



WRI BRASIL



ANÁLISE DE CUSTOS E EMISSÕES

Impacto ambiental e econômico da inserção de 40 ônibus elétricos no Corredor Transoceânico de Niterói

Este relatório contém informações de uso restrito que somente podem ser publicadas mediante autorização do WRI Brasil.

Porto Alegre/Rio Grande do Sul – Novembro, 2018

EXPEDIENTE

WRI BRASIL

Cristina Albuquerque

Gerente de Mobilidade Urbana

Berta Pinheiro

Especialista de Mobilidade Urbana

Virginia Tavares

Analista de Mobilidade Urbana

Eduardo Henrique Siqueira

Analista de Mobilidade Urbana

APRESENTAÇÃO

O WRI Brasil apoia as lideranças locais na preservação do meio ambiente e em soluções que contribuam para o desenvolvimento sustentável. Atua com foco em pesquisa e aplicação de métodos nas áreas de clima, florestas e cidades sustentáveis. O programa de Cidades do WRI também auxilia no desenvolvimento e implementação de soluções para os problemas de transporte e desenvolvimento urbano. Uma das áreas de cooperação técnica é a de mobilidade urbana e clima, na qual se desenvolvem projetos relacionados a veículos sem emissões significativas de poluentes.

Assim, alinhado com a necessidade de reduzir o consumo de energia através de um sistema de transporte coletivo eficiente, o WRI desenvolveu uma ferramenta que permite a análise dos benefícios ambientais e econômicos gerados pela substituição de ônibus diesel por ônibus elétricos, auxiliando as cidades na adoção de tecnologias limpas em suas frotas de ônibus

O presente relatório é resultado do Acordo de Cooperação Técnica entre o WRI Brasil e o Município de Niterói e tem como objetivo avaliar o impacto econômico e ambiental da inserção de 40 ônibus elétricos no Corredor Transoceânico/Sistema BHLS (*Bus with High Level of Service*) bem como propor recomendações técnicas com base no caderno de especificações e demais informações reportadas pelo município.



Transporte coletivo na cidade de Niterói. Paula Tanscheit/WRI Brasil

ESTRUTURA

O relatório é estruturado em 4 capítulos que objetivam consolidar o trabalho realizado em parceria do WRI Brasil e o Município de Niterói, são eles:

- **Caracterização:** contém informações gerais sobre a cidade de Niterói, o sistema de transporte coletivo e da Região Oceânica.
- **Metodologia:** contém as premissas de cálculo e metodologia utilizada para avaliar o impacto ambiental e econômico dos ônibus elétricos na frota operante.
- **Resultados:** apresenta, através de dois subcapítulos, os resultados da análise de custos e emissões. São destacadas, também, algumas recomendações técnicas para auxiliar na operação dos 40 ônibus elétricos.
- **Considerações finais:** destaca a importância da transição das frotas de transporte coletivo das cidades para tecnologias veiculares que não possuam emissões significativas de poluentes.

CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

A cidade de Niterói é um município da Região Metropolitana do Rio de Janeiro na Região Sudeste do Brasil. Com população estimada em 511.786 habitantes e uma área de 129,3 km².

O serviço de ônibus urbanos consiste no principal modo de transporte público da cidade de Niterói contando com aproximadamente cinquenta linhas em atividade. Em 2012 foi homologada pela prefeitura de Niterói a concorrência pública para concessão das linhas de ônibus municipais tendo como vencedores dois consórcios, TransNit e Transoceânico.

Em 2014, com o objetivo de aprimorar o sistema de transporte coletivo da cidade, foi iniciada a obra da via expressa para operação de ônibus no sistema BHLS, denominada Transoceânica. Essa via terá 9,3 quilômetros de extensão visando atender diretamente 11 bairros da Região Oceânica de Niterói.

Além disso, o novo sistema contará, além de 60 ônibus a diesel, com uma tipologia de frota de 40 ônibus elétricos com armazenamento em baterias, de piso baixo e equipados com ar condicionado que serão operados pelo Consórcio Transoceânico responsável pela Região Oceânica. A atual demanda diária observada na região é de, aproximadamente, 78 mil passageiros.

