

Análise comparativa dos métodos de cálculo de emissões TEEMP e GHG-Protocol.

Gabriela Freires¹, Humberto de Paiva Junior¹.

¹ Fundação Universidade Federal do ABC (UFABC) – Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas – Curso de Engenharia Ambiental e Urbana – Avenida dos Estados 5001 – Bloco B 9º andar Sala 928 – Bairro Santa Terezinha – 09210-580 – Santo André/SP, Tel.:(11) 4996-0127 – gabri.freires@gmail.com; humberto.paiva@ufabc.edu.br.

SINÓPSE

O presente trabalho consiste na aplicação comparativa das técnicas TEEMP e GHG-Protocol no cálculo das emissões do sistema VLT da Baixada Santista no estado de São Paulo. Apesar do GHG-Protocol não ser específico para corredores de transportes ele é mais consistente com a tecnologia nacional.

PALAVRAS-CHAVES: VLT, Emissões, TEEMP, GHG-Protocol, Veículos Elétricos

1 INTRODUÇÃO

Com a assinatura do Protocolo de Kyoto em 1998 e sua ratificação em 2002 o Brasil se comprometeu a tomar medidas para reduzir suas emissões de gases do efeito estufa (GEE). Dentre essas medidas está a realização periódica de inventários de emissões. Os primeiros inventários nacionais foram realizados entre 2006 e 2010 e servem de referência para as metas de redução firmadas em 2015 com o Acordo de Paris.

As metas brasileiras tomam como referência as emissões antrópicas de 2005 e estabelecem que essas emissões sejam reduzidas em 25% até o ano de 2025 e em 37% até o ano de 2030.

Como diversos setores contribuem para as emissões nacionais, surge o problema de definir como cada setor irá participar do esforço de redução dessas emissões. Dado que os inventários nacionais são baseados em medidas agregadas, não é trivial a obtenção de uma medida de referência para cada setor ou sistema local gerador de GEE.

Outro problema é o cálculo de emissões de veículos elétricos. Localmente suas emissões GEE são nulas, porém a fonte geradora de energia pode não ser limpa e isso pesará no inventário nacional.

TEEMP e GHG-Protocol, assim como dezenas de outros métodos, auxiliam no cálculo de emissões para atender ao propósito do Protocolo de Kyoto. O primeiro foi especificamente criado para a avaliação de projetos de sistemas de transportes. O segundo é aplicado em inventários corporativos, que também incluem sistemas de transportes.

Enquanto a maioria dos métodos de cálculo de emissões requer uma interface computacional própria para entrada de dados e processamento dos cálculos das emissões. TEEMP e GHG-Protocol aplicam apenas uma planilha de cálculo MS-Excel.

Outro aspecto a ser observado é a capacidade de avaliar sistemas de transporte com veículos elétricos. Em geral os inventários de emissões por fontes móveis lidam com frotas de veículos movidos à combustão porque o objetivo é identificar os impactos nos locais de circulação dessa frota.

A base do cálculo de emissões está na relação entre o deslocamento da frota e o tipo de combustível utilizado. Esse princípio não considera as emissões geradas no ciclo de vida do combustível ou dos veículos e seus componentes. Ou seja, é considerada somente a emissão GEE gerada pelo processo do transporte efetivo de passageiros e cargas.

A relação entre o consumo de energia e as emissões GEE é predominantemente determinada pelo trabalho realizado pelo veículo. Mas os veículos modernos possuem sistemas auxiliares que tendem a consumir mais energia conforme as demandas de qualidade dos usuários. Logo, a análise dos métodos de cálculo e sua divulgação são necessários para a concepção de sistemas de transportes sustentáveis.

O objetivo desse artigo é analisar e discutir as características de cada processo de cálculo, desses dois métodos e sua adequação às necessidades e recursos dos agentes deliberantes, gestores e técnicos responsáveis por atender às demandas de Planos de Mobilidade Urbana, Estudos de Impacto Ambiental e Vizinhança e inventários de emissões, bem como subsidiar a escolha de tecnologias de transporte públicos mais sustentáveis.

