



## SUSTENTABILIDADE URBANA POR MEIO DE ANÁLISE DE TECNOLOGIAS RENOVÁVEIS NO TRANSPORTE PÚBLICO DA CIDADE DE CURITIBA

<sup>1</sup>Alexandre Dullius

<sup>2</sup>Erick Renan Xavier de Oliveira

<sup>3</sup>Maclovía Corrêa da Silva

<sup>4</sup>Carlos Roberto Sanquetta

### RESUMO

Trabalhar questões de sustentabilidade no meio urbano é um dos grandes desafios da atualidade. Uma das formas de se alcançar metas deste porte é por meio da inserção de tecnologias sustentáveis no setor de transporte público. Pode-se citar exemplos como o uso de biocombustível em substituição aos combustíveis fósseis e também a adoção de ônibus elétrico híbrido. Substituições deste tipo vem sendo realizadas no transporte coletivo da cidade de Curitiba, Paraná, que tem sido pioneira neste tipo de gestão e que possui 1,7 veículos por habitante. Sendo assim, a proposta do artigo é questionar em que medida estas ações contribuem para a sustentabilidade do planeta. Para isto foi feita a quantificação de emissões dos veículos que compõem a frota de ônibus da cidade no período de um ano, com avaliação de testes de opacidades e emissões de Gases do Efeito Estufa [GEE]. No período, o setor de transporte público foi responsável pela emissão de aproximadamente 200.000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> eq. O uso de biodiesel no transporte público de Curitiba evitou a emissão de aproximadamente 10.000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>. Os resultados dos testes de opacidade indicaram que o modelo híbrido operando a B100 emite cerca de 93% menos fumaça preta. Verificou-se que existe uma contribuição significativa por parte da cidade para reduzir a emissão de GEE. Pela análise econômica, se toda a frota da cidade de Curitiba fosse híbrida, com o total do volume de combustível utilizado, obter-se-ia uma economia de R\$ 62.558.868,08, valor este que cobriria gastos com saúde pública advindos das emissões do transporte coletivo, por exemplo, de São Paulo, a cidade mais populosa da América do Sul.

**Palavras Chave:** Ônibus Híbrido; Emissões GEE; Transporte Coletivo.

---

<sup>1</sup> Mestre em Bioenergia pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba - UFPR (Brasil)  
Professor do Instituto Federal do Paraná - Campus Paranaguá, Paranaguá – IFPR (Brasil)  
E-mail: [alexandre.dullius@ifpr.edu.br](mailto:alexandre.dullius@ifpr.edu.br)

<sup>2</sup> Mestre em Desenvolvimento Territorial Sustentável pela Universidade Federal do Paraná - Setor Litoral, Matinhos – UFPR (Brasil). Professor da Universidade Federal do Paraná - Setor Litoral, Matinhos – UFPR (Brasil).  
E-mail: [erickxavier@live.com](mailto:erickxavier@live.com)

<sup>3</sup> Pós-doutorado em Política Científica e Tecnológica no Instituto de Geociências, São Paulo – UNICAMP (Brasil).  
Professora do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Sociedade pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – UTFPR (Brasil). E-mail: [macloviasilva@utfpr.edu.br](mailto:macloviasilva@utfpr.edu.br)

<sup>4</sup> Pós-doutorado em Manejo de Ecossistemas pela Japan Society for the Promotion of Science, Japão – JSPS (Japão).  
Professor pela Universidade Federal do Paraná Departamento de Ciências Florestais, Curitiba - UFPR (Brasil).  
E-mail: [carlos\\_sanquetta@hotmail.com](mailto:carlos_sanquetta@hotmail.com)



## URBAN SUSTAINABILITY BY ANALYSIS OF RENEWABLE TECHNOLOGIES IN THE PUBLIC TRANSPORT OF THE CITY OF CURITIBA

### ABSTRACT

To work sustainability issues in the urban environment is one of the great challenges in current. One of the ways to reach goals of this size is through the insertion of sustainable technologies in the public transportation sector. Examples include the use of biofuel instead of fossil fuels and the adoption of hybrid electric buses. Such replacements have been carried out in the collective transportation of the city of Curitiba, Paraná, which has been a pioneer in this type of management and has 1.7 vehicles per inhabitant. Therefore, the proposal of the article is to question the extent to which these actions contribute to the sustainability of the planet. For this purpose, emissions from the vehicles that compose the city's bus fleet were quantified over a one-year period, with evaluation of opacity tests and greenhouse gas emissions [GHG's]. In the period, the

public transport sector was responsible for the emission of approximately 200,000 metric tons CO<sub>2</sub> eq. The use of biodiesel in public transportation in Curitiba prevented the emission of approximately 10,000 metric tons of CO<sub>2</sub>. The results of the opacity tests indicated that the hybrid model operating the B100 emits about 93% less black smoke. It was verified that there is a significant contribution by the city to reduce the emission of GHG's. By economic analysis, if the entire fleet of the city of Curitiba were hybrid, with the total volume of fuel used, an economy of R \$ 62,558,868.08 would be obtained, which would cover public health expenditures emissions from public transportation, for example, from the city of São Paulo, the most populous in South America.

**Keywords:** Hybrid Bus; GHG Emissions; Collective Transportation.

## SOSTENIBILIDAD URBANA POR MEDIO DE ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS RENOVABLES EN EL TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE CURITIBA

### RESUMEN

Trabajar cuestiones de sostenibilidad en el medio urbano es uno de los grandes desafíos de la actualidad. Una de las formas de alcanzar metas de este porte es por medio de la inserción de tecnologías sostenibles en el sector de transporte colectivo. Se pueden citar ejemplos como el uso de biocombustible en sustitución de los combustibles fósiles y también la adopción de un autobús eléctrico híbrido. Las sustituciones de este tipo se vienen realizando en el transporte colectivo de la ciudad de Curitiba, Paraná, que ha sido pionera en este tipo de gestión y que posee 1,7 vehículos por habitante. Por lo tanto, la propuesta del artículo es cuestionar en qué medida estas acciones contribuyen a la sostenibilidad del planeta. Para ello se realizó la cuantificación de emisiones de los vehículos que componen la flota de autobuses de la ciudad en el período de un año, con evaluación de pruebas de opacidades y emisiones de gases de efecto invernadero [GEI's]. En este período, el sector de transporte

colectivo fue responsable por la emisión de aproximadamente 200.000 toneladas métricas CO<sub>2</sub> eq. El uso de biodiesel en el transporte colectivo de Curitiba evitó la emisión de aproximadamente 10.000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>. Los resultados de las pruebas de opacidad indicaron que el modelo híbrido operando a B100 emite aproximadamente 93% menos de humo negro. Se verificó que existe una contribución significativa por parte de la ciudad para reducir la emisión de GEI. A partir del análisis económico, si toda la flota de la ciudad de Curitiba fuese híbrida, con el total del volumen de combustible utilizado, se obtendría una economía de R\$ 62.558.868,08, valor que podría cubrir los gastos con salud pública provenientes de las emisiones del transporte colectivo, por ejemplo, de una ciudad como São Paulo, considerada la más poblada de América del Sur.

