

Benefícios Energéticos e Ambientais da Utilização de Triciclos Elétricos em Centros Urbanos no Brasil

Luiz Artur Pecorelli Peres

Alan de Paula Faria Ferreira

André Rodrigues Krempser

Cleiton Magalhães Freitas

Thiago Santos Ferreira

XIV CBE Congresso Brasileiro de Energia

Rio de Janeiro

2012

Rio de Janeiro

**Benefícios Energéticos e Ambientais da
Utilização de Triciclos Elétricos em Centros Urbanos no Brasil**

Autores:

Luiz Artur Pecorelli Peres, D. Sc. (lapp_uerj@yahoo.com.br)

Alan de Paula Faria Ferreira – Estudante (anfera@hotmail.com)

André Rodrigues Krempser – Estudante (arodrigues2007@hotmail.com)

Cleiton Magalhães Freitas – Engenheiro (cleiton.cmf@gmail.com)

Thiago Santos Ferreira – Estudante (thisanfer@yahoo.com.br)

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Centro de Ciência e Tecnologia – CCT

Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas – LSPV

Grupo de Estudos de Veículos Elétricos - GRUVE

Endereço: Rua Fonseca Telles, 121, Bloco Anexo, 2º andar, sala L-15

Rio de Janeiro, RJ CEP: 20940-903

Tel: (21) 2332-4735 Ramal: 244 ou 245 / Fax (21) 2332-4735 Ramal 244

Endereço Eletrônico: lspv@uerj.br ou lapp_uerj@yahoo.com.br

Resumo: A seção V do texto *The Future we want*, resultante da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável - RIO + 20 enfatiza os temas relativos à eficiência energética nos setores de transporte e a adoção de incentivos com este fim. O grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE da UERJ desde a sua fundação em 2001 vem se dedicando a este tema. Em 2011 a Associação Brasileira do Veículo Elétrico – ABVE alertou que apesar da interessante iniciativa em prol da mobilidade urbana quanto à utilização de triciclos para movimentação de cargas no centro da cidade do Rio de Janeiro e adjacências, tais veículos funcionam à combustão interna. Esta observação motivou um estudo realizado pelo GRUVE com o objetivo de avaliar os benefícios energéticos e ambientais, caso estes triciclos pudessem dispor de tração elétrica. O trabalho constata para esta opção a existência de benefícios econômicos, energéticos e ambientais.

1 Introdução e Objetivos

Entre os eventos de destaque associados à Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável ocorrida em junho de 2012 na cidade do Rio de Janeiro sob a

denominação de RIO + 20 aludindo ao encontro ocorrido em 1992 destacou-se o Fórum Global em Mobilidade Elétrica que ocorreu no Espaço Global Eletrobrás Furnas e no qual foi evidenciada pelas autoridades, especialistas e participantes a importância dos sistemas de propulsão veicular elétrica no que concerne às metas contidas em um dos documentos resultantes da Conferência ao qual se denominou *The future we want*. A seção V dedicada às áreas temáticas e questões inter setoriais deste documento enfatiza os temas relativos à energia destinada ao transporte, em especial nos grandes centros urbanos. As considerações mencionadas neste texto corroboram trabalhos anteriores desenvolvidos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UERJ – PEAMB que tratou da *Avaliação das Emissões Atmosféricas Causadas Por Motocicletas no Estado do Rio de Janeiro e Benefícios Ambientais do Uso de Tração Elétrica Nestes Veículos*, [DUARTE, Daisy Lucid, 2006] permitiu apontar uma redução considerável de emissões neste Estado caso fossem adotadas políticas públicas para a introdução destes veículos com tração elétrica. Estas conclusões e recomendações constituíram uma base para que fosse demonstrada a aplicação da energia solar fotovoltaica no reabastecimento de ciclomotores e motocicletas em outro trabalho que se sucedeu *Experiência de Recarga de Moto Elétrica Através de Rede Elétrica Local e de Célula Fotovoltaica - Análise Comparativa Sob o Ponto de Vista de Geração de Harmônicos* [PECORELLI, L.A.; PEÇANHA, M. L. et al. 2007]. Este último foi desenvolvido através de uma pesquisa do GRUVE aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL em parceria com a empresa AMPLA – Energia e Serviços S.A. Posteriormente, tiveram lugar diversos estudos sobre a legislação automotiva no Brasil através de uma parceria entre o GRUVE e o Laboratório de Políticas Públicas e Justiça Fiscal – LAPPJUS da UERJ [DOMINGUES, J.M. et PECORELLI, L. A., 2011], que vêm indicando as iniciativas para a diminuição da intensidade de energia consumida pelo setor de transporte no Brasil e a necessidade da alteração da excessiva carga tributária sobre veículos elétricos que constitui um dos maiores empecilhos para o desenvolvimento desta tecnologia, ainda que a sua matriz energética seja bem apropriada para a sua adoção. De fato, o texto *The future we want*, chama a