2 DIAGNÓSTICO

2.1 Energia, Transporte e Emissões

Como todas as demais atividades econômicas o Transporte transforma insumos em produtos e/ou serviços. Ele possui uma cadeia logística que une fornecedores e clientes os quais também fazem parte de outras cadeias logísticas dentro de um sistema econômico. Logo, os impactos de um sistema de transportes como em todos os demais casos se estende muito além de seu sistema característico.

Isso é levado em consideração no conceito de avaliações de impactos ambientais (SÁNCHEZ,2013 e D'AGOSTO,2015). Porém, questões práticas impõem limites ao escopo das avaliações.

No caso particular da avaliação de emissões GEE, somente a atividade de transporte ou o trabalho efetivamente realizado é considerado. Ou seja, as emissões GEE são quantificadas a partir da quantidade de insumo consumida para a prestação do serviço demandado.

O insumo fundamental do transporte e diretamente relacionado com as emissões GEE é a energia (MCT, 2006, MCT,2010, MMA,2011). Os fatores de emissão de cada poluente do grupo de GEE e outros gases são o resultado de cálculos estequiométricos e relações de rendimento de motores e combustíveis ou fontes de energia.

Os sistemas de Transporte atendem à demanda de deslocamento de massa (passageiros e carga) e para isso demanda energia. Logo, a demanda de viagens também é uma demanda de energia. Uma demanda de fontes energéticas e seus meios de conversão, transporte e armazenamento.

O cálculo da demanda energética envolve a quantificação das forças de resistência ao movimento (atrito mecânico, inércia e pressão do ar) e especificamente para veículos elétricos, esse cálculo é baseado nas equações propostas por Davis (1926) (Figura 1).

As equações da Figura 1 devem ser calibradas para cada tipo de veículo e sistema, e por isso na literatura outras formulações são encontradas. Em D'Agosto (2015) encontram-se algumas dessas formulações tanto no sistema inglês de unidades (Equação 1) como no sistema internacional (Equação 2).

$$FNRM = 1,3 \cdot P + 29 \cdot n + 0,030 \cdot P \cdot V + C_a \cdot A \cdot V^2 \quad (1)$$

$$FNRM = 2,943 \cdot P + 88,977 \cdot n + 0,030 \cdot P \cdot V + 0,0123 \cdot g \cdot V^2 \quad (2)$$

Nesse trabalho é adotada a equação apresentada por Davis (1926) na Figura 1 para o cálculo da resistência ao movimento de *Motor Cars* de veículos com mais de 5 toneladas por eixo (última linha da primeira coluna de equações).

Passando a equação da Figura 1 para o sistema internacional temos a equação 3 a seguir:

$$R = 6,37432 \cdot P + 128,9984 \cdot n + 0,27421 \cdot P \cdot V + 0,04437 \cdot A \cdot V^2 \quad (3)$$

As variáveis dessa equação são as seguintes:

R – Força Natural de Resistência ao Movimento medida em Newtons (N)

V – Velocidade (km/h)

P – Peso do veículo (ton)

A – Área da seção frontal do veículo (m²)

n – Número de eixos do veículo

TRAIN RESISTANCE FORMULAS

LOCOMOTIVE AND MOTOR CAR SERVICE

SYMBOLS		VALUES OF A	
R = Tractive resistance in pounds per ton (2000 lb.) on tangent level track.	Locomotives: 50 tons.....	105 sq. ft.	
	" 70 tons.....	110 "	
	" 100 tons and over	120 "	
A = Area in square feet of cross-section of locomotive or car body and trucks.	Freight cars.....	85-90 "	
V = Speed in miles per hour.	Passenger cars.....	120 "	
n = Number of axles per car.	Multiple-unit cars.....	100-110 "	
w = Average weight per axle in tons.	Motor cars: 2 trucks.....	80-100 "	
wn = Average weight of locomotive or car.	" " 1 truck.....	70- 75 "	



