



# A7<sup>th</sup> Academic

INTERNATIONAL WORKSHOP  
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

## Como Melhorias Simples Impactam na Ecoeficiência do Transporte Rodoviário de Cargas

VISCARDI, T.B.<sup>a</sup>, HAMMES, G.<sup>a\*</sup>, SOUZA, E.D.<sup>a</sup>, RODRIGUEZ, C.M.T.<sup>a</sup>, ROJAS, R.H.<sup>b</sup>,  
MOJICA, J.C.<sup>b</sup>

*a. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil*

*b. Universidad de la Costa, Barranquilla, Colômbia*

*\*Corresponding author, [gabihammes15@gmail.com](mailto:gabihammes15@gmail.com)*

### Resumo

Atualmente a procura pela diminuição do impacto ambiental gerado é um dos objetivos das organizações devido as pressões externas e internas, que fazem com que as empresas busquem por soluções ambientalmente corretas para suas operações. Entretanto, a dificuldade é tornar essas práticas verdes economicamente viáveis. A ecoeficiência tem como intuito mensurar o impacto causado e compara-lo com o valor do produto e/ou serviço. Esse indicador possibilita gerar informação para tomada de decisão de forma a introduzir uma gestão ambiental considerada financeiramente viável. Este artigo baseou-se em um modelo de avaliação da ecoeficiência do setor de transportes de cargas, o qual, foi testado em uma transportadora e apresentou a ecoeficiência dos veículos, bem como, sugestões de melhorias. Neste artigo buscou-se simular esses resultados em cenário ideal futuro para compreensão de como maximizar a ecoeficiência neste setor. Percebeu-se que as melhorias propostas têm maior impacto na emissão de carbono gerada nos transportes e aumentam o indicador de ecoeficiência da organização. Isto demonstra que, ao aplicar-se medidas simples as empresas conseguem bons resultados em caráter ambiental e financeiro. O artigo ainda apresenta comparação com cenário atual e discussões sobre o assunto.

*Palavras-chave: Transportes. Avaliação de desempenho. Ecoeficiência.*

### 1. Introdução

As discussões ambientais vêm se intensificando na última década, os debates relacionados aos impactos ambientais, agravamento na poluição e a escassez dos recursos naturais estão impulsionando as empresas, sociedade e governo a investirem em formas de lidar com a questão ambiental. Uma destas medidas pode ser a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável nas organizações, como a ecoeficiência que possibilita a criação de bens e serviços que otimizam o uso de recursos (CAIADO et al, 2017) e, assim, evitam danos ambientais. A ecoeficiência pode ser aplicada no setor de transportes de cargas para balancear os aspectos econômicos e ambientais das empresas (VISCARDI, 2017).

Quanto aplicada nos transportes, a ecoeficiência é mais complexa devido à grande quantidade de variáveis, subjetividade dos envolvidos e poucos métodos de avaliação de desempenho adequados ao contexto (MACHADO et al., 2006). Avaliar esse indicador é importante para garantir a criação de riqueza sem comprometer as necessidades das gerações futuras (OLIVEIRA; CAMANHO; ZANELLA,

2017) com o objetivo de reduzir a quantidade de recursos necessários, aumentar a produtividade e garantir que mais produtos serão obtidos a partir de menos matérias-primas (CAIADO et al, 2017).

Nesse sentido, o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem na avaliação de desempenho do serviço de transporte é necessário (BALLOU, 2006), pois este setor é responsável por cerca de 24% da emissão de dióxido de carbono na atmosfera (IEA, 2017). Viscardi (2017) propôs um modelo para a avaliação da ecoeficiência dos transportes de carga. Este modelo foi aplicado em uma transportadoras e melhorias foram sugeridas para aumentar a ecoeficiência da empresa. A presente pesquisa tem como objetivo simular um cenário futuro para esta transportadora com o intuito de identificar o impacto das melhorias sugeridas nos indicadores. Após esta introdução o conceito de ecoeficiência é apresentado no referencial teórico, seguido pela metodologia adotada. No tópico seguinte os resultados e discussões da simulação são apresentados. O artigo se encerra com as conclusões.