atenção a este respeito quando afirma na página 24 que “*We also recognize the importance of promoting incentives in favor of, and removing disincentives to, energy efficiency and the diversification of the energy mix, including promoting research and development in all countries...*”(“ Nós reconhecemos a importância da promoção de incentivos em favor da remoção de desincentivos à eficiência energética e à diversificação do mix de energia, incluindo a promoção da pesquisa e desenvolvimento em todos os países..”). Esta frase expressa muito bem a situação desfavorável que ocorre no país tanto no campo legislativo e regulatório como no campo energético visto que o consumo de energia do setor de transporte no Brasil é somente superado pelo setor industrial e especificamente no Estado do Rio de Janeiro o transporte é o primeiro e maior consumidor de energia conforme os balanço energético publicado pelo Ministério de Minas e Energia [BRASIL, MME, 2012]. Isto se explica pela histórica concentração do modal rodoviário que utiliza os processos de combustão interna para obtenção da força motriz de tração. Devido a sua pouca eficiência verifica-se atualmente a possibilidade efetiva do uso da tração elétrica tendo em vista os avanços tecnológicos da eletrônica, dos conversores eletromecânicos de energia e das fontes eletroquímicas. Vale citar que a diminuição do consumo de combustíveis é patente já que propulsão elétrica pode alcançar reduções que alcançam 2/3 conforme testes apresentados no trabalho *Electric Vehicles Conquer Brazilian Streets* [PECORELLI PERES, 2009] considerando-se condições similares de veículo e trajeto. É notória a diversificação de fontes primárias possibilitadas para o reabastecimento do veículo elétrico ao contrário dos veículos convencionais, cujas emissões atmosféricas se acumulam de forma crescente pelo aumento das frotas com graves conseqüências no que tange à qualidade do ar. Outro aspecto favorável diz respeito ao conceito que a literatura técnica denomina de “*well to wheel analysis*” [LARMINE, James; LOWRY, John, 2003] que mostra a superioridade dos processos de produção e distribuição de energia elétrica ao incorporar o abastecimento do transporte elétrico, inclusive rodoviário, quando se compara com o complexo sistema de produção de combustíveis e sua distribuição até chegar aos tanques dos veículos convencionais. A compreensão da necessidade desta mudança de paradigma fez com que o GRUVE e o

LAPPJUS publicassem o estudo *Electric Vehicles, Taxes and Public Policies in Brazil* [DOMINGUES, J. M. et PECORELLI, L.A., 2011] onde são assinaladas diretrizes para a implantação desta tecnologia no Brasil. Iniciativas neste sentido merecem ser assinaladas considerando-se que em sete estados brasileiros a alíquota do Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores – IPVA é zero. Além disto, o Decreto Estadual do Rio de Janeiro nº 42.569, publicado no Diário Oficial em 29 de julho de 2010, estabelece redução para 4% na alíquota do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) para a indústria de bicicletas e motocicletas elétricas. Caso a indústria opte por se instalar em algum dos 39 municípios fluminenses incluídos na Lei nº 5.636, de janeiro de 2010, a redução na alíquota do ICMS pode chegar a 2% para as indústrias do segmento. É neste contexto que a Associação Brasileira do Veículo Elétrico – ABVE alertou a respeito da interessante iniciativa em prol da mobilidade urbana, que consiste na utilização de triciclos para movimentação de cargas no centro da cidade do Rio de Janeiro e adjacências. Contudo, tais triciclos são equipados com os mesmos motores à combustão interna que os empregados em motocicletas de 150 cc, e transportado cargas da ordem de 250 kg. Esta observação motivou a análise dos benefícios pelo GRUVE caso a utilização destes triciclos pudessem dispor de tração elétrica conforme é apresentado neste trabalho.