**Palabras-clave:** Autobús híbrido, emisiones de GEI, transporte colectivo.



## INTRODUÇÃO

Nos últimos séculos, a utilização dos recursos de origem fóssil tem contribuído de forma significativa para o desenvolvimento das sociedades. Entretanto, a humanidade tem presenciado verdadeiros colapsos e catástrofes ambientais, devido ao aumento das emissões de gases poluentes, potencializadores do efeito estufa.

No ano de 1988, foi criado o *Intergovernmental Panel on Climate Change* [IPCC] ou Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, que reúne cientistas de todos os lugares do mundo a fim de discutir esforços para construir e divulgar maiores conhecimentos acerca da mudança climática causada pelo homem, ou seja, sua finalidade centra-se em estabelecer as bases e medidas necessárias a fim de neutralizar e reduzir as problemáticas do clima ocasionadas pela ação do homem.

O IPCC, em uma de suas ações, desenvolveu metodologias para elaboração de inventários de emissões. Essas metodologias buscam estimar e quantificar o total de emissões de GEE's, sendo realizadas por cálculos que levam em conta fatores de emissão ou até mesmo a medição direta. Geralmente, as metodologias são aplicadas pelos setores da economia dos países com vistas a fornecer um diagnóstico das emissões. A partir dessa diagnóstico é possível planejar um conjunto de ações e boas práticas de redução das emissões de GEE's, priorizando o controle da qualidade e a eficiência no uso dos recursos (IPCC, 1996).

De acordo com o IPCC (1996), os gases de efeito estufa (GEE's) compreendem: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), as famílias dos perfluorcarbonos (PFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), Trifluoreto de azoto (NF<sub>3</sub>), Pentafluoreto enxofre Trifluoromethyl (SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>) e, ainda, éteres halogenados e outros halocarbonos.

As consequências das sucessivas e incontáveis emissões destes gases causam o aquecimento global, considerado o principal problema ambiental da atualidade. Isto porque, vem afetando todo o planeta e comprometendo irremediavelmente o equilíbrio dos ecossistemas. Estimativas indicam que estas alterações poderão ser catastróficas diante da contínua tendência de aumento da população mundial (Seiffert, 2009).

Além disto, efeitos advindos destas catástrofes estão sendo considerados um grande problema de saúde pública devido aos danos a saúde das populações (*United States Environmental Protection Agency* [US EPA], 2013). Dentre os principais poluentes que afetam diretamente a saúde humana pode-se destacar: o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), as substâncias orgânicas tóxicas, os materiais

particulados (MP), e ainda os advindos do efeito do *smog* fotoquímico dos quais cita-se os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e os compostos orgânicos voláteis (Guariero, Vasconcellos, & Solci, 2011).

O setor de transporte público é um dos maiores contribuintes para aumentar as emissões tanto de GEE's como de poluentes. No Brasil, o consumo de diesel em 2009 foi responsável por 53% do total das emissões de CO<sub>2</sub> do setor (Ministério do Meio Ambiente [MMA], 2011), ao passo que a poluição no estado de São Paulo, entre os anos de 2006 e 2011 foi responsável por 17.443 mortes (Vormittag, Saldiva, & Miranda, 2013).

Dentro deste cenário, as energias renováveis podem desempenhar papel importante de limitador das consequências ambientais, uma vez que podem substituir total ou parcialmente, as energias fósseis, contribuindo para a diversificação da matriz energética do país e do mundo. Entre os combustíveis renováveis, o biodiesel é uma mistura de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou gorduras animais, obtido através da reação de transesterificação que ocorre na presença de óleo, álcool e de um catalisador (Dabdoub, Bronzel, & Rampin, 2009). Em relação ao óleo diesel, utilizado no setor de transportes brasileiro, em motores de ignição por compressão, o biodiesel emite cerca de 75% menos CO<sub>2</sub>, se utilizado puro, nestes mesmos motores (Dália, 2006).

O biodiesel foi inserido na matriz energética brasileira através da Lei 11.097 de 13 de maio de 2005. Entretanto, sua incorporação (adição em percentuais ao óleo diesel) foi realizada de forma gradativa, uma vez que já tivemos percentuais de biodiesel 2%, 5%, e 7%. Atualmente, o percentual está em 8%, e estima-se que seja aumentado para 10% até março de 2018 (Lei n. 13263, 2016).

Os veículos híbridos também têm surgido no país como uma alternativa para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> no setor rodoviário, principalmente em grandes capitais do país. Funcionam com um motor de combustão interna, e são capazes de converter energia em eletricidade, estocada em uma bateria até que o motor elétrico entre em funcionamento, tracionando o veículo. Assim, ele economiza a energia requerida pelo motor de combustão interna. Isso permite que o motor de combustão interna seja mais eficiente, use menos combustível, reduzindo significativamente a emissão de gases do efeito estufa (Queiroz, 2006).

Os veículos movidos à eletricidade e biodiesel podem reduzir em até 90% a emissão de poluentes, na comparação com os ônibus que circulam atualmente. Recentemente, na cidade de Curitiba-PR, houve a inclusão de 30 ônibus híbridos na frota do transporte coletivo da cidade com motor elétrico e motor do ciclo diesel operando a diesel e a biodiesel. Acredita-se que este modelo modal possa servir de referência a outras



capitais do país, uma vez que com a redução das emissões dos GEE's, reduz os riscos de doenças para a população local, oriundas das mudanças climáticas (Raspanti, 2013).

Destarte, a humanidade precisa de soluções sustentáveis que limitem a concentração de GEE's na atmosfera, e uma maneira de realizar tais intervenções é através da visualização das emissões, ou seja, quantificar o que é emitido de cada gás. O Programa Brasileiro GHG *Protocol* é uma ferramenta que possibilita, através de sua metodologia, a realização de inventários de gases de efeito estufa. É um programa brasileiro compatível com as normas ISO e com as diretrizes de qualificações do IPCC para contabilização, cálculo, elaboração e publicação de relatório voluntário de GEE's, com vistas a oferecer soluções que contribuam para uma economia de baixo carbono.