WHERE USED	USUAL FORMULAS Recommended for convenience in calculation. Approved for axle weights in excess of 5 tons.	GENERAL FORMULAS Applicable to all axle weights. To be used when axle weights are less than 5 tons	
Locomotives.....	$R = 1.3 + \frac{29}{w} + 0.03 V + \frac{0.0024 A V^2}{wn}$	$R = \frac{9.4}{\sqrt{w}} + \frac{12.5}{w} + 0.03 V + \frac{0.0024 A V^2}{wn}$	
Freight Cars.....	$R = 1.3 + \frac{29}{w} + 0.045 V + \frac{0.0005 A V^2}{wn}$	$R = \frac{9.4}{\sqrt{w}} + \frac{12.5}{w} + 0.045 V + \frac{0.0005 A V^2}{wn}$	
Passenger Cars } (Vestibuled) }	$R = 1.3 + \frac{29}{w} + 0.03 V + \frac{0.00034 A V^2}{wn}$	$R = \frac{9.4}{\sqrt{w}} + \frac{12.5}{w} + 0.03 V + \frac{0.00034 A V^2}{wn}$	
Multiple- unit Trains {	Leading Car. (Vestibuled)	$R = 1.3 + \frac{29}{w} + 0.045 V + \frac{0.0024 A V^2}{wn}$	$R = \frac{9.4}{\sqrt{w}} + \frac{12.5}{w} + 0.045 V + \frac{0.0024 A V^2}{wn}$
	Trailing Cars.	$R = 1.3 + \frac{29}{w} + 0.045 V + \frac{0.00034 A V^2}{wn}$	$R = \frac{9.4}{\sqrt{w}} + \frac{12.5}{w} + 0.045 V + \frac{0.00034 A V^2}{wn}$
Motor Cars.....	$R = 1.3 + \frac{29}{w} + 0.09 V + \frac{0.0024 A V^2}{wn}$	$R = \frac{9.4}{\sqrt{w}} + \frac{12.5}{w} + 0.09 V + \frac{0.0024 A V^2}{wn}$	

Figura 1: Equações apresentadas por Davis (1926)

Determinada a força de resistência ao movimento, o cálculo da demanda de energia pode ser realizado através da Equação 4, onde T corresponde à duração da viagem em minutos.

$$E = 4,629 \cdot 10^{-6} \cdot R \cdot V \cdot T \quad (4)$$

A constante introduzida na equação 4 serve apenas como um fator de conversão das unidades da equação 3 de força, velocidade e tempo, em KWh, por ser essa a unidade de energia mais usual encontrada na literatura.

Mas a energia consumida e a emissões a ela associada requer uma última consideração. No caso de veículos puramente elétricos, deve-se calcular a eficiência da unidade de tração e o consumo de sistemas auxiliares do veículo (refrigeração, iluminação, portas automáticas mídias para comunicação etc.). Logo, nesse trabalho usaremos a equação 5, para o cálculo do consumo de energia associado diretamente ao veículo que será convertido por fatores apropriados em emissões GEE.

$$E_C = \frac{E}{\eta_{UT} \cdot \eta_A} \quad (5)$$

$$E_{GEE} = E_C \cdot F_{GEE} \quad (6)$$

As variáveis das equações 5 e 6 são:

E – Energia necessária para produzir o movimento

E_C – Energia consumida considerando a eficiência do sistema

η_{UT} – Eficiência da unidade de tração. Valor arbitrado 0,85 (D'AGOSTO 2015)

η_A – Eficiência descontado o consumo dos sistemas auxiliares. Valor arbitrado 0,92 (D'AGOSTO, 2015)

E_{GEE} – Emissão GEE medida em unidades de massa

F_{GEE} – Fator de emissão medido em massa por KWh

2.2 TEEMP

A ferramenta TEEMP (em inglês, *Transport Emissions Evaluation Models for Projects*) é um modelo de cálculo estruturado numa planilha eletrônica compatível com MS-Excel onde é possível estimar as emissões GEE e de poluentes locais de sistemas de transportes. Desenvolvida pela *Clean Air Asia* junto com o *Institute for Transportation and Development (ITDP)*, *Asian Development Bank (ADB)*, *Cambridge Systematics* e *United Nations Environment Programme - Global Environment Facility (Unep-GEF)*, a ferramenta tem sido modificada e ampliada para servir como um método padrão para se avaliar projetos de empreendimentos diversos.

O TEEMP calcula o total de emissões evitadas com a implantação de um sistema de transportes, avaliando os seus impactos de curto a longo prazo. Para isso, são comparadas as emissões de um cenário-base, onde o sistema de transporte não foi construído, com o cenário pós-construção do projeto. O modelo pode ser aplicado para diferentes sistemas de transportes, dentre eles os Veículos Leves sobre Trilhos (VLT), que é o estudado no presente trabalho. Porém, nesse caso ainda não há fatores de emissões disponíveis, sendo necessário que o analista adote seus próprios fatores.

