos, o que ocasiona sérias dificuldades com o gerenciamento e reciclagem desses resíduos pós-produção e pós-consumo, ocasionando problemas tanto no quesito ambiental quanto social e econômico[3]. Logo, faz-se necessário a utilização de rotas alternativas de tratamento, incentivando práticas de reciclagem e reutilização, assim como a aplicação de metodologias de avaliação de impacto, buscando desenvolver tecnologias ambientalmente sustentáveis que auxiliem no gerenciamento desses resíduos.

Este trabalho buscou aplicar a metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) para comparar os potenciais impactos ambientais resultantes da reciclagem energética de diferentes classes de borracha (borracha natural -NR, SBR, BR e silicone), além da reciclagem mecânica da borracha natural (NR) para a produção de asfalto ecológico.

MATERIAIS E MÉTODOS

As simulações de ACV foram realizadas de acordo com a norma ISO 14040[4]. A ACV foi aplicada também de modo a comparar os impactos resultantes da reciclagem energética de diferentes classes de borracha (borracha natural, SBR, BR e silicone), A modelagem dos ciclos de vida foi realizada sendo os inventários completados com os bancos de dados *Product Environmental Footprint* (PEF) e IDEMAT. Os eco-indicadores *global warming potential* (GWP), *Human toxicity* (HT) (*non-carcinogenic effects*) e *fossil resource scarcity* (FRS) foram calculados utilizando o modelo ambiental ReCiPe Midpoint (H).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta um resumo dos indicadores de impacto ambientais obtidos para cada processo. Observa-se que a reciclagem energética de borracha natural (NR) apresenta os maiores benefícios, dentre os materiais analisados, resultando em uma redução de 1140 kg de CO_2 eq emitidos para a atmosfera, especialmente por conta dos menores impactos presentes em sua etapa de produção. O SBR e BR apresentaram emissões intermediárias, com 273 e 387 kg de CO_2 eq, respectivamente, devido às elevadas emissões no processo de produção. Por fim, o silicone apresentou o maior impacto, em vista de sua maior estabilidade térmica e maior gasto energético no processo de incineração.

Observa-se que todas as borrachas analisadas apresentaram impactos negativos, evidenciando a menor liberação de compostos carcinogênicos, quando comparadas às formas tradicionais de combustível. Analogamente aos dados da seção anterior, o silicone se mostrou como a borracha com os maiores impactos, o que pode ser associado à maior quantidade de energia necessária durante sua incineração e maiores emissões de CO_2.

Tabela 1: Indicadores de impacto ambiental de cada borracha considerando a etapa de produção e o descarte por incineração.

Material	Processo	GWP (kg CO_2 eq)	HT (kg 1,4-DCB)	FRS (kg óleo eq)
NR	Produção	2445	0,6840	837
	Incineração	-3585	-1,0470	-1239
SBR	Produção	3916	0,3890	1976
	Incineração	-3643	-1,0640	-1258
BR	Produção	4031	0,0005	2007
	Incineração	-3644	-1,0640	-1259
Silicone	Produção	2470	0,2400	1231
	Incineração	786	-0,3280	-388

Nota-se que a borracha natural foi a única com impactos indicadores negativos, evidenciando a preservação dos recursos fósseis, principalmente por conta de sua origem natural, com menores impactos durante seu processo de produção (Tabela 1). Os demais elastômeros apresentaram impactos altamente similares, com o silicone apresentando valores ligeiramente superiores. Tais fatores podem ser explicados pela origem sintética desses materiais, o que resulta em maiores impactos durante sua fabricação e incineração.

A Figura 1 apresenta os resultados para o indicador GWP para sistemas de tratamento da borracha natural (NR) incluindo aterro sanitário (A), incineração (B), moagem (C) e produção de asfalto ecológico (E). O sistema do asfalto convencional, sem inclusão de NR é representado pelo sistema CAP (D).

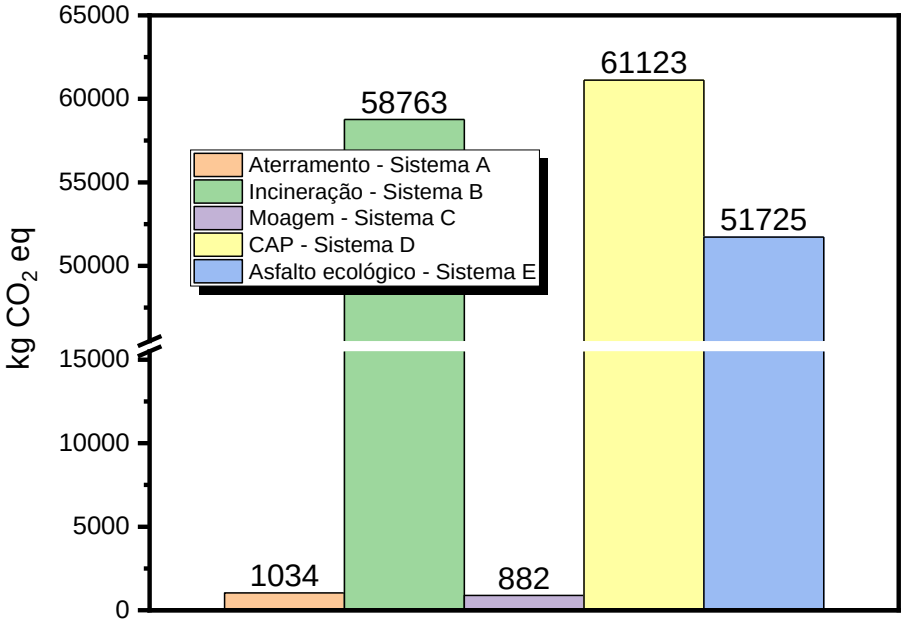

Figura 1 - Resultados dos indicadores referentes à categoria mudança climática.