Diante do contexto apresentado sobre o aumento de catástrofes ambientais; aumento de emissões de GEE's; doenças ocasionadas pelo aumento da poluição e a disponibilidade de novas tecnologias, mais limpas para o setor de transporte público, o artigo procura conhecer em que medida as ações de sustentabilidade propostas para o transporte coletivo pela cidade de Curitiba contribuem para reduzir a emissão de GEE's. As tecnologias limpas proporcionam ganhos socioambientais e colaboram na implantação de ações sustentáveis.

Desta forma, o presente estudo quantifica as emissões totais emitidas no setor de transporte público da cidade de Curitiba durante o período de setembro de 2012 a agosto de 2013 para avaliar as mudanças provindas do uso diferenciado de combustíveis. Além disso, a cidade introduziu nova frota de ônibus movidos a diesel, híbrido B5 e híbrido B100 e biocombustível. O estudo apresenta dados sobre a emissão de GEE's provinda do setor de transporte público de Curitiba, elenca benefícios econômicos, ambientais e sociais com a inserção de tecnologias renováveis, e contribui com as discussões sobre a necessidade de redução do uso de derivados do petróleo e a consequente redução de GEE's.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Os GEE's potencializam as mudanças climáticas tão presentes na atualidade. O efeito estufa é um evento natural, responsável pela filtração dos raios ultravioletas do sol, nocivos ao ecossistema terrestre. No entanto, a ação antrópica durante milênios contribuiu com um grande acréscimo de gases à atmosfera, principalmente a partir da queima de combustíveis fósseis (Seiffert, 2009).

Devido à diferença de potencial dos gases em relação a sua contribuição para o aquecimento global, determinou-se sua medida em equivalência em CO<sub>2</sub>. Ela é usada para comparar as emissões de diversos

GEE's, tendo como base a quantidade de CO<sub>2</sub> que teria o mesmo potencial de aquecimento global- *Global Warming Potential* [GWP], medido em um determinado período de tempo, estimando e quantificando quanto do impacto ambiental foi gerado por uma mesma quantidade de uma diferente espécie de gás (Seiffert, 2009).

O CO<sub>2</sub> equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de um determinado GEE's e pelo seu potencial de aquecimento global. Assim o GWP de determinado gás expressa quanto mais, ou quanto menos, o mesmo tem o potencial de contribuir para o efeito estufa comparado com a mesma quantidade de CO<sub>2</sub> emitida ao mesmo tempo. Considerando um período de 100 anos como referência, o GWP do CO<sub>2</sub> corresponde a 1 (um), o CH<sub>4</sub> equivale a vinte e um e o N<sub>2</sub>O equivale a trezentos e dez (Seiffert, 2009).

Conforme dados do primeiro inventário nacional das emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários, as emissões do setor de transporte no Brasil de CO<sub>2</sub> por categoria de veículo, no caso, ônibus urbano, representam uma emissão de 14% do total das emissões. As projeções do estudo apontaram uma redução de apenas 4% para 2020 (MMA, 2011).

Com relação à utilização dos combustíveis, os resultados da emissão de CO<sub>2</sub> mostram que do total de emissões do setor de transporte rodoviário em 2009, 53% ocorreu em função da queima de óleo diesel de origem fóssil, 2% do biodiesel, 26% da gasolina, 17% do etanol e 2% do Gás Natural Veicular [GNV]. As projeções do estudo indicam que para 2020, as emissões de CO<sub>2</sub> originadas da queima de diesel fóssil representaram ainda, 49% do total das emissões, 21% da utilização da gasolina, 3% do GNV, 24% do etanol e 3% do biodiesel (MMA, 2011).

Esta estimativa apresenta um cenário nada atraente ao setor de transporte público o que implica na manutenção e não redução das emissões de GEE's que potencializam o aquecimento global, bem como, aos riscos de catástrofes ambientais e danos ocasionados para a saúde da população que reside em grandes centros urbanos e inala os poluentes advindos da queima dos combustíveis.

## Principais Poluentes e seus Efeitos no Organismo Humano

Ao respiramos, o ar entra pelas vias respiratórias, passa pela faringe, traqueia e vai para os brônquios e bronquíolos no pulmão. Lá ele passa pelos alvéolos, que são unidades celulares do órgão respiratório, no qual são realizadas as trocas gasosas. O ar inspirado se mistura com o ar residual aumentando as pressões do gás oxigênio e do gás carbônico (Gamble; Ebi, Sussman, & Wilbanks, 2008).





Quando inalamos uma fumaça, por exemplo, menos oxigênio vem para o organismo dificultando a respiração, e a substituição de oxigênio por uma maior concentração de monóxido de carbono se liga rapidamente ao sangue, podendo ocasionar doenças respiratórias e em alguns casos até levar a morte (Gamble; Ebi, Sussman, & Wilbanks, 2008).

A principal emissão de CO é advinda do transporte rodoviário. Nos seres humanos, a inalação é vista como um veneno, uma vez que pode deslocar a ligação do O<sub>2</sub> à hemoglobina. Os sítios ativos da hemoglobina ligam-se com o CO 320 vezes mais do que com o O<sub>2</sub>, e esta alta afinidade significa que, no sangue, o CO ocupa aproximadamente 1% dos sítios de ligação da hemoglobina (Spiro & Stigliani, 2009).

Quando a concentração do ambiente atinge 100 partes por milhão [ppm] de CO, a ocupação do percentual dos sítios de ligação de hemoglobina se eleva para 16% podendo causar dores de cabeça e falta de ar. A gravidade dos efeitos depende da duração da exposição e do nível de esforço. Isto porque o CO inalado leva algum tempo para se equilibrar com o sangue em circulação (Spiro & Stigliani, 2009).

Essa substituição de monóxido de carbono por oxigênio na hemoglobina em níveis de emissão de CO entre 200 e 250 ppm pode ocasionar perda de consciência, e em concentrações superiores a 750 ppm conduz rapidamente a morte (Spiro & Stigliani, 2009).

Em seu trabalho, Queiroz (2006) define o monóxido de carbono como uma substância inodora, insípida e incolor, que atua no sangue prejudicando a sua oxigenação. Relata ainda, que uma pequena quantidade pode saturar uma grande quantidade de hemoglobina, diminuindo a capacidade de transporte de oxigênio, resultando em intoxicação, podendo desencadear doenças do coração, além de afetar o sistema nervoso central.