2 Metodologia

A metodologia relativa ao cálculo das emissões atmosféricas para a comparação efetuada tomou como base a equação 1 empregada em [PECORELLI, L.A. ; L. A., ROSSO, T. C. A., PINTO, P. M. G. C, 2003] reproduzida a seguir:

$$MO(i, j) = [FEM(i, j) * PMA(AF, AA) * NV(AF, j)] * 10^{-6} \quad [1]$$

Onde:

MO(i, j) = montante anual de emissões da substância i no ano AA relativa aos veículos de ano de fabricação AF da categoria veicular j em toneladas

FEM(i, j) – fator de emissão relativo a substância i relativo a categoria veicular j em g/km

PMA (AF, AA) – estimativa da distância média anual dos veículos da categoria veicular j de ano de fabricação AF no ano de avaliação AA.

NV (j) – número de veículos de ano de fabricação AF da categoria j

No trabalho em pauta a aplicação da equação geral 1 citada foi objeto de algumas considerações descritas a seguir. A categoria j se refere apenas ao triciclo de combustão interna estudado. Para maior robustez dos resultados, o trabalho admitiu de forma favorável aos triciclos de combustão interna, fatores de deterioração desprezíveis ao longo do período de uso. Assim, não foi necessário levar em conta as variáveis as AA e AF que determinam as idades cronológicas destes triciclos e com as quais se determinam as distâncias médias acumuladas ao fim de cada ano de uso. Desta maneira, os fatores de deterioração que afetam os fatores de emissão FEM (i, j) de CO (monóxido de carbono) e de HC (hidrocarbonetos não queimados) foram considerados iguais a unidade, fazendo com que FEM (i, j) se tornasse constante para todas as substâncias estudadas. As substâncias adotadas para esta avaliação por serem reguladas conforme o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares – PROMOT e designadas pelo índice i na equação 1, foram além do CO e do HC, os NO_x (óxidos de nitrogênio), o MP (material particulado) e o CO₂ (dióxido de carbono) para uma frota de 1000 triciclos à combustão interna utilizando gasolina C. Os dados relativos aos fatores de emissão destas substâncias encontram-se citados a seguir na Tabela 1. A variável PMA, relativa a distância média anual levou em conta dois níveis de trajetos diários, isto é, 25 e 40 km e o número de dias úteis do ano igual a 261.

Tabela de Dados dos Fatores de Emissão Considerados (g/km)

CO (*)	NO _x (*)	HC (*)	MP (**)	CO ₂ (***)
2	0,15	0,2	0,0035	56

Fontes de consulta:

(*) <http://www.inea.rj.gov.br/fma/proconve-promot.asp>

(**) 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários [BRASIL, MMA, 2011]

(***) [http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/emissao-veicular/42-tabela-3---fatores-de-emiss%C3%A3o-de---motoicletas-\(*](http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/emissao-veicular/42-tabela-3---fatores-de-emiss%C3%A3o-de---motoicletas-(*)

A análise realizada considera os motores dos triciclos à combustão interna com 150 cc, transportando cargas de 250 kg, sem contabilizar o condutor, que são comparados com triciclos equipados com motores elétricos de cerca de 4 a 5 kW para efetuar os mesmos serviços. As premissas básicas relativas aos custos tomaram como base os preços médios da energia elétrica residencial igual a 0,50 R\$ / kWh e da gasolina tipo C, igual a 2,502 R\$ / litro praticados no ano de 2011, no Estado do Rio de Janeiro em conformidade com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e Agência Nacional do Petróleo – ANP, respectivamente.