METODOLOGIA

Ferramenta de análise de frota de ônibus urbanos

O WRI Brasil evidencia os benefícios da adoção de ônibus limpos através de uma ferramenta que compara os custos e as emissões de duas frotas de ônibus urbanos com diferentes

¹ IBGE (2018). Brasil em Síntese.

características. Os resultados destas análises podem auxiliar os tomadores de decisão no planejamento e transição para frotas limpas por três principais características:

- **Flexível:** permite a criação de diferentes composições de frota que variam conforme as tecnologias veiculares disponíveis no mercado. A partir disso, é possível obter uma perspectiva clara de como cada ônibus pode afetar os custos e emissões de uma frota.
- **Comparativa:** permite a comparação visual e objetiva das duas frotas através de gráficos e valores tanto para custos quanto para emissões, de forma a facilitar a interpretação dos resultados.
- **Robusta:** permite a inserção e calibração de dados de inventários de emissões locais, além de possuir uma base robusta de cálculos. A ferramenta oferece ainda alguns valores padrões para as variáveis necessárias, calibrados a partir da literatura científica e de experiências empíricas reportadas ao WRI.

Destaca-se que esta ferramenta fornece uma metodologia de fácil entendimento para as análises de custos e emissões de possíveis composições de frotas de ônibus urbanos. É importante salientar que estes resultados apontam possíveis opções de tecnologias a serem adotadas e que a decisão deve ser realizada entre os atores relevantes de forma estruturada e com uma visão de longo prazo.

No tocante a análise de custos, esta ferramenta permite analisar o custo total anualizado conforme o combustível, a tecnologia dos ônibus e o número de ônibus de uma determinada frota. Esta análise é dividida em quatro componentes: (i) capital, referente aos custos de aquisição do bem; (ii) financeiro, que varia conforme o tipo de financiamento utilizado para aquisição do bem; (iii) manutenção, que inclui os custos mensais de manutenção do veículo e (iv) combustível, calculado a partir do preço do combustível, distância percorrida e rendimento do veículo.

Desta forma, o custo anualizado de uma frota será o total gasto destes quatro componentes que compõem a frota em análise. Os mesmos são calculados ao transformar os custos referentes a cada tipo de veículo (diferentes em cada período) em uma série uniforme equivalente para toda a sua vida útil, mantendo-se o valor presente líquido quando se considera os custos de todos os períodos da vida útil do veículo.

A metodologia de cálculo das emissões considera cada tipo de ônibus que compõe a frota, uma vez que os parâmetros variam para cada tecnologia. As emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de poluentes locais de uma determinada frota variam em função consumo de combustível (L/100 km), fator de emissão (g/L ou g/km), número de veículos e distância anual percorrida (km/ano). Os poluentes locais que calculados são o óxido de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP).

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de entrada e as variáveis que podem ser considerados nas análises destes quatro componentes.

Tabela 1: Parâmetros de entrada para análise de custos e emissões

Dados da frota de ônibus	Operação	Capital	Financeiro	Emissões
<ul style="list-style-type: none"> • Número de ônibus • Tecnologia do motor • Consumo de combustível • Distância anual percorrida 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção <ul style="list-style-type: none"> ○ Custo fixo anual de manutenção • Combustível <ul style="list-style-type: none"> ○ Custo do combustível ○ Custo da eletricidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Preço de aquisição do veículo • Vida útil do ônibus • Valor residual • Pagamento inicial 	<ul style="list-style-type: none"> • Fonte de financiamento • Taxa do financiamento • Tempo do financiamento • Taxa de desconto 	<ul style="list-style-type: none"> • Fator de emissão de CO₂ • Fator de emissão de MP • Fator de emissão de NO_x

Fonte: elaborado pelo WRI Brasil

Cenários de composição de frota

Para avaliar e comparar o impacto dos 40 ônibus elétricos que irão operar no Sistema BHLS foram propostos 4 cenários distintos de composição de frota. A Tabela 2 ilustra a quantidade de ônibus definidos para cada um dos cenários.