Os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos [HPAs] se formam como subproduto da queima de combustível de carbono, presentes inicialmente em baixos níveis nos gases de exaustão dos veículos, e posteriormente, em maiores níveis quando grandes quantidades de partículas de fuligem são produzidas, principalmente nos gases de exaustão dos motores diesel. Essas substâncias, ao serem inaladas, podem causar problemas a saúde, visto que são consideradas como potenciais carcinogênicas. Além disso, a sua ingestão através da água pode causar, em certa medida, mutações genéticas (Guariero, Vasconcellos, & Solci, 2011).

## Material Particulado na Atmosfera

<sup>5</sup> Em uma combustão, na sua maioria das vezes o oxidante é o ar atmosférico, cuja composição volumétrica aproximada é 78,08% de nitrogênio,

São denominados materiais particulados as partículas sólidas ou líquidas presentes na atmosfera, e sua quantificação é conhecida por Material Particulado Total em Suspensão [MPTS], que constitui uma medida de massa total por unidade de volume expresso em micron grama por metros cúbicos ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) (Rocha, Rosa, & Cardoso, 2009).

As partículas sólidas são emitidas durante a combustão dos combustíveis e a queima de biomassa. Elas podem ser constituídas por uma ampla variedade de substâncias, e a maior preocupação para a saúde na emissão de partículas está presente em partículas com diâmetro de 2,5  $\mu\text{m}$  e 10  $\mu\text{m}$  denominadas PM 2.5 e PM 10, respectivamente (*International Agency for Research on Cancer* [IARC], 2006).

As partículas menores do que 2,5  $\mu\text{m}$  são conhecidas como finas e as maiores a 2,5  $\mu\text{m}$  são conhecidas como grossas. Vale ressaltar que quanto menor for a partícula, maior dano pode causar à saúde humana, uma vez que possuem grande potencial de atingir o pulmão e ali ficarem retidas. As partículas de fuligem estão presentes nos gases de combustão dos motores diesel presente no transporte coletivo (IARC, 2006).

## Combustíveis

O combustível representa uma substância química, que quando entra em contato com um oxidante<sup>5</sup>, pode produzir uma reação que libera calor (em forma de energia) denominado reação exotérmica. Compostos formados por carbono e hidrogênio são, geralmente, considerados bons combustíveis. Contudo, carbono e hidrogênio apresentam-se acompanhados nesta composição por outros elementos, como enxofre, nitrogênio e oxigênio, além de pequenas quantidades de metais como vanádio e sódio, que quando utilizados em aplicação de combustível veicular, por exemplo, ferro, alumínio e outros compostos podem entrar em composição (Carvalho & Mcquay, 2007).

Diversos fatores devem ser analisados quando se trata de qualidade de combustíveis, dentre estes citam-se: a eficiência do processo, características de formação de poluentes, facilidade de controle e presença de impurezas.

A combustão é a queima de um material com o oxigênio do ar e neste processo há a liberação gases e partículas. As partículas formadas apresentam vários tamanhos: as maiores são visíveis na forma de fumaça e as menores, são impossíveis de serem visualizadas. Os gases formados na combustão são invisíveis aos olhos humanos e não tem cheiro ou se acham em quantidades insuficientes para serem detectados pelo odor.

20,95 % de oxigênio, 0,93% argônio, 0,03 % de dióxido de carbono e 0,01% de outros gases (neônio, hélio, metano, etc) (Perry & Chilton, 1973).



A utilização de óleo como combustível no Brasil assume interesse político durante a segunda guerra mundial, quando a exportação de óleo de algodão no Brasil foi proibida, com a alegação que este produto poderia ser utilizado para substituir as importações de óleo diesel no país (Dabdoub, Bronzel, & Rampin, 2009).

No entanto, a utilização direta de óleos vegetais e/ou mistura de óleos vegetais com diesel não deve ocorrer pelo fato dos mesmos apresentarem alta viscosidade e altos índices de ácidos graxos livres entre outros (Ferrari, Oliveira, & Scabio, 2005).

Nos motores diesel, conhecidos por motores de ignição por compressão, o ar entra no cilindro através do coletor de admissão e é comprimido a altas temperaturas e pressão. E quando entra em contato com o ar em altas temperaturas, o combustível vaporiza-se rapidamente. Ao misturar-se com o ar, provocam reações químicas espontâneas resultando no fenômeno conhecido como ignição espontânea ou alta ignição (Fontana, 2011).

O biodiesel é um combustível que possui características similares ao diesel, e praticamente possuem as mesmas propriedades. Apresenta vantagens em comparação ao combustível fóssil: derivado de matérias-primas renováveis, biodegradável, gera redução nas principais emissões presentes nos gases de exaustão (com exceção do óxido de nitrogênio), e possui um alto ponto de fulgor e apresentar excelente lubrificidade (Ferrari, Oliveira, & Scabio, 2005).

Para reduzir a alta viscosidade dos óleos vegetais, e assim obter o biodiesel, o método mais difundido é transesterificação (Sivaprakasam &

Saravanan, 2007). O processo de transesterificação é o método mais comum e leva a obtenção de alquilmonoésteres de óleos vegetal e ou gordura animal hoje denominado biodiesel quando empregado para fins combustíveis (Gerpen & Knothe, 2006).

### Políticas Públicas de Controle de Poluição no Transporte

No Brasil, o governo tem centrado esforços para a melhoria da qualidade do ar nos centros urbanos através do Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA] que criou em 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores [PROCONVE]. Instituído pela Resolução nº 18/86. O PROCONVE objetiva reduzir as emissões de poluentes de veículos novos, através da implantação progressiva de fases que, gradativamente, obrigam a indústria automobilística a reduzir as emissões nos veículos novos (Confederação Nacional do Transporte [CNT], 2012).

Em relação ao transporte coletivo, no Brasil desde janeiro de 2012 está em vigor a fase P7. Nesta fase, as emissões dos veículos pesados brasileiros são reduzidos significativamente conforme pode-se observar na figura 1. Vale destacar a evolução dos limites de emissão ao longo das fases do PROCONVE para veículos pesados com expressivas reduções nos limites de emissões de poluentes tolerados para veículos novos, principalmente quando comparados com a nova fase P7.