3 Resultados

A seguir são apresentados os gráficos de 1 a 5 resultantes dos cálculos efetuados relativos às emissões de NO_x (óxidos de nitrogênio), HC (hidrocarbonetos não queimados), MP (material particulado), CO (monóxido de carbono) e CO₂ (dióxido de carbono) para uma frota de 1000 triciclos à combustão interna utilizando gasolina C.

2.1 Gráficos das Emissões Anuais dos Triciclos à Combustão Interna

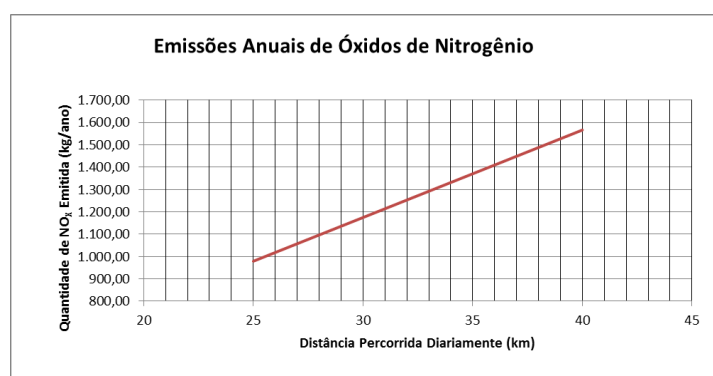


Gráfico 1 - Emissões Anuais de NO_x

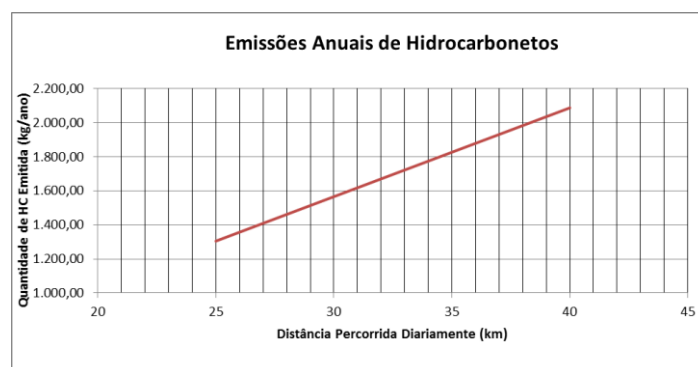


Gráfico 2 - Emissões Anuais de HC

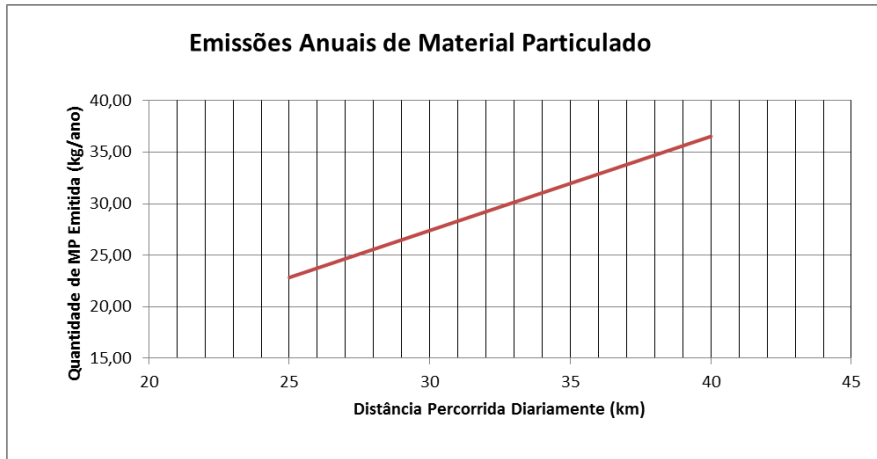


Gráfico 3 - Emissões Anuais de MP

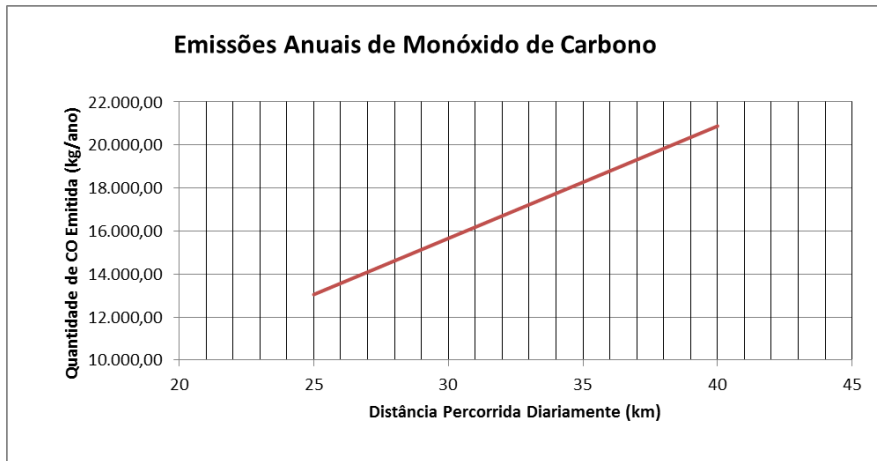


Gráfico 4 - Emissões Anuais de CO

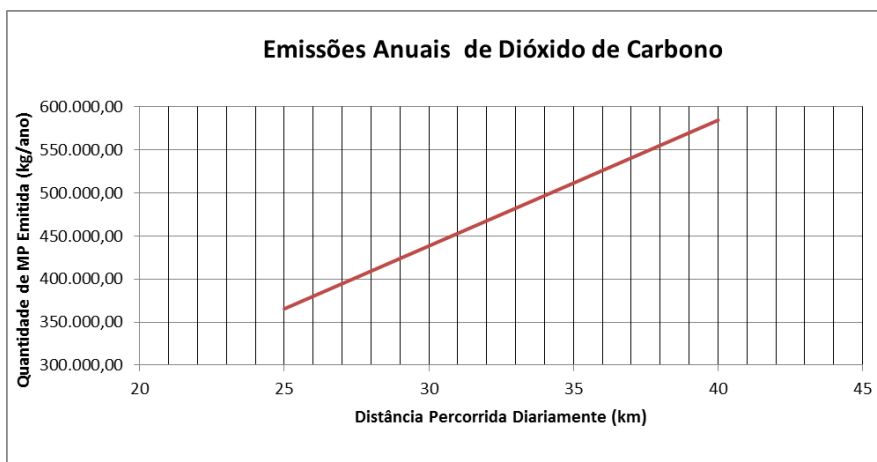


Gráfico 5 - Emissões Anuais de CO₂

2.2. Comparação dos Custos de Reabastecimento Energético

Os gráficos em seguida, 6 e 7, apresentam os custos anuais da gasolina consumida por uma frota de 1000 triciclos à combustão interna e dos custos correspondentes de energia elétrica para uma frota de triciclos similares de tração elétrica. O Gráfico 6 é relativo ao triciclo à combustão interna, considerou dois níveis de eficiência, a saber: 23 km / l e 27 km / l. Quanto ao Gráfico 7 é relativo ao triciclo com tração elétrica. Para este foram adotados três níveis de eficiência em km / kWh: 6,00; 6,54 e 6,9. Visando a apresentação de resultados mais robustos os níveis de eficiência do triciclo elétrico foram adotados de forma pessimista destacando-se que os valores utilizados levaram em conta que os veículos estão funcionando com elevada carga transportada (250 kg).