## 2. Referencial Teórico

O conceito de ecoeficiência é frequentemente utilizado como uma forma de desvendar as interações entre os impactos ambientais e o crescimento econômico (YU et al, 2016). O *World Business Council For Sustainable Development* (WBCSD) (2000) define a ecoeficiência como a entrega de produtos competitivos e serviços que satisfazem as necessidades dos clientes enquanto reduzir de forma progressiva os impactos ambientais e a intensidade de recursos ao longo do ciclo de vida.

A ecoeficiência também é conceituada como um uma forma de atingir o desenvolvimento sustentável (SCHALTEGGER; STURM, 1990). Afinal, Elkington (1994) afirmar que a sustentabilidade incorpora três dimensões desempenho: social, ambiental e financeira, conhecido como *Triple Botton Line*. Considerando-se está estreita relação entre as esferas ambiental e econômica, o WBCSD (2000) elaborou sete elementos necessários para aplicabilidade da ecoeficiência, sendo eles:

- Redução do uso de material;
- Reduzir a intensidade do consumo de energia;
- Reduzir a dispersão de compostos tóxicos;
- Aumentar a reciclagem;
- Maximizar o uso das energias renováveis;
- Vida prolongada do produto;
- Aumento da intensidade do serviço;

Segundo Rezende (2015, p.24), a Ecoeficiência é “como a síntese da eficiência econômica e ambiental em paralelo” que possibilita alcançar dois dos três pilares do *Triple Botton Line*. Em resumo, ecoeficiência é a medida da relação entre o valor do que foi produzido (renda, bens e serviços de alta qualidade, empregos, PIB, etc.) e os impactos ambientais (adicionados) do produto ou serviço (ZHANG et al., 2008), conforme a Equação (1) do WBCD (2000).

$$\text{Ecoeficiência} = \frac{\text{valor do produto/ serviço}}{\text{impacto ambiental}} \quad \text{Eq. (1)}$$

A Equação (1) demonstra que quando ocorre um aumento na variável “valor do produto/serviço” e/ou uma redução na variável “impacto ambiental” o resultado é uma melhora na medida da ecoeficiência e, conseqüentemente, no desempenho corporativo (GUIMARÃES; LEAL JÚNIOR, 2017). Isso permite que às empresas tornem-se mais responsáveis na visão ambiental e mais lucrativas no âmbito econômico, incentivando-as à inovação e à competitividade (WBCSD, 2000).

A função desse indicador é focalizar a utilização adequada de recursos materiais e energéticos, com o intuito de reduzir custos e/ou maximizar lucros (VISCARDI, 2017). No setor de transporte a implementação da ecoeficiência é algo necessário. Afinal, é considerado uma das principais integrantes do custo logístico (VISCARDI, 2017) e impacta diretamente no meio ambiente por meio da queima do combustível, além de incentivar a produção do mesmo (ERIKSSON, BUNGE e LOUGRER, 1996; VASCONCELLOS, 2008). Esse setor é responsável por aproximadamente 45% da emissão total brasileira relacionada à combustão (VASCONCELLOS, 2008; HIRATSUKA, 2009; IEMA, 2017).

### 3. Métodos

O presente artigo tem como base o estudo de Viscardi (2017), que propôs um modelo para medir a ecoeficiência dos transportes de cargas. O modelo é composto por quatro indicadores de desempenho apresentados nas Equações (2), (3), (4) e (5), que resultam em um único indicador integrativo para medir a ecoeficiência dos transportes por meio de uma média ponderada, onde os pesos de cada indicador foram calculados com o auxílio do processo de hierarquia analítica (AHP) e de questionários realizados com especialistas. Os resultados obtidos para cada indicador passam por uma normalização para que o cálculo do indicador integrativo seja possível. Os valores podem variar entre 0 e 1, onde o indicador com máximo desempenho é igual a 1. O modelo foi aplicado pelo autor em uma transportadora da região de Florianópolis (Santa Catarina – Brasil), onde os indicadores são analisados e melhorias no processo são sugeridas.

$$I1 = \frac{\text{Valor monetário do produto transportado}}{\text{Emissão de CO}_2 \text{ equivalente}} \quad (2)$$

$$I2 = \frac{\text{Valor monetário do produto transportado}}{\text{Consumo total de energia}} \quad (3)$$

$$I3 = \frac{\text{Volume transportado}}{\text{Emissão de CO}_2 \text{ equivalente}} \quad (4)$$

$$I4 = \frac{\text{Volume transportado}}{\text{Consumo total de energia}} \quad (5)$$