Tabela 2: Cenários avaliados no trabalho

Cenários	Modelo de ônibus			Total
	Euro V - OF 1721	Euro V - OF 1519	Elétrico	
Cenário 1	103	42	-	145
Cenário 2	80	-	20	
Cenário 3	60	-	40	100
Cenário 4	20	-	80	

Fonte: elaborado pelo WRI Brasil

O **Cenário 1** representa a atual oferta de transporte coletivo na Região Oceânica e os dados foram fornecidos pela Secretaria de Urbanismo e Mobilidade de Niterói. Totalizam-se 145 veículos na frota e segundo o Estudo Operacional para Implantação do Corredor Transoceânico² ocorreu um aumento de 12% da frota no período de 2013 a 2017, enquanto a região apresentou uma queda de cerca de 49% na quilometragem rodada devido à redução da demanda total de passageiros². Essa redução na demanda resultou em ajustes

² Sinergia Estudos e Projetos LTDA (2017).

sistemáticos da frota, que inicialmente era composta por 155 veículos, para os 145 veículos atuais, com o objetivo de adequar o sistema a oferta de passageiros.

A distância anual percorrida de um veículo da atual frota da Região Oceânica foi estimada com base na Tabela 3. Calculou-se uma média ponderada entre a quantidade de ônibus e a quilometragem rodada com o objetivo de encontrar valores médios para os dois modelos de ônibus. O cálculo foi realizado separadamente para os ônibus EURO V – OF 1721 e EURO V – OF 1519 resultando em 34.020 e 44.332 km/ano³, respectivamente.

Tabela 3: Oferta atual de viagens

Linhas	km/dia	Frota (quantidade)	Modelo de ônibus (EURO V)
38	2249	20	OF 1721
38 A	2435	21	OF 1721
38 B	1137	11	OF 1721
46	4239	35	OF 1721
52	1619	16	OF 1721
54	540	4	OF 1519
39	2341	16	OF 1519
39 A	2335	16	OF 1519
39 B	990	6	OF 1519

Fonte: adaptado do Consórcio Transoceânico, 2018.

Os **Cenários 2, 3 e 4** já contemplam as características do novo dimensionamento do Corredor Transoceânico/Sistema BHLS. O Cenário 2 considera a inserção de 20 ônibus elétricos e o Cenário 3 de 40 ônibus elétricos. O Cenário 4 é uma hipótese de ampliação da tecnologia elétrica na frota e conta com 80 elétricos, o dobro do previsto pelo município. É importante ressaltar que com o novo dimensionamento das linhas do sistema, um menor número de veículos é previsto no sistema para atender a demanda.

Visto que até o presente momento a alocação dos ônibus elétricos nas linhas que compõem o novo dimensionamento não foi definida, para fins de cálculo estimou-se uma quilometragem média⁴ para cada ônibus que irá operar no novo sistema BHLS com base nos dados fornecidos pela Secretaria de Urbanismo e Mobilidade da cidade.

A distância anual percorrida para cada ônibus é de 51.026 km/ano, 38% maior que a média ponderada do percorrido pelos ônibus da atual oferta da Região Oceânica. No novo sistema, são consideradas 5 linhas troncais (Tabela 4), sendo elas: duas linhas pelo túnel Charitas-Cafubá (T1 e T5) e três pelo Largo da Batalha (T2, T3 e T4). A linha A2 é prevista como uma circular alimentadora.

³ Para fins de cálculo, considera-se que cada ônibus opera por 25 dias em um mês, ou seja, 300 dias por ano.

⁴ Média ponderada entre a quantidade de ônibus e quilometragem percorrida.