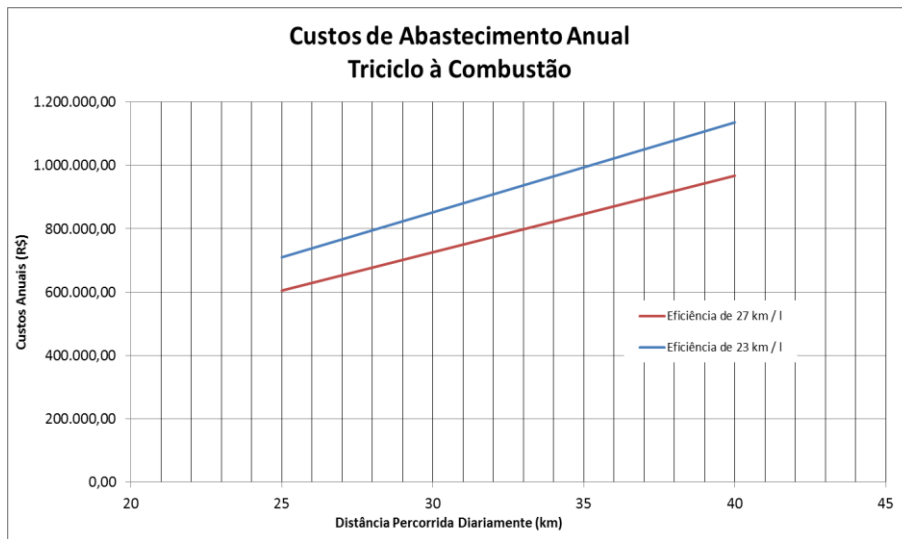


Gráfico 6 - Custo de Abastecimento Anual – Motor à Combustão

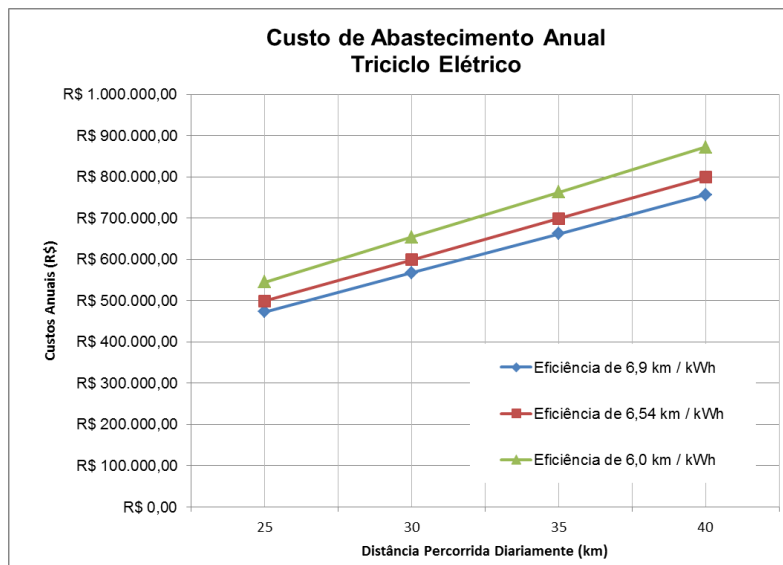


Gráfico 7 - Custo de Abastecimento Anual – Motor Elétrico

O Gráfico 8 apresenta uma comparação do custo máximo da tração elétrica em relação ao custo mínimo da tração à combustão interna. No entanto, mesmo usando estas bases comparativas, verificou-se que a adoção da tração elétrica conduz a uma maior economia de reabastecimento.