Figura 1 - Limites de emissões ao longo das fases do PROCONVE para veículos pesados

LIMITES DAS EMISSÕES PARA VEÍCULOS PESADOS A DIESEL								
PROCONVE	EURO	CO (g/kW.h)	HC (g/kW.h)	NOx (g/kW.h)	MP (g/kW.h)	Norma (Conama)	Vigência	Teor de enxofre (S)
Fase P1	-	14,00 <sup>1</sup>	3,50 <sup>1</sup>	18,00 <sup>1</sup>	-	Res. 18/85	1989 a 1993	-
Fase P2	Euro 0	11,20	2,45	14,40	0,60 <sup>1</sup>	Res. 08/93	1994 a 1995	3.000 a 10.000 ppm
Fase P3	Euro 1	4,90	1,23	9,00	0,40 ou 0,70 <sup>2</sup>	Res. 08/93	1996 a 1999	3.000 a 10.000 ppm
Fase P4	Euro 2	4,00	1,10	7,00	0,15	Res. 08/93	2000 a 2005	3.000 a 10.000 ppm
Fase P5	Euro 3	2,10	0,66	5,00	0,10 ou 0,13 <sup>3</sup>	Res. 315/02	2006 a 2008	500 a 2.000 ppm
Fase P6 <sup>4</sup>	Euro 4	1,50	0,46	3,50	0,02	Res. 315/02	2009 a 2012	50 ppm
Fase P7	Euro 5	1,50	0,46	2,00	0,02	Res. 403/08	a partir de 2012	10 ppm

CO	monóxido de carbono	HC	hidrocarbonetos	NOx	óxidos de nitrogênio	MP	material particulado	S	enxofre
----	---------------------	----	-----------------	-----	----------------------	----	----------------------	---	---------

Fonte: CNT (2012)

Em relação ao cumprimento das metas do PROCONVE, os objetivos até a fase P5, foram alcançados através da inserção de tecnologias de melhoramento dos motores que compreendem melhorias eletrônicas na injeção do combustível sob

alta pressão à turbo compressores e *intercoolers*, que tornam eficiente a queima, proporcionando assim atingir os níveis de emissão definidos (CNT, 2012).

Já na fase P7, foi necessário crescer sistemas de pós-tratamento dos gases de escapamento. Com isso,



antes de serem lançados à atmosfera, os gases poluentes oriundos da combustão do motor são tratados e convertidos em gases menos danosos ao meio ambiente e à saúde humana. Para que ocorra o tratamento dos gases é necessária uma redução dos níveis de enxofre no diesel. Sendo assim, são necessários combustíveis com teores de enxofre iguais ou menores que 50 ppm de enxofre (CNT, 2012). Como instrumentos vigentes no Brasil para o controle de emissões de poluentes atmosféricos destacam-se as seguintes normativas, a saber:

Resolução CONAMA n° 18, de 06 de maio de 1986 - Institui em caráter nacional o PROCONVE.

Resolução CONAMA n° 08, de 31 de dezembro de 1993 - Estabelece Limites Máximos de Opacidade e de Ruídos para veículos movidos a diesel.

Resolução CONAMA n° 16, de 13 de dezembro de 1995 - Estabelece Limites Máximos de Opacidade para veículos novos a partir de janeiro de 1996 e estabelece a NBR 13037, como procedimento de ensaio para homologação e certificação de novos modelos.

Resolução CONAMA n° 251, de 07 de janeiro de 1999 - Estabelece Limites Máximos de Opacidade a serem exigidos nos programas de Inspeção e Manutenção para os veículos não abrangidos pela Resolução CONAMA 16/93 e define o Opacímetro de Fluxo Parcial, devidamente certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial [INMETRO], como instrumento de medição.

A Portaria n° 85, de 17 de outubro de 1996, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA estabelece como exigência, a adoção de Programa Interno de Autofiscalização da Correta Manutenção da Frota, quanto a Emissão de Fumaça Preta, nas Empresas Transportadoras que possuem veículos movidos a diesel.

Pela legislação vigente, admite-se os seguintes níveis máximos de opacidades atribuídos aos veículos do ciclo diesel, conforme Resolução CONAMA n. 251/99, adotados no quadro a seguir:

Quadro 1 - Limites máximo de opacidade dos veículos fabricado anterior a 1996

Altitude/Tipo de Motor	Naturalmente Aspirado ou Turboalimentado com LDA (Limitador de Fumaça)	Turboalimentado
Até 350 m	1,7 m <sup>-1</sup>	2,1 m <sup>-1</sup>
Acima de 350m	2,5 m <sup>-1</sup>	2,8 m <sup>-1</sup>

Fonte: Resolução CONAMA n. 251 (1999)

Os valores de emissão admitidos para os veículos automotores de ciclo diesel, nacional ou importados, posteriores a 1996 são representados no Quadro 2. Para os veículos fabricados a partir de 1 de janeiro de 1996, a legislação prevê os limites máximos de opacidade estabelecidos pelo fabricante ou encarregador final do veículo, conforme Resolução

CONAMA n° 16/95 e afixados, em etiqueta, na coluna B da porta dianteira direita e de acordo com o manual de proprietário e de serviço do veículo. Para ônibus urbano, os limites máximos de opacidade demonstrados na tabela abaixo, deverão ser fixados por meio de etiqueta afixada no espelho do degrau da porta direita dianteira (Resolução CONAMA n.16, 1995)

Quadro 2 - Limites de opacidade em aceleração livre de veículos a diesel posterior a 1996

Ano-Modelo	Altitude	Opacidade m <sup>-1</sup>
1996-1999	Até 350m	2,1
	Acima de 350m	2,8
2000 e Posteriores	Até 350m	1,7
	Acima de 350m	2,3

Fonte: Resolução CONAMA n. 16 (1995)

O limite máximo de concentração de um poluente atmosférico no Brasil é definido pela resolução n°003 de 26/08/90 do CONAMA, a qual destaca os padrões de qualidade do ar no país. Segundo a resolução, os principais poluentes atmosféricos compreendem: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis,

monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), (Resolução CONAMA n. 3, 1990).

Em seu artigo segundo, nos incisos I e II, ficam definidos dois tipos de padrões da qualidade do ar, a saber: os primários e secundários. Os primários correspondem às concentrações dos poluentes, que quando ultrapassadas, podem afetar a saúde das



populações. Os secundários, dizem respeito às concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo de dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (Resolução CONAMA n. 3, 1990).

Pela medição do nível de opacidade da fumaça emitida pelo escapamento dos veículos a diesel é possível fazer-se o controle das emissões dos ônibus do transporte coletivo, nos grandes centros urbanos por meio de ensaios de medição de opacidade que seguem as diretrizes da Norma Brasileira [NBR] 13037 - Gás de Escapamento Emitido por Motor Diesel em Aceleração Livre - Determinação da Opacidade emitidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT] (ABNT, 2001).