A ferramenta aplicada para o VLT permite o cálculo das emissões de CO₂ por duas abordagens distintas: a abordagem de referência (top-down) e a abordagem setorial (bottom-up). De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a abordagem top-down leva em consideração, para a estimativa de emissões, apenas a oferta de energia de onde se insere o objeto de estudo, sem especificar como a energia é consumida. A abordagem bottom-up, por sua vez, identifica onde e como ocorrem as emissões. A abordagem bottom-up pede como *input* apenas dados de demanda atual e futura, a extensão do sistema de transporte e o fator de emissão, ou ela utiliza uma base de fatores de emissões de um acervo de projetos internacionais conhecidos. Com esses dados de *input* a ferramenta estima o abatimento de emissões com a implementação do projeto. É esse valor que pode ser utilizado na tomada de decisões ou escolha de diferentes tipos de sistemas de transportes.

2.3 GHG-Protocol

O Programa Brasileiro de GHG *Protocol* para monitorar emissões *greenhouse gases* (GHG) ou GEE foi resultado de uma iniciativa do Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVces) que em conjunto com o *World Resources Institute (WRI)* em 2007 submeteram um projeto ao Governo Britânico para instalar no Brasil o programa desenvolvido em 1998 nos Estados Unidos da América (EUA) pelo próprio WRI (GVces,2019). Além, dessas três entidades foram parceiros do programa o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) o *World Business Council for Sustainable Development (WBSCD)*, 27 empresas e o Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Esse programa desenvolveu uma ferramenta para a sistematização e padronização de inventários de emissões corporativas e criou o registro público dessas emissões que divulga anualmente os relatórios de emissões das empresas ou organizações participantes do programa (GVces,2019). No ciclo de 2018 havia entorno de 140 membros com suas estatísticas de emissões disponibilizadas no site do GHG-Protocol. Mas mesmo não sendo membro do programa é possível empregar a ferramenta que está disponível no formato de uma planilha eletrônica MS-Excel.

A ferramenta está organizada em três módulos e cada um se ramifica em planilhas eletrônicas para a entrada de dados sobre as atividades geradas de emissões da organização e um conjunto de planilhas com os fatores e constantes empregados nas equações programadas na planilha.

O GHG-Protocol estrutura seu inventário em três partes ou Escopos, abordando o processo de geração de emissões ao longo da própria cadeia produtiva da empresa, organização ou corporação (Figura 2). As emissões são distinguidas entre diretas, sob controle da corporação (Escopo 1) e indiretas (Escopo 2 e 3). As indiretas são consequências da escolha da fonte de energia (Escopo 2) e dos serviços logísticos gerados pela corporação (Escopo 3).

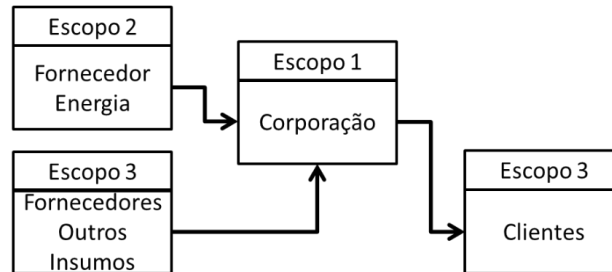


Figura 2: Estrutura lógica do inventário de emissões GHG-Protocol

Devido a sua amplitude, a ferramenta pode ser aplicada parcialmente para inventários de fontes móveis quando forem conhecidos os dados necessários sobre a frota estudada, ainda que ela não pertença à uma corporação. Os dados para a quantificação de emissões de sistemas de transportes são inseridos no GHG-Protocol através de três módulos: Combustão Estacionária (Escopo 1); Transporte e Distribuição Upstream e Transporte e Distribuição Downstream (Escopo 3). Esses três módulos são idênticos em sua base de dados. Diferem apenas na sua posição na estrutura lógica do método. Logo, se o analista estiver interessado em apenas quantificar as emissões da sua frota, pode usar qualquer um desses módulos do GHG-Protocol.