Tabela 4: Novo dimensionamento do Sistema BHLS

Linhas	km/dia	Frota (quantidade)
T1	3865	21
T2	2964	19
T3	4371	25
T4	2625	18
T5	2257	12
A2	927	5

Fonte: adaptado da SMN/PMN, 2018

RESULTADOS

Emissões

Para estimar o impacto da inserção dos ônibus elétricos no Sistema BHLS, a emissão de poluentes dos ônibus foi calculada a partir de três parâmetros principais (Tabela 5): a quilometragem percorrida, o fator de emissão e o consumo dos ônibus⁵. Os poluentes analisados para os 4 cenários foram: CO₂, MP e NO_x.

Tabela 5: Parâmetros de entrada utilizados

Tecnologia	Modelo de ônibus	Distância anual percorrida (km)	Fatores de emissão ⁶	Consumo
EURO V	OF 1721	34.020	CO ₂ – 2.671,00 g/L	2,61 km/L
EURO V	OF 1519	44.332	MP- 0,086 g/kg ^{diesel} NO _x – 8,57 g/kg ^{diesel}	2,58 km/L
Elétrico	Padron	51.026	0	1,3 kWh/km

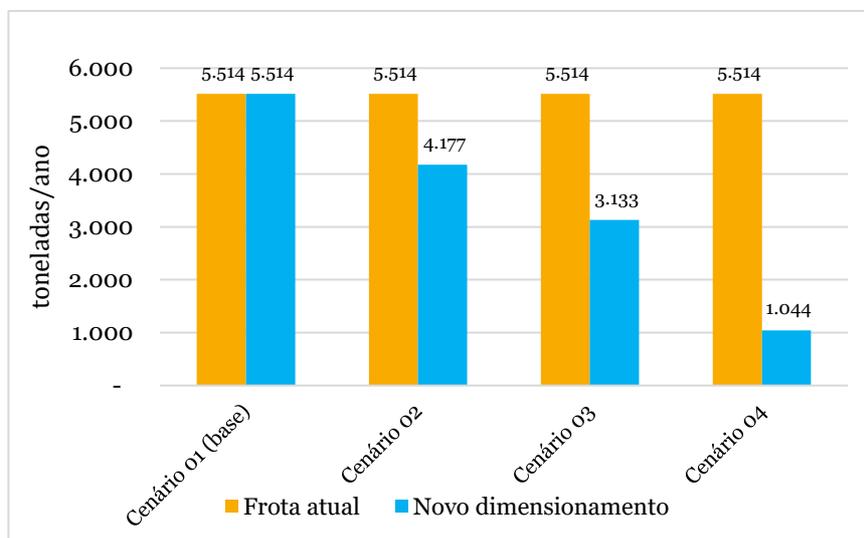
Fonte: elaborado pelo WRI Brasil

⁵ Existem outros fatores que irão influenciar na emissão dos ônibus como o número de passageiros, a rota e a idade do veículo. No entanto, estes detalhes não são captados nesta análise.

⁶ Ministério do Meio Ambiente (2011). 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários.

Como resultados, o Gráfico 1 ilustra a quantidade em toneladas por ano de CO₂ emitidos pelas diferentes composições de frota. Foram comparados os Cenários 2, 3 e 4 com a atual frota de transporte coletivo da Região Oceânica (Cenário 1).

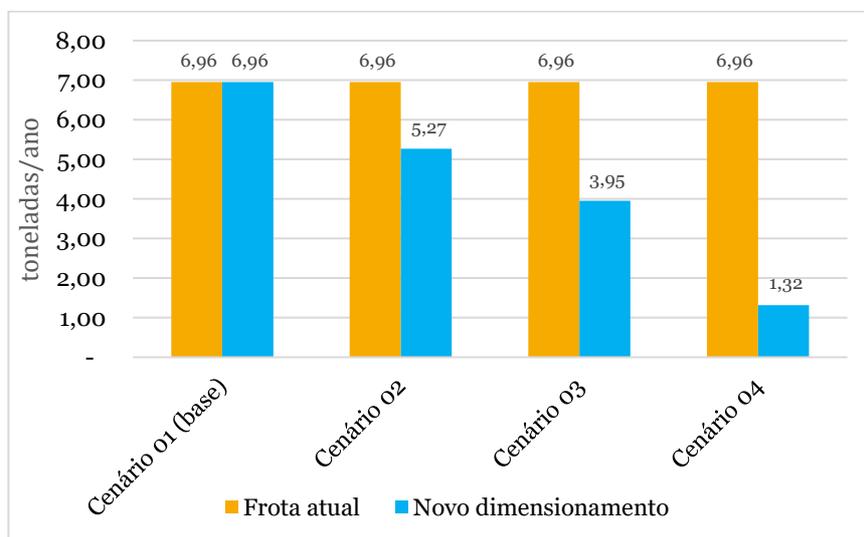
Gráfico 1: Resultados das emissões anuais de CO₂