De acordo com Bourne et al. (2000), um sistema de avaliação de desempenho pode ser dividido em três fases: desenho das medidas de desempenho; a implementação; e o uso destas medidas. Ou seja, é necessário que o modelo seja implementado, alimentado e retroalimentado ao longo do tempo para que suas informações sejam úteis para os tomadores de decisão. Viscardi (2017) desenhou as medidas de desempenho e implementou-as em uma empresa, mas não acompanhou a implementação de melhorias e a retroalimentação do sistema. O Quadro 1 apresenta os resultados obtidos pelo autor para cada veículo.

Quadro 1 – Indicadores implementados na empresa

Alternativa	Impacto I1 (R\$/kg CO2e)	Impacto I2 (R\$/MJ)	Impacto I3 (t/kg CO2e)	Impacto I4 (t/MJ)	Indicador Integrativo (II)
Veículo 1	0,207	0,142	0,066	0,039	0,455
Veículo 2	0,220	0,151	0,068	0,040	0,479
Veículo 3	0,232	0,160	0,199	0,119	0,709
Veículo 4	0,280	0,193	0,208	0,124	0,805
Veículo 5	0,280	0,193	0,273	0,163	0,908
Veículo 6	0,239	0,164	0,330	0,197	0,930
Veículo 7	0,277	0,191	0,246	0,147	0,860

Fonte: Viscardi (2017)

Os valores apresentados no indicador integrativo do Quadro 1 apresentam um ranking entre os veículos de acordo com o seu desempenho. Os veículos mais ecoeficientes são representados pela cor verde. Percebe-se que os veículos 1 e 2 possuem baixo desempenho e os veículo 3 e 4 apresentam desempenho mediano enquanto os demais têm desempenho desejável. As melhorias propostas por Viscardi (2017) dizem respeito a redução do consumo de combustível, que pode ser feito por meio do alinhamento das rodas e adequada calibração dos pneus (o desalinhamento e uma calibração não

adequada podem aumentar de 15-20% o consumo); utilização de materiais mais leves na estrutura do veículo, pois o peso do veículo e da carga influenciam o consumo; uso de defletores e aprimoramento da aerodinâmica do veículo o que diminui a reação exercida pelo ar ao movimento e pode diminuir o consumo em até 17,1%; treinamento dos motoristas para utilizarem a eco condução, onde as acelerações, frenagens e trocas de marcha são realizadas com o cuidado de se diminuir o consumo, que pode chegar a 3,1%; a diminuição no uso de condicionadores de ar; e manutenção preventiva do veículo.

Desta forma, é possível simular um cenário futuro de curto prazo onde a empresa implementaria algumas das sugestões de Viscardi (2017). Os indicadores podem ser recalculados e comparados com os resultados obtidos pelo autor com o intuito de identificar o impacto da aplicação das melhorias na ecoeficiência da empresa.

#### 4. Simulação de cenário futuro

Em um cenário futuro de curto prazo, a empresa deve priorizar os veículos 1 e 2 devido ao seu baixo desempenho. Algumas ações podem ser realizadas de forma a diminuir o consumo de combustível dos veículos. Em um curto prazo a empresa pode realizar um treinamento com seus motoristas para a eco condução, onde todos os veículos poderão diminuir em 3,1% o seu consumo de combustível; e realizar a manutenção preventiva, o alinhamento das rodas e calibração adequada dos pneus periodicamente, a diminuição no consumo fica entre 15 e 20%. Estas são ações que podem se tornar rotineiras na empresa e aplicadas a todos os veículos. Devido ao maior custo, a instalação de defletores deve ser feita inicialmente nos veículos 1 e 2, que merecem maior atenção e, em um cenário de longo prazo, podem ser instalados nos outros veículos também pois podem resultar em uma redução de 17,1% no consumo. A implantação destas melhorias resulta na sobreposição das porcentagens de redução de cada medida, ou seja, os veículos 1 e 2 terão uma redução de 40,2% no consumo de combustível (3,1%+20%+17,1%) e os demais veículos terão uma redução de 23,1% (3,1%+20%), para um cenário otimista de máxima redução. Todos os veículos da transportadora utilizam como combustível o óleo diesel. O Quadro 2 apresenta algumas informações básicas de cada veículo.