No caso de veículos elétricos o emprego do GHG-Protocol torna-se interessante porque a partir de 2019 a GVces passou a considerar uma base de fatores de emissões de CO₂ por kWh gerado pelos sistemas nacionais de produção de energia elétrica. Dessa forma, tem-se uma fonte de dados acessível sobre esse tema que é atualizada para o contexto nacional.

3 PROPOSIÇÕES E RESULTADOS

3.1 VLT Baixada Santista

O Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) é um sistema de transporte de média capacidade, rápido e ambientalmente menos impactante localmente. Ele pode ser implantado em corredores exclusivos ou em calçadas e centros históricos, dividindo a via com veículos e pedestres. Ele possui baixo ruído e vibração, bem como pode ser movido à eletricidade e/ou diesel. Nesse último caso sendo um transporte com uma pegada carbônica per capita menor em relação às alternativas de mesma capacidade.

O VLT da Baixada Santista (Figura 3), localizado nas cidades de Santos e São Vicente, surgiu como uma alternativa sustentável para o problema de mobilidade urbana e de poluição atmosférica da Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS).

O modelo adotado em Santos e São Vicente é o Vossloh Tramlink V4 da fabricação alemã em que cada veículo possui 44 metros de comprimento, uma seção frontal de 3,35 m de altura por 2,65 m de largura pesa 66 toneladas vazio, possui 7 módulos interligados com passagem interna de um para outro e 8 eixos (Figura 4 e 5).

Sua energia provém de um sistema de catenária/pantógrafo, onde, em caso de queda de da rede de fornecimento elétrico, o VLT aciona um sistema de alimentação por bateria com autonomia de 400 m, suficiente para conduzir o veículo até a estação mais próxima. Os veículos transportam até 400 pessoas, com um nível de serviço de 6 passageiros/m².

O sistema, atual conta com 22 veículos e inicia a sua operação todos os dias às 5:30 nas estações terminais Porto (centro de Santos) e Barreiros (São Vicente) e encerra às 23:30, servindo 15 estações dispostas numa linha de 10.543 m, com uma frequência de 6 veículos

por hora por sentido com um tempo médio de viagem entre as estações de 1min40seg. Cada viagem dura em média 25 min e a velocidade média de operação são de 25 km/h. Estima-se 216 viagens por dia percorrendo aproximadamente 2.220 km



Figura 3 – Trecho implantado do VLT da RMBS (Fonte:EMTU)



Figura 4 - Vossloh Tramlink V4 (RMBS) linha VLT 953 EMTU. Fonte: wikipedia.org

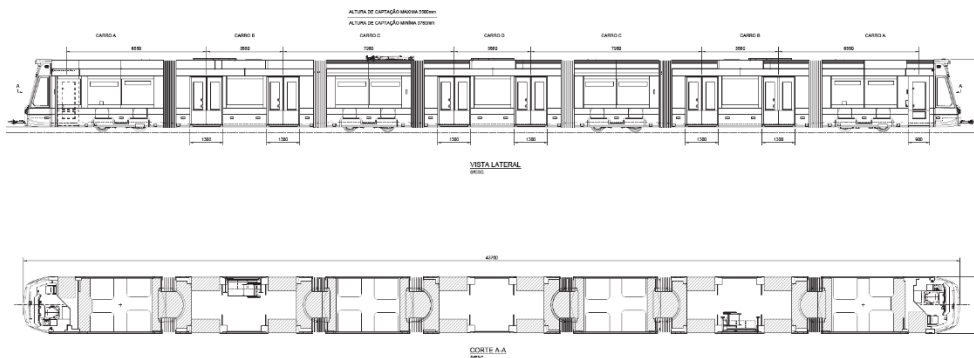


Figura 5 – Projeto do material rodante. Fonte: EMTU.

3.2 Metodologia de cálculo de emissões

3.2.1 Aplicação TEEMP

Para se aplicar a ferramenta TEEMP no VLT da Baixada Santista, que é utilizado como estudo de caso neste trabalho, foi necessário reunir informações técnicas da obra e do projeto. Dentre as duas abordagens para o cálculo das emissões de CO₂ do método escolheu-se a abordagem bottom-up para o cálculo. Na abordagem escolhida, é necessário inserir como input dados de demanda, extensão do VLT, e fator de emissão.