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil

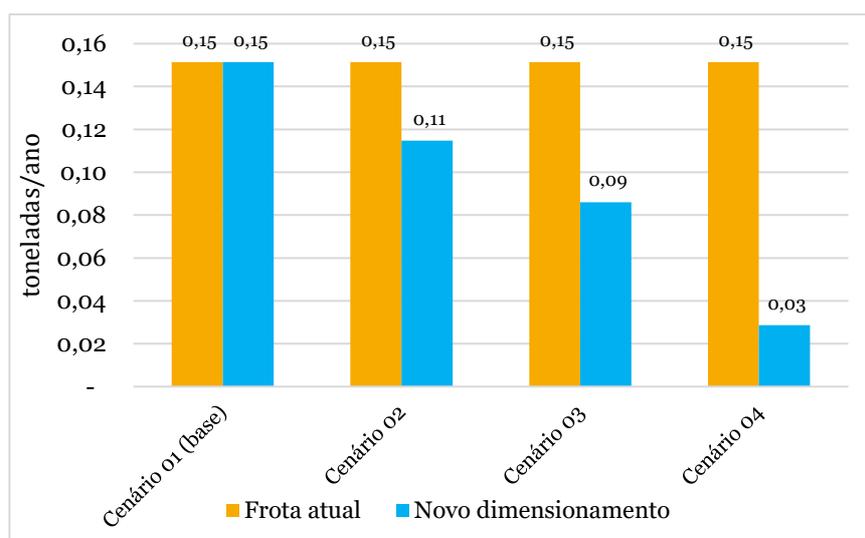
No que tange aos poluentes locais, foram estimadas as emissões de NO_x e MP para os diferentes cenários propostos. Os Gráficos 2 e 3 ilustram os resultados obtidos.

Gráfico 2: Resultados das emissões anuais de NO_x



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil

Gráfico 3: Resultados das emissões anuais de MP



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil

Estima-se que o novo dimensionamento e a inserção dos ônibus elétricos no corredor BHLS proporcionem uma redução - dos três poluentes analisados - de 24% no Cenário 2 (20 ônibus elétricos), 43% no Cenário 3 (40 ônibus elétricos) e 81% no Cenário 4 (80 ônibus elétricos). Cabe salientar que apenas com o novo dimensionamento do sistema do corredor, sem a inserção dos veículos elétricos, a redução prevista nas emissões seria de aproximadamente 5%.

Custos

Para avaliar o impacto nos custos, foram estimados os custos de manutenção e combustível – ambos anualizados - para os 4 diferentes cenários. Para isso, utilizou-se os dados fornecidos pela Secretaria de Urbanismo de Niterói referentes aos ônibus EURO V que operam no corredor. Em relação aos custos dos ônibus elétricos, foram utilizados dados referentes às experiências recentes de operação reportadas ao WRI. A Tabela 6 ilustra os parâmetros considerados na análise de custos.