Nota-se que os sistemas que detiveram menores indicadores GWP foram os sistemas A e C, os quais correspondem ao ciclo de vida da NR com destino em aterro sanitário e a reciclagem mecânica (definido pelo processo de moagem), respectivamente. Por outro lado, o indicador GWP foi entre 51 e 61 vezes maior nos sistemas B, D e E, os quais correspondem ao ciclo de vida da BR com destino por incineração, produção de CAP e produção de asfalto

ecológico, respectivamente. Dentre todos os apresentados, o que apresenta o menor impacto é a reciclagem mecânica (moagem), porém similar ao descarte em aterro sanitário.

Os impactos do ciclo de vida do asfalto convencional (sistema D) advém da produção de betume (resultados não mostrados), o que é justificado pela queima de combustíveis, resultando na emissão de gases na atmosfera – como é o caso das torres de destilação utilizadas na separação do petróleo. É interessante notar que na produção de asfalto ecológico ocorre a redução em 20% de betume, o qual é substituído por NR; o impacto devido a essa substituição também é diminuído, em aproximadamente 15% – não sendo maior pela presença da queima de gás natural em ambos os sistemas (D e E).

CONCLUSÕES

A ACV permitiu identificar a borracha natural como o material que resulta nos menores impactos quando submetida ao processo de reciclagem energética. Sua alta capacidade calorífica, aliada à sua origem natural e renovável e baixos impactos no processo de produção a qualificam como uma excelente opção para as indústrias de co-processamento. Dentre os vários destinos estudados para a borracha natural, a reciclagem mecânica mostrou ser a escolha de menores impactos ambientais, sendo a principal vantagem de a utilizar na fabricação do asfalto ecológico devido à redução de betume necessária para fabricar o mesmo volume de CAP. As reduções de impacto ocorrem, aproximadamente, de forma proporcional a adição de borracha natural reciclada mecanicamente, conforme ilustrado para o indicador que mede o potencial de aquecimento global dos ciclos de vida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao DEMa/UFSCar e FAPESP pelo suporte financeiro e de infraestrutura.

REFERÊNCIAS

1. NUZAIMAH, M et al. Recycling of waste rubber as fillers: A review. Mater. Sci. Eng, v. 368, p. 1-9, 2017.
2. ASARO, L. Recycling of rubber wastes by devulcanization. Resour. Conserv. Recycl., v. 133, p. 250-262, 2018.
3. FORMELA, K. Sustainable development of waste tires recycling technologies e recent advances, challenges and future trends. Adv. Ind. Eng. Polym. Research, v. 4, p. 209-222, 2021.
4. ISO, Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework. ISO 14040:2006(E). 2006.

APPLICATION OF RECYCLED RUBBER IN ECOLOGICAL ASPHALT PRODUCTION: LIFE CYCLE MODELING AND ESTIMATION OF ECO-INDICATORS

ABSTRACT

The present work sought to estimate the eco-indicators for the life cycle of vulcanized rubber considering different post-consumption treatments (landfill, incineration, and mechanical recycling) and the subsequent comparison of such indicators with those related to the

application of recycled rubber in the production of ecological asphalt. The eco-indicators were estimated using the life cycle assessment (LCA) which was carried out in accordance with ISO 14040 and 14044 standards. The LCA was also applied to compare the impacts resulting from the energy recycling of different classes of rubber (natural rubber, SBR, BR, and silicone), Life cycle modeling was carried out and inventories were completed with the Product Environmental Footprint (PEF) and IDEMAT databases. The global warming potential (GWP), freshwater ecotoxicity (FWE), Human toxicity (HT) (non- and carcinogenic effects), fossil resource scarcity (FRS) and water consumption (WC) eco-indicators were calculated using the ReCiPe Midpoint environmental model (H). In relation to energy recycling, natural rubber presented the lowest eco-indicators. The SBR and BR presented intermediate impacts, also presenting equivalent results, in view of the similarity of composition. On the other hand, silicone rubber presented the greatest impacts for all the analyzed eco-indicators. It was found that the ecological asphalt containing 20% of mechanically recycled rubber presented lower eco-indicators in relation to the conventional asphalt. This was mainly observed by the decrease in the use of bitumen, which is the main cause of the environmental impacts studied. The higher water consumption was caused by the presence of mechanical recycling in obtaining ground rubber, a step associated with a high energy consumption of hydroelectric plants. The results of this work indicate that the environmental footprint of asphalt is mitigated by replacing bitumen with ground tire rubber. In addition, when ecological asphalt is produced, the number of tires that would be disposed of in landfills or incinerated is naturally reduced, which further reduces the possible impacts of these systems.

Keywords: *LCA, formulations, computational modeling.*