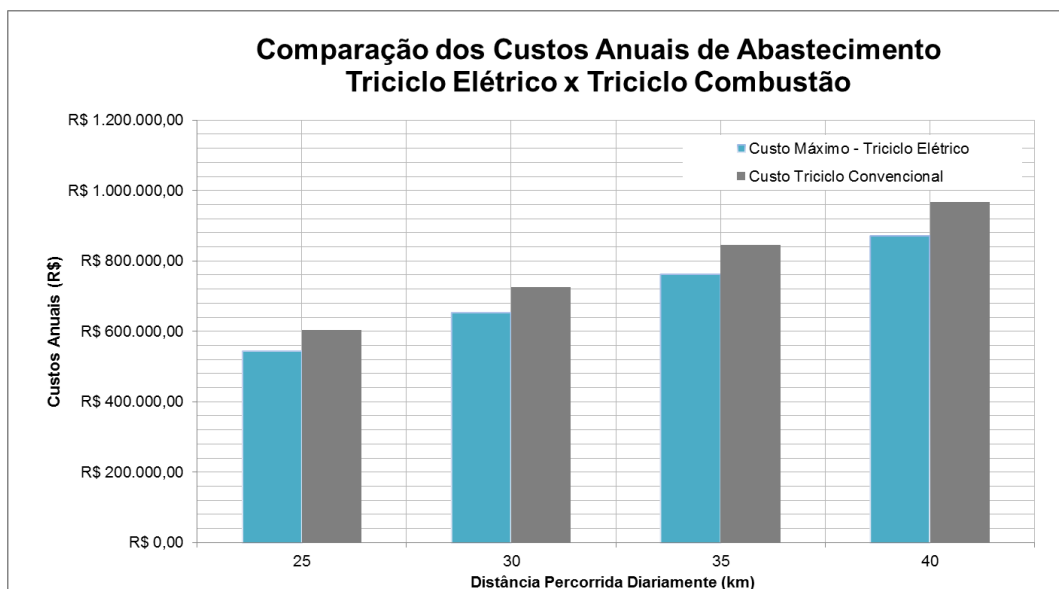


Gráfico 8 – Comparação de custos Anuais

2.3 Emissões Evitadas e Economias com a Adoção de Triciclos Elétricos

Adotando-se a tração elétrica nos triciclos para a movimentação de cargas, verifica-se que anualmente, para uma frota de 1000 triciclos, são evitadas emissões de acordo com a Tabela 2 bem como economia de custos operacionais de reabastecimento indicadas na Tabela 3.

Tabela 2 – Emissões anuais evitadas dos triciclos à combustão interna

MP (kg/ano)		NO _x (kg/ano)		HC (kg/ano)		CO (kg/ano)		CO ₂ (kg/ano)	
Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
22,8	38,5	978,8	1566,0	1305,0	2088,0	13050,0	20880,0	365400,0	584640,0

Tabela 3 - Custos anuais de abastecimento de 1000 triciclos à combustão e à tração elétrica

Custo Mínimo Triciclo à Combustão Interna	Custo Máximo Triciclo Elétrico	Economia de Custos	Economia Percentual
R\$ 604650,00	R\$ 544837,50	R\$ 59812,50	10,98

Verifica-se uma economia de pelo menos 11% para realizar as mesmas atividades com os triciclos elétricos, de acordo com a Tabela 3, mesmo comparando-se o custo mínimo do triciclo à combustão interna com o custo máximo da tração elétrica. Com base na economia de custos

da Tabela 3, observa-se que este valor monetário é equivalente a cerca de 23.900 litros de gasolina.

4 Conclusões

4.1 A análise dos resultados encontrados permite constatar que se justifica a inserção dos triciclos elétricos na aplicação de movimentação de cargas, tanto do ponto de vista ambiental, devido às emissões evitadas, quanto do ponto de vista do reabastecimento. É evidente a necessidade de incentivos tributários para os triciclos elétricos de forma a torná-los economicamente viáveis uma vez que apresentam maior eficiência energética e a conseqüente diminuição de danos ambientais. Deve ser chamada a atenção que caso se utilizasse preços de energia elétrica para consumidores de tarifa verde ou azul, admitindo-se as recargas dos triciclos elétricos sejam realizadas em horários noturnos, a economia poderá se elevar de R\$ 59812,50 (11%) para cerca de R\$ 350.000,00. Este valor corresponde à 58% dos custos de abastecimento dos triciclos à combustão interna e assim este resultado poderá contribuir também para viabilizar financeiramente o triciclo elétrico mesmo que seu preço seja mais elevado que o triciclo à combustão interna.