Por meio do controle e conforme o grau de opacidade medido é possível obter-se um diagnóstico, indicando se o veículo encontra-se bem regulado ou necessita de alguma manutenção para redução do consumo e da emissão.

## METODOLOGIA

Trata-se de um estudo quantitativo com considerações qualitativas. Foi utilizada a ferramenta de cálculo do Programa Brasileiro GHG Protocol para elaborar o inventário de emissões de GEE's. Seu percurso metodológico compreendeu inicialmente a quantificação das emissões; análise das emissões de poluentes; análise comparativa das emissões evitadas e econômica, em relação à tecnologia híbrida.

### Quantificação das Emissões de GEE'S

Para efeito deste trabalho, foram avaliadas as emissões única e exclusivamente de fontes móveis

terrestres. Estas emissões são advindas da combustão de gases de veículos da frota ônibus urbano público da cidade.

Na delimitação das unidades operacionais (fronteiras do sistema) considerou-se todo o perímetro do município de Curitiba que está sobre o bioma da Mata Atlântica, em uma área de 435,036 Km<sup>2</sup> com uma população de 1.751.907 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2012).

A análise de emissão teve sua consistência nos dados quantificando emissões compreendidas no período de 12 meses, ou seja, um ano, de setembro de 2012 a agosto de 2013, considerando os seguintes gases de efeito estufa: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Estes expressam relevância nas emissões de GEE's no setor de transporte, oriundos da queima de combustível em ônibus que foram convertidos em tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente, conforme GWP de cada gás.

A frota da cidade apresentou um total de 1.930 ônibus dos quais 34 utilizam biodiesel puro B100 e 30 são ônibus híbridos, sendo que destes, dois operam a B100 e o restante, 1.866 ônibus são movidos a diesel metropolitano, com mistura de 5% de biodiesel conforme legislação vigente. Para quantificar as emissões, a frota foi dividida em: Frota Fóssil, Frota Renovável e Frota Renovável Híbrida B5 e Híbrida B100.

Aplicação metodológica para a obtenção da quantificação dos GEE's: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> foi contabilizada somente na frota que consumiu o combustível diesel, visto que para a quantificação da frota que consumiu biodiesel, a calculadora não considera as emissões de N<sub>2</sub>O nem de CH<sub>4</sub> nos combustíveis renováveis, sendo contabilizadas neste caso, as emissões somente de CO<sub>2</sub> equivalente, utilizando os fatores de emissão disponíveis no banco da mesma que seguem as normas e diretrizes estabelecidas pelo IPCC, apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de Emissão

Combustível	Unidade	Fator de Emissão CO <sub>2</sub> (kgGEE's/un.)	Fator de Emissão CH <sub>4</sub> (kgGEE's/un.)	Fator de Emissão N <sub>2</sub> O (kgGEE's/un.)
Óleo Diesel	Litros	2,6710	0,0001	0,00014
Biodiesel	Litros	2,4991	x	x

Fonte: Programa Brasileiro GHG Protocol (2013)

Desta forma, o cálculo se deu por meio da multiplicação de cada litro consumido de combustível pelo fator de emissão.

### Emissões Poluentes

Para análise de poluentes, se fez uso de dados obtidos junto a empresa de Urbanização de Curitiba

S.A (URBS). Os dados de opacidade aferidos no ônibus foram fornecidos pela empresa, utilizando a metodologia adotada para a realização dos testes de opacidade, que obedece aos parâmetros legais contidos na norma ABNT NBR 13037, sendo o equipamento utilizado (Opacímetro), da marca Napro, Modelo NA9000P que atende às especificações da norma nacional ABNT NBR 12897 (ABNT, 2001).





Para discussões dos dados, bem como comparação do uso de tecnologia híbrida e análise de poluentes emitidos, ressaltando que os comparativos são em relação aos veículos movidos somente a diesel, foram admitidas as seguintes informações de fábrica: Material particulado - Redução de 89%; Óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) – Redução de 80%; CO<sub>2</sub>- Redução de 35%.

#### Análise Comparativa das Emissões Evitadas e Econômica, em Relação à Tecnologia Híbrida

A análise comparativa do estudo ocorreu por meio do cálculo das emissões evitadas e análise econômica sobre o consumo de combustível, e o percurso metodológico está apresentado nas seções 3.3.1 e 3.3.2.

#### Emissões Evitadas

Para considerar emissões evitadas pelo uso de biodiesel, utilizou-se um estudo que apresentou um

fator de emissão para o biodiesel produzido no Brasil que avaliou todo o ciclo de vida de sua cadeia produtiva, considerando um mix médio da matéria prima de 82% de óleo de soja e 18% de sebo bovino, sendo que o fator de emissão utilizado neste fim fora de 862 g/l de CO<sub>2</sub> equivalente (Gazzoni, 2012).

#### Análise Econômica sobre o Consumo de Combustível

Para cálculos da análise econômica se fez uso dos dados apresentados na tabela 2. Observa-se que o hibribus faz em média 3,14 km/l, e o modelo movido a diesel apresenta uma média de 2,03 km/l, representado assim uma diferença de 54,68% em média de economia de combustível por litro rodado e, ainda, uma diferença de 35,35 % de redução do consumo de combustível quando a análise recai para uma distância percorrida de 100Km. Para esta distância seria necessário 49,26 litros de diesel para o modelo B7R da Volvo enquanto que o modelo híbrido consumiria 31,85 litros para a mesma distância.

Tabela 2 - Comparativo do consumo de combustível ônibus diesel e híbrido

Economia de combustível	Modelo B7R Volvo	Modelo Híbrido Volvo	Diferença (%)
Média (km/l)	2,03	3,14	54,68%
Média de consumo em litros para cada 100km rodados.	49,26	31,85	35,35%

Fonte: Adaptado de URBS (2010)

Esta eficiência energética implica diretamente na redução de emissão de gases oriundos do transporte coletivo da cidade pela frota de "Hibribus" significando uma redução de 35% menos dióxido de carbono, 80%

menos óxido de nitrogênio e 89% em material particulado, quando a análise recai em uma projeção de 70.000 km rodados em um ano (Tabela 3).

Tabela 3 - Quantidade de emissão de CO<sub>2</sub>, Nox e PM por ônibus em 1 ano com 70.000 Km rodados.