Quadro 2 – Informações dos veículos

	Capacidade [m <sup>3</sup> ]	Nº médio de viagens por mês	Carga transportada [t/mês]	Valor transportado em NF's [R\$/mês]	Autonomia média [km/L]	Quilometragem média [km/mês]
Veículo 1	5	350	44	R\$1.137.000,00	6,8	3022
Veículo 2	5	371	45	R\$1.205.000,00	6,2	2747
Veículo 3	25	391	132	R\$1.270.000,00	4,7	2081
Veículo 4	25	489	143	R\$1.588.000,00	4,8	2201
Veículo 5	35	402	154	R\$1.306.000,00	4	1507
Veículo 6	35	276	150	R\$ 896.000,00	3,8	1152
Veículo 7	90	800	280	R\$2.598.000,00	2,9	2200

Fonte: Viscardi (2017)

Para o cálculo do consumo de combustível mensal divide-se a quilometragem média mensal pela autonomia média de cada veículo. As reduções provenientes das melhorias realizadas são aplicadas ao consumo de combustível e então é possível recalcular a autonomia dos veículos. Apenas estes valores sofrem alteração, os demais valores continuam os mesmos, pois as melhorias sugeridas não têm influência sobre eles, que são: capacidade dos veículos, número de viagens realizadas, carga transportada, valor transportado, autonomia média e quilometragem média dos veículos. Desta forma, o Quadro 3 apresenta a nova autonomia dos veículos, o consumo de combustível médio, a emissão de carbono equivalente e o consumo de energia de cada veículo para o cenário atual, avaliado por Viscardi (2017), e para o cenário futuro, com a redução de consumo de combustível.

Quadro 3 – Parâmetros de influências ambientais dos veículos de Viscardi (2017) e do cenário futuro

	Auto-nomia [Km/L]	Consumo de combustível [L/mês]		Emissão de CO2 equivalente [kg CO2e/mês]		Consumo total de energia [MJ/mês]	
		Cenário Atual	Cenário Futuro	Cenário Atual	Cenário Futuro	Cenário Atual	Cenário Futuro
Veículo 1	11,4	444	266	1169	699	15777	9434
Veículo 2	10,4	443	265	1165	697	15729	9406
Veículo 3	6,1	443	340	1164	895	15718	12087
Veículo 4	6,2	459	353	1206	927	16278	12518
Veículo 5	5,2	377	290	991	762	13375	10285
Veículo 6	4,9	303	233	797	613	10762	8276
Veículo 7	3,8	759	583	1995	1534	26931	20710

Fonte: Autores

Os valores de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente e de consumo de energia são resultado da quantidade e do tipo de combustível consumido. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006), para a combustão de cada litro de diesel comum, combustível utilizado por todos os veículos da empresa, em torno de 35,5MJ de energia é fornecida e 2,63kg de dióxido de carbono equivalente é gerado.

A partir dos dados do Quadro 3 e das Equações (2), (3), (4) e (5), é possível calcular novos valores dos indicadores para cada veículo. O Quadro 4 apresenta os novos valores já normalizados para possibilitar a comparação com os resultados no Quadro 1.