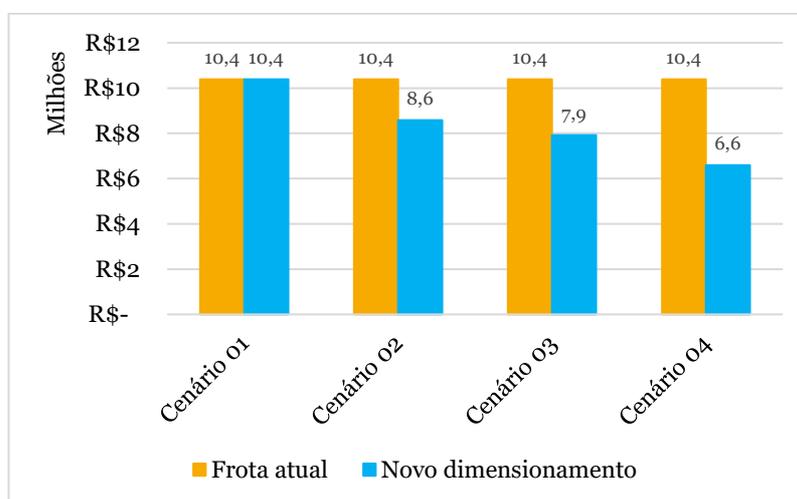
Verificou-se uma redução de 17% (R\$ 1,80 milhões) nos custos de operação (manutenção e combustível) no Cenário 2, 24% (R\$ 2,46 milhões) no Cenário 3 e 36% (R\$ 3,78 milhões) no Cenário 4. Tais valores estão alinhados com um estudo da *Bloomberg New Energy Finance* (2018), que afirma que é possível observar uma economia operacional significativa em grandes cidades nas quais os ônibus percorram mais de 220 km/dia. O Gráfico 4 ilustra a evolução dos custos nos cenários analisados.

Tabela 6: Parâmetros de entrada utilizados

Tecnologia	Custo médio anual de manutenção	Custo médio de combustível
EURO V	R\$ 16.112/ônibus	R\$ 3,90/L ⁷
Elétrico	R\$ 16.977/ônibus	R\$ 0,64/kWh ⁸

Fonte: elaborado pelo WRI Brasil

Gráfico 4: Resultados dos custos de operação



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil

O custo de combustível apresenta uma redução gradativa ao longo da inserção de veículos elétricos na frota. A economia estimada com esses gastos é de 14% (R\$ 1,1 milhões) no Cenário 2, 22% (R\$ 1,77 milhões) no Cenário 3 e 39% (R\$ 3,12 milhões) no Cenário 4.

Para os custos de manutenção, a economia também é evidente. Porém, é importante ressaltar que a redução desse custo se deve não só pela inserção dos elétricos, mas devido também ao novo dimensionamento operacional do Corredor Transoceânico.

⁷ ANP (2018). Síntese dos Preços Praticados. Niterói. Resumo I - Diesel S10 R\$/L.

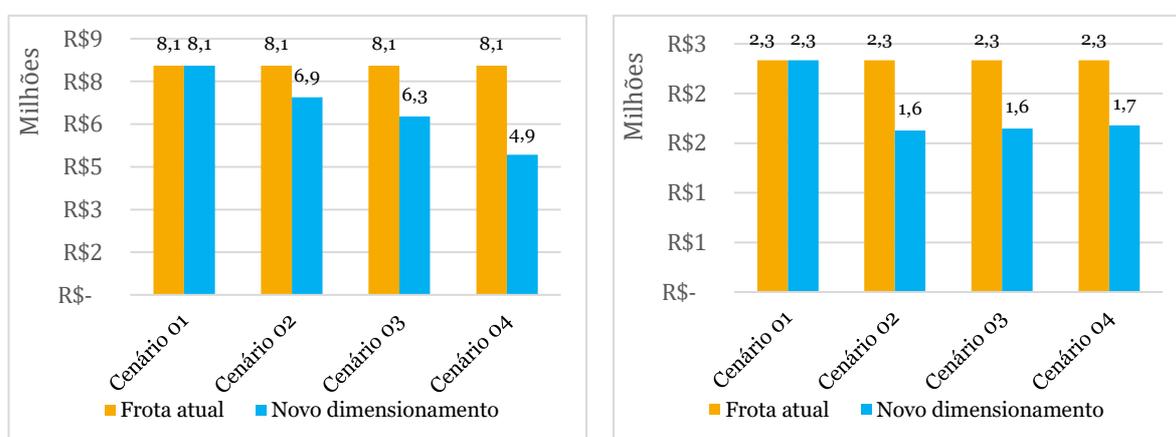
⁸ ENEL (2018). Ranking das Tarifas. Enel RJ.