Projeção anual de emissão para 70.000 km rodados por ônibus	Modelo B7R Diesel Volvo	Modelo Híbrido Volvo	Diferença (%)
Emissão CO <sub>2</sub> (Kg)	90.870	58.560	59,22
Emissão NO <sub>x</sub> (Kg)	637	164	25,75
Emissão MP (Kg)	12,6	1,64	11,2

Fonte: Adaptado de URBS (2010)



Desta forma, se tomou por base as tabelas 2 e 3 para avaliação econômica dos gastos com combustível no período de um ano.

## RESULTADOS

### Emissões Totais de GEE'S

Durante o período estudado, o setor de transporte público da cidade consumiu um total de 74.803.477,00 litros de combustível sendo 72.528.003,898 litros de diesel e 2.275.471,59 litros de biodiesel B100. Por este consumo, o transporte público da cidade foi responsável pela emissão de 184.036,19 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>, 14,93 toneladas métricas de CH<sub>4</sub>, 1,47 toneladas métricas de N<sub>2</sub>O, representando um total de 184.804,93 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> oriundos da utilização de diesel nos motores.

As emissões de biodiesel corresponderam a 14.749,18 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>, sendo 9.062,62 toneladas métricas oriundas dos 5% presentes no diesel, e 5.686,56 toneladas métricas da utilização de biodiesel puro em ônibus com motores adaptados e devidamente regulamentados pela ANP para este fim. Assim, o total de CO<sub>2</sub> equivalente emitido no período correspondeu a uma emissão de 199.554,10 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente.

### Resultados Testes de Opacidade

Pela avaliação dos níveis de opacidade (fumaça preta) é possível identificar o estado de conservação dos veículos do ciclo diesel utilizados no transporte coletivo ônibus urbano. Além disso, os testes de opacidade são utilizados para classificar os níveis de emissão de veículos a diesel e medir o desempenho

ambiental da queima dos combustíveis e/ou biocombustíveis.

No Brasil, conforme relatado neste trabalho, a efetividade se dá por meio de programas de Inspeção e Manutenção, apoiados em resoluções do CONAMA para aprovação ou reprovação dos veículos em uso, através de testes de medição de gases (opacidade) que, obedecem a Resolução CONAMA 251/99. A medição é realizada por meio de um opacímetro que deve ser homologado pelo INMETRO e obedecer a norma brasileira NBR 13.037 - Gás de Escapamento Emitido por Motor a Diesel em Aceleração Livre - Determinação da Opacidade - Método de Ensaio.

Com relevância para este trabalho, apresenta-se na tabela 4, os ensaios da frota híbrida realizados pela URBS, do modelo BR7 da VOLVO. Ambos os veículos se enquadram na fase P7 do PROCONVE. Sendo assim, conforme a resolução n. 003/90 do CONAMA, os limites máximo de concentração de fumaça preta, no perímetro urbano de Curitiba, obedecem aos índices descritos na tabela 3, uma vez que se referem a veículos fabricados posterior ao ano 2000, operando com altitude de mais de 900 metros acima do nível do mar, cujo índice de limite máximo é 2,3 m<sup>-1</sup>.

Inicialmente, faz-se importante relatar que no período avaliado toda a frota apresentou-se em conformidade aos limites máximos estabelecidos pela legislação vigente. Posteriormente, conforme pode-se observar na tabela 5, durante nove meses a nova frota que veio sendo incorporada na cidade apresentou valores significativamente bem abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA, com um destaque representativo aos valores de opacidade emitidos pela frota híbrida operada principalmente com B100.

Tabela 4 Resultados dos ensaios de teste de Opacidade

Média	Jan/13	Fev/13	Mar/13	Abr/13	Mai/13	Jun/13	Jul/13	Ago/13	Set/13	Média
Híbrido B100	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,02	0,01	0,10	0,04
Híbrido B5	0,31	0,30	0,28	0,25	0,24	0,24	0,26	0,12	0,23	0,25
B7R B5	0,29	0,29	0,37	0,34	0,30	0,29	0,27	0,53	0,22	0,32

Fonte: Adaptado de URBS (2012).

Pela tabela, é possível inferir que os ônibus convencionais, representados no modelo BR7 da VOLVO, apresentam maior opacidade na emissão dos gases em relação aos híbridos B100 e B5. O modelo BR7 apresenta 88,90% maior nível de opacidade

emitido quando comparado ao híbrido B100, 56,13%. O melhor cenário está na utilização da tecnologia híbrida com biocombustível. Neste caso, a utilização de 100% biodiesel combinado paralelamente com o motor



elétrico apresenta 93,45% de redução na emissão dos níveis de opacidade.

A redução da opacidade é representativa e favorável ao uso do Biodiesel que, em parte, é explicado pela ausência de enxofre no biocombustível. Isto porque o enxofre compartilha o oxigênio disponível na fase tardia da combustão com o carbono resultante da queima parcial. Em algumas condições de funcionamento do motor, aumentando a produção de material particulado (Maziero *et al.*, 2006).

Em seu trabalho, Guariero, Vasconcellos, e Solci (2011) relatam que os poluentes lançados na atmosfera pelos veículos são provenientes do processo de combustão incompleta. Quando o combustível injetado no cilindro não encontra a quantidade necessária de ar para sua queima, os gases são emitidos diretamente pelo escapamento automotivo, como os óxidos de carbono, óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e enxofre (SO<sub>x</sub>), álcoois, aldeídos, hidrocarbonetos (HC), ácidos orgânicos e material particulado. Ressaltam ainda, que os poluentes primários podem interagir entre