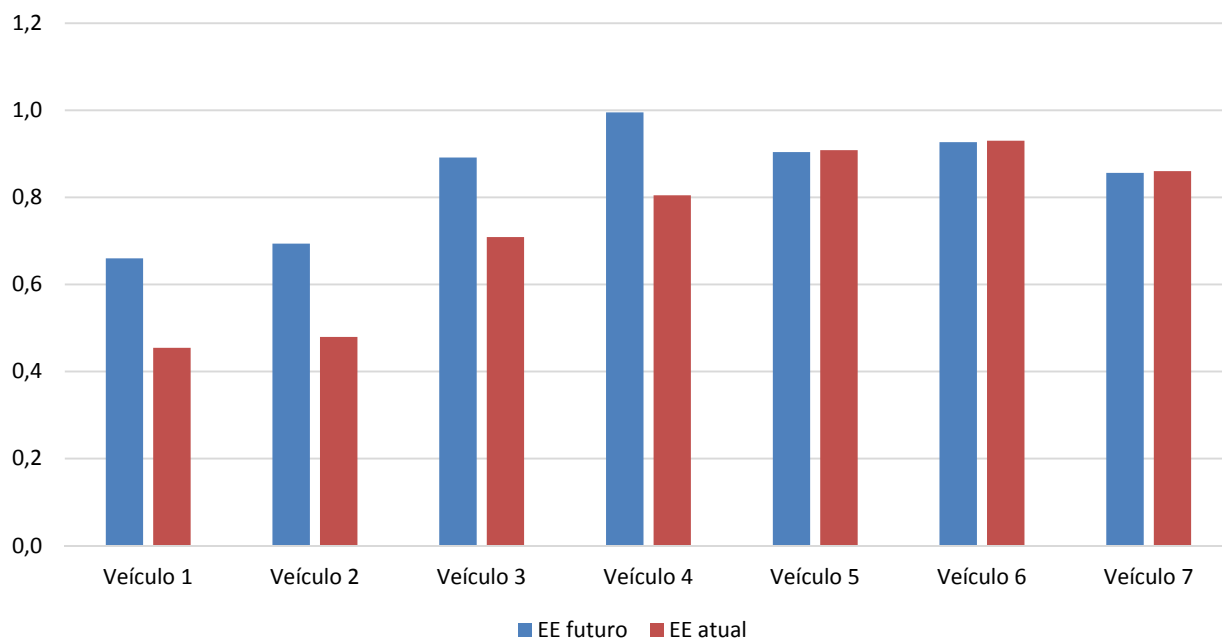
Quadro 4 – Indicadores para o cenário futuro

Alternativa	Impacto I1 [R\$/kg CO2e]	Impacto I2 [R\$/MJ]	Impacto I3 [t/kg CO2e]	Impacto I4 [t/MJ]	Ili
Veículo 1	0,264	0,181	0,135	0,080	0,660
Veículo 2	0,280	0,193	0,138	0,082	0,694
Veículo 3	0,230	0,158	0,316	0,188	0,892
Veículo 4	0,277	0,191	0,330	0,197	0,995
Veículo 5	0,278	0,191	0,273	0,163	0,904
Veículo 6	0,237	0,163	0,330	0,197	0,927
Veículo 7	0,274	0,189	0,246	0,147	0,856

Fonte: Autores

A Figura 1 apresenta um comparativo do desempenho de cada veículo no indicador integrativo (II) calculado por Viscardi (2017) e no EE simulado. Percebe-se um aumento considerável na ecoeficiência dos veículos 1, 2, 3 e 4.

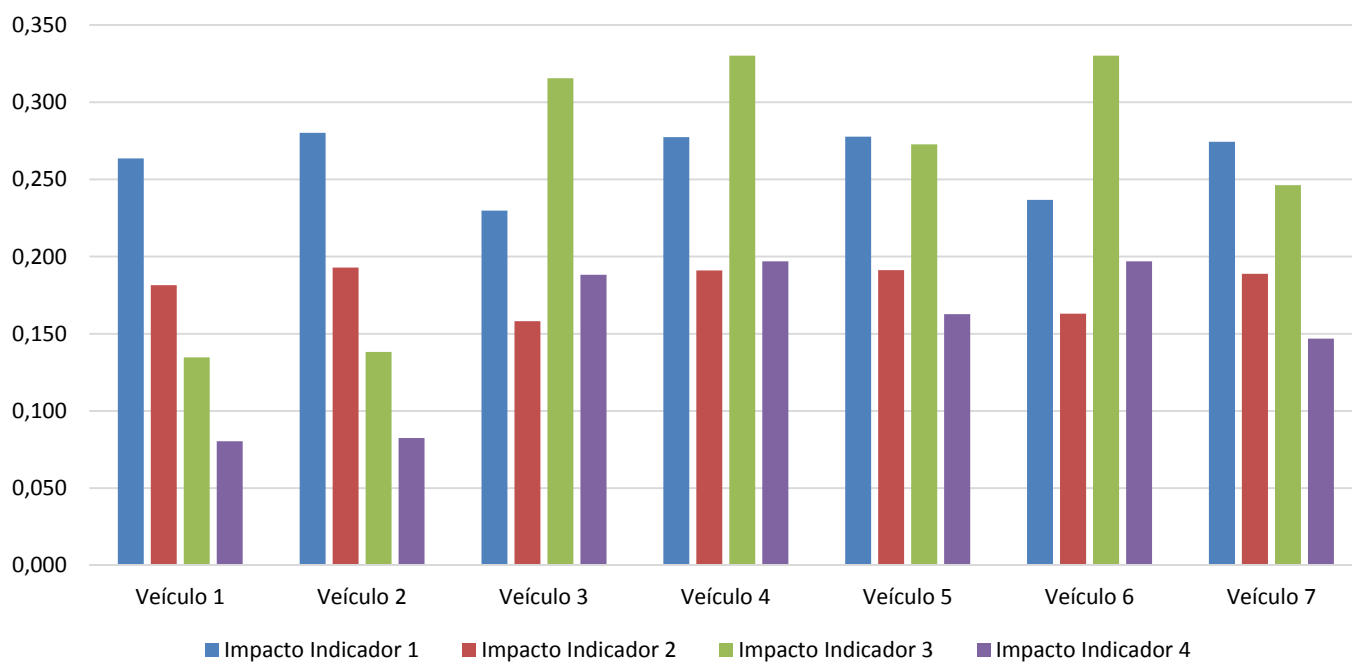
## Desempenho dos Veículos - Indicador Integrativo (II)