Foi considerado como o ano base para o cálculo o ano em que o primeiro trecho foi entregue, 2017. Neste ano, a extensão do VLT era a atual. Para os anos de 2026 e 2036, foi considerada a extensão total do VLT implantado, de 26,6km.

Os dados de demanda de passageiros/dia para o VLT foram estimados interpolando a demanda prevista no EIA/RIMA (EMTU, 2015), (Tabela 1):

Tabela 1 - Metodologia TEEMP

Ano	Passageiros/ano	Linha (km)	Emissão Ônibus Comum (t/ano)	Emissão VLT (t/ano)
2017	41.203.025	10,5	36.588	2.584
2018	45.659.973	10,5	62.082	2.864
2026	71.105.285	26,6	151.312	11.348
2036	94.249.935	26,6	200.564	15.042

Para o cálculo comparativo de emissões, conforme a metodologia TEEMP, são necessários dois fatores de emissões, um para o cenário sem o projeto e outro para o cenário com o sistema de transporte implementado. Para o cenário sem projeto, foi utilizado o fator de emissão para ônibus no estado de São Paulo, que é de 80 gCO₂e/pkm. Já para o cenário com projeto, o fator de emissão utilizado recomendado foi o adotado pelo METRÔ entre 2012 e 2016, correspondente a 6 gCO₂e/pkm (METRO, 2016). Assim, obtém-se os as projeções de emissões da Tabela 1

3.2.2 Aplicação GHG-Protocol

A aplicação do GHG-Protocol se resume ao cálculo do consumo de energia anual do sistema e aplicação do fator de emissões mais recente indicado pela GVces. Na Tabela, extraída da guia “Fatores Variáveis” contida na ferramenta, para os consumidores na área do Sistema Integrado Nacional (SIN) em 2017 e 2018 são considerados respectivamente os fatores de emissão de 0,0927 e 0,074 tCO₂ por consumo de MWh (GVCES, 2019).

Previamente ao cálculo do consumo de energia e emissões foi estimada a força de resistência ao movimento (R) considerando os seguintes parâmetros para a equação 3 e que não há mudança na operação do serviço no período:

- Peso do veículo cheio igual a 94 ton;
- Número de eixos por veículo igual a 8 (Figura 5);
- Horário de operação igual em todos os dias do ano.

Na Tabela 2 a seguir são resumidos os resultados obtidos para o sistema atual do VLT

Tabela 2 – Aplicação do GHG – Protocol

Variável	2017	2018
R (N)	2.522	2.522
V(km/h)	25	25
T(min)	25	25
Viagens/dia	216	216
Ec (KWh)/viagem	9,4	9,4
Ec (MWh)/mês	60,7	60,7
tCO ₂ /MWh	0,0927	0,0740
km/viagem	10,5	10,5
KWh/km	0,89591	0,89591
gCO ₂ /viagem	868	693
tCO ₂ /ano	68,4	54,6

Variável	2017	2018
gCO ₂ /pass	1,7	1,2
gCO ₂ /pass*km	0,208	0,166
gCO ₂ /km	83,051	66,297

3.3 Benchmarking

A fim de avaliar a qualidade das estimativas realizadas com as duas metodologias, na Tabela 3 são comparados alguns resultados públicos sobre outros sistemas VLT (LESLEY, 2006).

Os dados publicados possuíam apenas os consumos por km dos sistemas VLT, mas a partir desses dados foi aplicado o fator de emissões GVces a fim de obter também uma estimativa de emissões.

Os padrões de consumo de energia sugerem que o método de cálculo, aqui adotado, deve ser revisto. Os dados publicados demonstram uma relação positiva do consumo de energia com o peso dos veículos. Ou seja, quanto mais leves, menor o consumo de energia e emissões. Porém, no caso do VLT953 o consumo estimado de energia se afasta desse padrão, apesar de chegar muito próximo, considerando que foram utilizadas apenas informações públicas sobre o sistema.

O emprego das equações de Davis foi um exercício exploratório e a partir dos resultados apresentados e análises de sensibilidade é possível aprofundar o assunto investigando parâmetros mais adequados, para a equação 3. Inclusive a calibração dela a partir de medições diretas de consumo de energia do sistema.