4.2 O estudo realizado responde pelo que a literatura técnica denomina como “*tank to wheel*” no que se refere aos triciclos à combustão interna e que foram comparados com a condição denominada “*battery to wheel*” para os triciclos elétricos. Vale mencionar que quando se faz uma análise do tipo “*well to wheel*”, isto é, envolvendo a produção de energia e o sistema de reabastecimento mesmo que a produção de energia elétrica seja oriunda de um “mix gerador” com predominância de geração térmica, ainda assim, o emprego dos veículos elétricos se mostram mais eficientes [LARMINE, James; LOWRY, John, 2003]. Em virtude da matriz de geração elétrica brasileira ser majoritariamente de origem hidráulica e renovável constata-se, portanto, a adequação da tecnologia veicular elétrica no país, principalmente nos grandes centros urbanos. Acrescente-se que a inclusão de geração distribuída de origem fotovoltaica vem se tornando cada vez mais atrativa ampliando de forma considerável os benefícios esperados da utilização da eletricidade na propulsão do transporte rodoviário.

Referências:

BRASIL, Ministério de Minas e Energia (2012); *Balanco Energético Nacional 2011*, Esplanada dos Ministérios Bloco U - 70065-900 Brasília – DF

BRASIL, Ministério de Meio Ambiente (2011); *1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários*, Brasília - DF

DOMINGUES, José Marcos, PECORELLI PERES, L. A. *Electric Vehicles, Taxes and Public Policies in Brazil In: 12th World Conference on Environmental Taxation - Market Instruments and Sustainable Economy*, 2011, Madrid. 12th World Conference on Environmental Taxation, 2011.

DUARTE, Daisy Lucid. *Avaliação das Emissões Atmosféricas Causadas por Motocicletas no Estado do Rio de Janeiro e Benefícios Ambientais do Uso da Tração Elétrica Nestes Veículos*. 2006. Dissertação (Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro

LARMINE, James et LOWRY, John. *Electric Vehicle Technology Explained*, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. 2003

PEÇANHA, Marcus Lellis Pacífico, PECORELLI PERES, L. A., FREITAS, Cleiton Magalhães et al. *Experiência de Recarga de Moto Elétrica Através de Rede Elétrica Local e de Célula Fotovoltaica - Análise Comparativa Sob o Ponto de Vista da Geração de Harmônicos* In: V Seminário e Exposição de Veículos Elétricos - Veículos Elétricos a Bateria, Híbridos e de Célula a Combustível, 2007, Rio de Janeiro.

PECORELLI PERES, L. A., PESSANHA, José Francisco M, SERRA, J. Vitor et al. *Analysis of the Use of Electric Vehicles by Electric Utility Companies Fleet in Brazil*. Revista IEEE América Latina. , v.9, p.1032 - 1039, 2011.

PECORELLI PERES, L.A. *Electric Vehicles Conquer Brazilian Streets*. CD Editado e organizado pelo autor. Rio de Janeiro: Auge Design, 2009 ISBN: 978-85-910201-0-2.

PECORELLI PERES, L. A., ROSSO, T. C. A., PINTO, P. M. G. C. *Subsídios metodológicos para a avaliação das emissões anuais de veículos leves em regiões metropolitanas* In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Joinville. 22 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

PECORELLI PERES, L. A., SANTOS, Rafael Lourenço dos. *Avaliação dos Benefícios Energéticos e Ambientais da Utilização de Veículos Elétricos de Pequeno Porte no Brasil* In: XI Congresso Brasileiro de Energia e I Seminário Brasileiro de Inovação Tecnológica no Setor Energético, 2006, Rio de Janeiro.

PECORELLI PERES, L. A., SILVA, T. C. T. *Avaliação do Estado de Carga de Baterias Utilizando um Modelo Híbrido das Equações de Peukert e Shepherd* In: X Congresso Brasileiro de Energia, 2004, Rio de Janeiro. X Congresso Brasileiro de Energia - A Universalização do Acesso à Energia - Anais 2004. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

UNITED NATIONS, *The future we want*; Rio +20 United Nations Conference on Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil, 20-22 June 2012