**Fig. 1.** Comparativo entre os indicadores integrativos de ecoeficiência atual, calculados por Viscardi (2017), e para o cenário futuro.

Embora todos os indicadores apresentem bom desempenho, os veículos 1 e 2 continuam a relatar o menor valor quando comparados com os demais. O motivo disso pode ser melhor identificado com o auxílio da Figura 1, que mostra o desempenho de cada veículo em cada um dos quatro indicadores que compõem o indicador integrativo.

## Impacto dos indicadores no indicador integrativo



**Fig. 2.** Comparativo do impacto dos indicadores no indicador integrativo de ecoeficiência.

Para os veículos 1 e 2 o indicador 1 tem maior peso e eleva o seu valor no I.I., isso se deve ao fato de estes veículos possuírem alta autonomia (Km/L), desta forma seu consumo de combustível é menor. Os indicadores 3 e 4 tem baixo desempenho e o motivo está na distância das viagens realizadas. Apesar da alta autonomia e realizar um baixo número de entregas, os veículos 1 e 2 possuem capacidade inferior aos demais e são utilizados para entregas em regiões de menor densidade populacional. No Quadro 2 o veículo 1 se destaca com a maior quilometragem rodada, seguido pelo veículo 2, que possui as mesmas características. O cálculo dos indicadores 3 e 4 consideram a carga transportada pela emissão gerada ou energia consumida, logo, os veículos 1 e 2 acabam por ter um baixo desempenho pois transportam menor quantidade de carga para uma maior distância.

O veículo 4 apresenta o maior desempenho para o cenário simulado, chegando próximo a 1. Este veículo transporta a segunda maior carga (em quantidade e em valor monetário), ficando atrás somente do veículo 7 neste quesito. O que faz seu desempenho ser maior que o do veículo 7 é a sua autonomia, que chega a ser 60% maior. O veículo 4 se destaca ainda pelo seu alto desempenho no indicador 3, que, junto com o veículo 6, possuem o maior valor entre os veículos da empresa.

Ao analisar cada um dos indicadores os veículos 3, 4, 5, 6 e 7 possuem desempenho parecido, onde se destacam nos indicadores 1, que envolve o valor monetário transportado pela emissão de CO<sub>2</sub>, e 3, a massa transportada pela emissão de CO<sub>2</sub>. Assim, é perceptível que as melhorias implementadas têm maior impacto na emissão de carbono dos veículos. São necessárias ações que tenham impacto também no consumo de energia pelo motor. Sugere-se a empresa a troca destes caminhões por veículos mais novos com maior eficiência do motor e, se possível, que utilizem combustíveis com menor taxa de emissão de CO<sub>2</sub>.