Adicionalmente, deve ser apontada outra particularidade dos custos de manutenção dos ônibus diesel em Niterói. No geral, em cidades brasileiras e no cenário internacional, o custo de manutenção de um ônibus elétrico é inferior aos ônibus diesel, refletindo uma economia de recursos. No entanto, o custo de manutenção médio reportado dos veículos EURO V de Niterói é menor quando comparado a um valor médio utilizado para o ônibus elétrico⁹.

Isso é justificável pelo fato de que os ônibus que operam no corredor Transoceânico são veículos, relativamente, novos¹⁰ e apresentam baixos custos de manutenção. Não obstante, ainda segundo o estudo da *Bloomberg New Energy Finance* (2018), os ônibus elétricos exigem manutenção menos frequente que os veículos diesel e esse custo tende a ser menor.

O Gráfico 5 exemplifica a evolução dos custos de manutenção e combustível nos cenários analisados neste relatório.

Gráfico 5: Resultados dos custos de combustível e manutenção, respectivamente



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil

Vale salientar que a análise dos custos anualizados não representa um fluxo de caixa e sim um comparativo entre o Cenário 1 que corresponde a atual frota da Região Oceânica e os demais cenários que consideram uma inserção gradual de ônibus elétricos na composição da frota.

Recomendações Técnicas

Atualmente, a experiência da operação dos ônibus elétricos em diversas cidades permite a elaboração de algumas recomendações técnicas relevantes no processo de implementação com o intuito de maximizar as potencialidades e minimizar as incertezas associadas à nova tecnologia.

A economia nos custos de combustível e manutenção dos ônibus elétricos são fundamentais para garantir a viabilidade econômica da tecnologia elétrica em relação a tecnologia diesel. Neste sentido, destaca-se neste primeiro momento a importância do treinamento e preparação

⁹ Valor médio reportado ao WRI Brasil conforme operação de 11 ônibus elétricos.

¹⁰ Idade média de 1,5 anos para os EURO V – 1721 e 3,5 anos para os EURO V – 1519.

dos futuros motoristas e da equipe responsável pela manutenção dos ônibus elétricos bem como previsto no Caderno de especificações para aquisição dos ônibus integrantes da Transoceânica fornecido pelo Município de Niterói.

A eficiência de um ônibus elétrico pode variar consideravelmente conforme o tipo de condução do motorista. Dados de dois ônibus elétricos em operação na cidade de Santiago do Chile apontam que diferentes motoristas consomem valores de 0,67 a 1,23 km/kWh em condições operacionais similares. Portanto, para assegurar um bom desempenho destes veículos, é extremamente importante garantir o treinamento e adaptação destes motoristas à nova tecnologia.

Na mesma linha, a utilização de peças diferentes e em menor número dos ônibus elétricos requer uma nova abordagem de manutenção destes veículos que, apesar de simplificada, ainda não é conhecida. Assim, a capacitação da equipe responsável pela manutenção na empresa operadora, alinhado com o acompanhamento da empresa fabricante dos ônibus, é fundamental para garantir o desempenho operacional adequado destes veículos ao longo de toda sua vida útil.

Um outro ponto importante para assegurar o melhor desempenho dos ônibus elétricos é identificar a melhor rota de operação. A tecnologia elétrica possui um dispositivo mecânico chamado de frenagem regenerativa que permite a geração da energia nos momentos de frenagem do veículo. Por isto, testar os ônibus elétricos em rotas com diferentes variações de declividade, em tráfego misto e segregado e com diferentes demandas são formas de identificar quais características de rota permitem usufruir ao máximo das potencialidades da nova tecnologia.

Adicionalmente, recomenda-se para a implementação dos ônibus elétricos a criação de indicadores de desempenho que permitam avaliar quais fatores influenciam na eficiência dos ônibus, identificando, por exemplo o impacto da rota e do motorista na eficiência dos veículos. Para o desenvolvimento desses indicadores pode ser interessante a troca de experiência com cidades que já operam essa tecnologia.