Tabela 3 – Benchmarking de consumo de energia e emissões de VLTs

VLTs	Peso (ton)	kWh/km	g CO ₂ /km (GHG 2018)
Sheffield Supertram	54	4,5	333,0
Manchester Metrolink	46	4,1	303,4
Croydon Tramlink	38	3,9	288,6
Blackpool Centenary	18	1,5	111,0
City Class	22	1,0	74,0
VLT953 EMTU (GHG)	66	0,9	66,3
VLT953 EMTU (TEEMP)	66		2.864 *

* O fator 0,074 tCO₂/MWh foi aplicado em todos os casos, exceto no cálculo TEEMP

Sob o ponto de vista das emissões, recomendamos o emprego da base GHG-Protocol que é regularmente atualizada pela GVces. A taxa de emissões sugerida no método TEEMP, baseada no número de Pass*km é demasiado alta. Ainda que a estimativa de consumo de energia calculado esteja subestimado, é pouco provável que o VLT953 emita muito mais GEE que o Sheffield Supertram (Tabela 3).

4 CONCLUSÕES

O TEEMP é um método desenvolvido especificamente para a área de transportes, utilizando uma base internacional de dados sobre emissões, enquanto que o GHG-Protocol, usando informações específicas para o contexto nacional, tem uma aplicação mais ampla, cobrindo todas as atividades desenvolvidas por um empreendimento ou geradas por ele ao longo de uma cadeia logística, sendo o transporte uma dessas atividades. Mas ambos aplicam o

princípio da análise do ciclo de vida da energia possibilitando uma reflexão interessante sobre as tendências de desenvolvimento das soluções de mobilidade sustentável. Ambos carecem de parâmetros específicos para VLT, mas são úteis para avaliações expeditas quando não há dados diretos de consumo de energia e geração de emissões. Nesse trabalho a associação de uma equação de cálculo de consumo de energia geral à base de fatores de emissões do GHG-Protocol demonstra ser uma forma simples para a avaliação de impactos de sistemas de veículos leves sobre trilhos, mais consistente com a tecnologia nacional de geração de energia, e mais flexível e sensível à variáveis importantes para a tomada de decisão.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- METRO. Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Relatório de Sustentabilidade do Metrô de São Paulo**. São Paulo, 2016. [Acesso em 23/12/2018]. Disponível em: <<https://transparencia.metrosp.com.br/dataset/relat%C3%B3rios-de-sustentabilidade/resource/2c9786ee-7219-4fb9-b0d1-13f9df01862a>>
- EMTU. Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos. **EIA-RIMA consolidado para solicitação da L.P. Licença Ambiental Preliminar**. São Paulo, 2015. [Acesso em: 02/12/2018]. Disponível em: <<http://www.emtu.sp.gov.br/ftp/EIA.pdf>>
- EMTU. Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos. **Sistema Integrado Metropolitano da Baixada Santista - Estudo Preliminar Pesquisa Mini OD Domiciliar**. São Paulo, 2013. [Acesso em: 02/12/2018]. Disponível em: <http://www.agem.sp.gov.br/midia/RT-2.10.00.008V9-004_Rev-0-pesquisa-OD-2012.pdf>
- SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, c2013. 583 p., il. ISBN 9788579750908.
- D'AGOSTO, Márcio de Almeida. **Transporte, uso de energia e impactos ambientais: uma abordagem introdutória**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa Emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético**. Brasília, 2006.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Emissões de gases de efeito estufa no transporte rodoviário**. Brasília, 2010.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Departamento de Mudanças Climáticas. Gerência de Qualidade do Ar. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários. Relatório Final**. Brasília, 2011
- DAVIS, W.J. **The Tractive Resistance of Electric Locomotives and Cars**. Railway Engineering Department. General Electric Company. 1926.
- GVCES. **O Programa Brasileiro GHG Protocol**. 2019 [Acesso em: 23/07/2019]. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/o-programa-brasileiro-ghg-protocol?locale=pt-br>>
- Lesley, Lewis. City Class Carbon Trust Nov 2006. TRAM Power Ltd. www.trampower.co.uk (2006). [Acesso em: 10/08/2019]. Disponível em: <<http://www.trampower.co.uk/resource/City%20Class%20Carbon%20Trust%20Nov%202006.ppt>>