## 5. Conclusões

Atualmente, percebe-se ainda uma ênfase nas questões financeiras e econômicas, isto é, as empresas buscam aplicar métodos e práticas que maximizam os lucros. Entretanto, a sociedade e o governo vêm cobrando cada vez mais por uma aplicabilidade ambientalmente correta. Este trabalho teve o intuito de mostrar formas de trabalhar esses dois termos por meio da ecoeficiência. Afinal, ecoeficiência busca um equilíbrio entre o retorno financeiro e o impacto ambiental.

O presente artigo baseou-se em um modelo estruturado para auxiliar na tomada de decisão na área logística quanto ao desempenho dos veículos utilizados por transportadoras. Deste modo, o artigo buscou aplicar alternativas propostas no trabalho de Viscardi (2017) e simular se as sugestões de melhoria realmente impactam a ecoeficiência dos veículos testados no modelo.

A simulação possibilitou comparar a realidade atual da transportadora e a aplicação de melhorias para maximizar a ecoeficiência da logística. O ponto crucial do trabalho está pautado na simulação dessas práticas verdes aplicadas no modelo para auxiliar na tomada de decisão da empresa estudada. Percebe-se que as formas propostas realmente diminuem o impacto ambiental e tornam a logística ambientalmente correta.

Recomenda-se simular a troca de combustíveis para os veículos a fim de verificar a ecoeficiência e o investimento financeiro para adaptar a frota em veículos menos poluentes. Essas alternativas permitem verificar o comportamento da variável em relação a medidas futuras e auxiliar na tomada de decisão. Pode-se ainda, adaptar o modelo para compor outras variáveis como pneus e óleos. Por fim, ressalta-se a importância na continuidade de estudos sobre a minimização de impactos ambientais na logística como um todo, tanto nos fluxos diretos quanto reversos.

## Referências

Caiado, R. G. G., de Freitas Dias, R., Mattos, L. V., Quelhas, O. L. G., & Leal Filho, W. (2017). Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency-A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 165, 890-904.

- CSCMP (2013). Council of Supply Chain Management Professionals. Supply chain management. Glossary of Terms.
- De Almeida Guimarães, V., & Junior, I. C. L. (2017). Performance assessment and evaluation method for passenger transportation: a step toward sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 297-307.
- ELKINGTON, J. (1994). Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. *California Management Review*, 36(2), 90-100.
- Eriksson, E., Blinge, M., & Lövgren, G. (1996). Life cycle assessment of the road transport sector. *Science of the Total Environment*, 189, 69-76.
- HIRATSUKA, André (2009). Análise de impactos ambientais e econômicos em transporte multimodal. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira (SP).
- IEMA (2017). Instituto de Energia e Meio Ambiente (Brasil). Emissões dos setores de energia: Processos industriais e uso de produtos. São Paulo: IEMA.
- IEA (2017). International Energy Agency. CO2 emissions from fuel combustion: overview. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustion2017Overview.pdf> acessado em Abril/2007
- IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- MACHADO, R. R., SILVA, M. L., MACHADO, C. C. e LEITE, H. G (2006). Avaliação do desempenho logístico do transporte rodoviário de madeira utilizando rede de petri em uma empresa florestal de Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.6, p.999-1008.
- OLIVEIRA, Renata; CAMANHO, Ana S.; ZANELLA, Andreia. Expanded eco-efficiency assessment of large mining firms. *Journal of cleaner production*, v. 142, p. 2364-2373, 2017.
- REZENDE, Angela Maria (2015). Eco-eficiência: um instrumento para enfrentar as exigências da Escrituração Fiscal Digital (EFD). Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Schaltegger S., Sturm A. Ökologische Rationalität (1990). German/in English: Environmental rationality. *Die Unternehmung*, 4, pp. 117-131.
- VISCARDI, Tiago Benincá (2017). Modelo para avaliação da ecoeficiência aplicado em uma empresa de transporte rodoviário de cargas. 2017. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de (2008). Transporte e Meio Ambiente: Conceitos e informações para análise de impactos. São Paulo: Annablume.
- WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2000). WORLD RESOURCES INSTITUTE. Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance. World Resources Inst.
- ZHANG, Bing et al (2008). Eco-efficiency analysis of industrial system in China: A data envelopment analysis approach. *Ecological Economics*, [s.l.], v. 68, n. 1-2, p.306-316.