Atualmente, um dos fatores de maior incerteza em relação aos ônibus elétricos é a bateria. Não só pelo seu custo, que representa em média 60% do valor do veículo, mas também pela incerteza em relação a sua capacidade operacional ao longo dos anos. Os ônibus elétricos possuem uma vida útil de 15 anos e garantir a boa eficiência da bateria ao longo de todo este período é fundamental para assegurar o baixo custo operacional destes veículos.

Parte desta incerteza em relação a eficiência da bateria é mitigada pela garantia de desempenho oferecida pelo fabricante para toda vida útil do veículo. Neste sentido, reforça-se a importância do monitoramento adequado da eficiência destes ônibus para subsidiar uma eventual necessidade de substituição de baterias.

Por fim, outra recomendação importante a se fazer é referente ao planejamento da tarifa de energia a ser utilizada para recarga dos veículos. Isto porque, entre outros fatores o valor da energia varia não só conforme a quantidade de energia consumida, mas também em função do horário de consumo e do consumo total mensal previsto por exemplo. Neste sentido, o planejamento adequado do consumo de energia e o alinhamento contratual com a distribuidora de energia são pontos importantes para assegurar o melhor custo possível da energia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As emissões do setor de transportes, além de representarem uma parcela expressiva das emissões totais de gases de efeito estufa, impactam significativamente na qualidade do ar dos centros urbanos. Ao considerar a importância do setor de transportes para o desenvolvimento das cidades e a tendência de crescimento da população urbana, torna-se urgente minimizar os impactos ambientais deste setor.

Uma das alternativas para um transporte urbano sustentável é o incentivo a um sistema de transporte coletivo eficiente e limpo. No entanto, a adoção de tecnologias limpas no transporte coletivo urbano ainda enfrenta alguns desafios. Destacam-se aqui o alto investimento inicial, as incertezas da nova tecnologia, a resistência dos operadores de ônibus e os atuais modelos de contratos de operação.

Como resultados da análise de emissões, a inserção dos 40 ônibus elétricos tem potencial de redução de 43% das emissões dos três poluentes analisados. Esse percentual corresponde a um total de 2.380,0 t/ano de CO₂, de 3,0 t/ano de NO_x e de 65,4 kg/ano de Material Particulado. Além do impacto nas emissões, os ônibus elétricos permitem uma redução significativa nos níveis de ruídos. Desde 1972 que a Organização Mundial de Saúde (OMS) considera o ruído como um poluente e, desde 2003, o reconhece como o terceiro mais prejudicial à saúde, atrás da poluição do ar e da água.

Nesta linha, a implementação dos ônibus elétricos prevista prefeitura de Niterói representa uma iniciativa potencial não só para atenuar os impactos ambientais do setor de transportes, mas também para impulsionar a adoção de ônibus elétricos em mais cidades brasileiras.

No que tange aos custos, estima-se uma economia nos custos de operação (manutenção e combustível dos ônibus) de 24% (R\$ 2,46 milhões) com a inserção dos 40 ônibus elétricos no novo sistema BHLS. Esse valor leva em conta tanto a redução na frota operante da Região Oceânica quanto os custos médios de operar os ônibus elétricos.

Em síntese, destaca-se que os ônibus limpos apresentam potenciais benefícios econômicos e ambientais para as cidades. Assim, ainda que estas tecnologias se mostrem cada vez mais atrativas, é fundamental a implementação de políticas públicas para impulsionar esta transição.



WRI BRASIL

SÃO PAULO

RUA CLÁUDIO SOARES, 72 CJ.1510
PINHEIROS, SÃO PAULO - SP
05422-030, BRASIL
+55 11 3032 1120

PORTO ALEGRE

AV. INDEPENDÊNCIA, 1299 CJ. 401
PORTO ALEGRE - RS
90035-077, BRASIL
+55 51 3312 6324

WRIBRASIL.ORG.BR