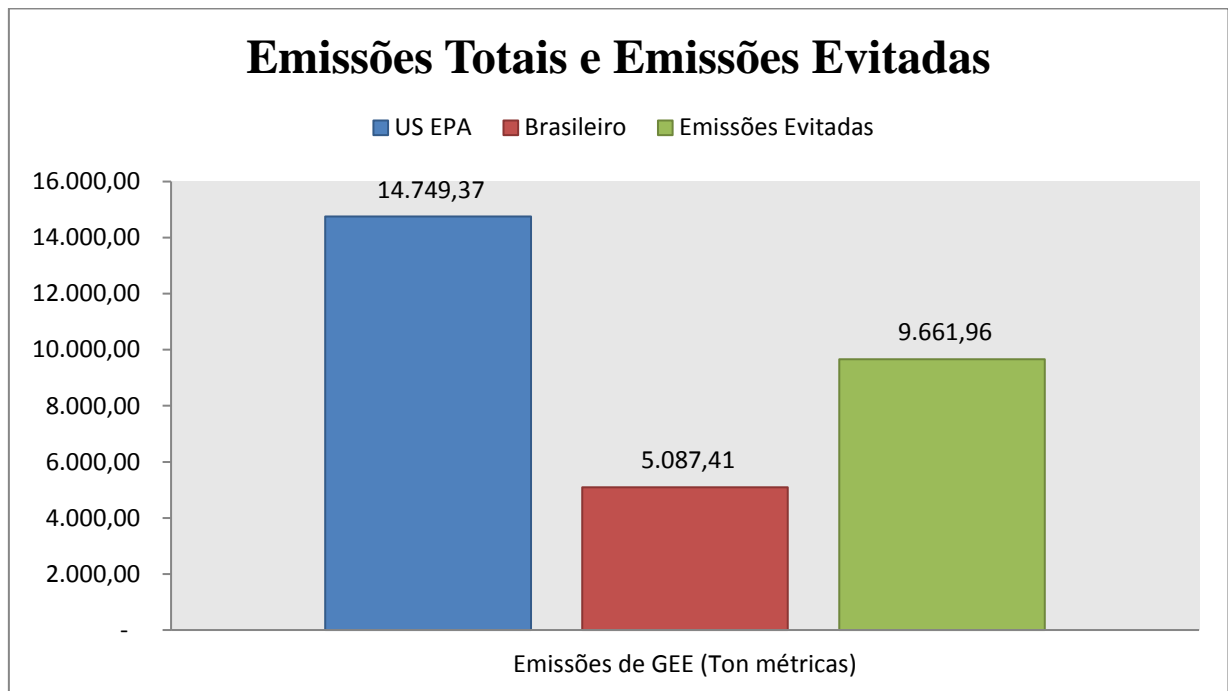
si ou sofrer fotólise e formar os poluentes secundários, como ozônio, nitratos de peroxiacetila (PAN), os quais podem ser tão nocivos ao meio ambiente quanto os primários.

### Emissões Evitadas

Considerando o consumo anual de B100, e mais os 5% de biodiesel presente no diesel, têm-se um consumo de combustível renovável utilizado na frota de ônibus urbano da cidade de Curitiba entre os meses de setembro de 2012 a agosto de 2013 de 5.901.871,78 litros de biodiesel.

Tomando por base o valor total das emissões de B100, oriundos da queima do combustível e descontado os resultados obtidos com o fator de emissão do biodiesel brasileiro, obteve-se uma diferença real na emissão, sendo considerado neste trabalho como emissões evitadas, totalizando um valor de 9.661,96 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente, conforme disposto no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Emissões Totais e Emissões Evitadas pelo uso de Biodiesel com fatores de emissão US EPA e Brasil



Fonte: Dados da pesquisa (2014)

Nos países em desenvolvimento a rápida motorização e a insuficiência de investimentos em planejamento de transportes urbanos, manejo e infraestrutura do tráfego estão criando problemas cada vez mais graves em termos de acidentes e danos à saúde, além de ruídos excessivos, congestionamentos e perda de produtividade, ocasionando um grave impacto sobre as populações urbanas (IEA, 2009).

De acordo com a resolução nº 44/228 da Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento estabeleceu-se uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas ao meio ambiente e desenvolvimento. Nesse sentido, cabe às organizações internacionais e doadores bilaterais a avaliarem uma abordagem abrangente com relação ao planejamento de transportes urbanos priorizando sistemas de transportes



eficientes e ambientalmente saudáveis em todos os países.

Para este fim, há uma orientação no sentido de que os países possam integrar o planejamento do uso da terra e transportes, com vistas a estimular modelos de desenvolvimento que reduzam a demanda de transporte. Outra medida relevante seria adotar programas de transporte urbano que favoreçam o transporte público de grande capacidade. Ao estimular modos não motorizados de transporte, a cidade pode complementar esta política com a construção de ciclovias para pedestre que sejam seguras e incentivar outras modalidades, com especial atenção ao manejo eficaz do tráfego, ao funcionamento eficiente dos transportes públicos e à manutenção da infraestrutura do transporte (ONU, 1989).

A eficiência pode estar representada no aumento do número de passageiros/km como é o caso de metrô e do trem, que exigem melhorias na infraestrutura de transportes, e na automação de sistemas de monitoramento do trânsito. O estímulo ao uso de veículos híbridos proporcionaria mudanças rápidas e diretas no setor de transportes, com o uso de fontes de energias limpas e renováveis, representando eficiência energética e redução das emissões de GEE's (ONU, 1989).

Rosa, Obelheiro, Bolttesini e Lindau (2008) relataram em seus estudos que, por estimativa, em 2050 a população urbana deve crescer em torno de 54% em relação à população de 2008. Se mantido o padrão atual de consumo de combustíveis, as emissões de CO<sub>2</sub> aumentariam 590%. No entanto, os autores apresentam estudos considerando as mesmas condições de população e mobilidade, a utilização plena de biocombustíveis em substituição ao diesel fóssil aumentaria apenas 165% o nível de emissão no país em 2050.

Este trabalho mostrou que, os ganhos ambientais são significativos quando se utiliza combustível renovável. Do total das emissões advindas do transporte por ônibus urbano na cidade de Curitiba, aproximadamente 10.000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> deixaram de ser emitidas no referido ano.

### Análise Econômica

Considerando o consumo de combustível (diesel) anual pelo modelo BR7 da VOLVO como sendo 72.528.003,90 litros, rodando a média de 2,03 km/l, obtêm-se uma distância percorrida de 147.231.847,92 km, ao passo que os ônibus híbridos que fazem em média 3,14 km/l, para percorrer a mesma quilometragem, necessitam 46.889.123,54 litros revelando uma diferença de 35,35 % menos combustível.

Diante disto, considerando o custo do diesel R\$ 2,44 (média de preço fornecida pela ANP entre os dias 12/01 a 18/01/14), e multiplicando o consumo de combustível pelo modelo BR7 da VOLVO e o ônibus híbrido, observou-se que os ônibus movidos a diesel gastariam R\$176.968.329,52 em combustível, enquanto que, os híbridos R\$114.409.461,44.

Portanto, em um ano, é possível obter ganhos financeiros de R\$62.558.868,08 com o uso da tecnologia híbrida. Conforme a tabela 6, além de ganhos ambientais, emissão zero de enxofre quando combinado com biodiesel, produz 25,75 % menos óxidos de nitrogênio e 11,2% menos material particulado. Estes dois últimos dados ocorrem quando o motor opera a diesel. Os resultados da análise econômica são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados Análise Econômica: Comparação de gasto com combustível em dois diferentes ônibus

Tipo Veículo	Km /L	KM percorridos	Litros consumidos	% Consumo	Preço Diesel ANP	Gasto com combustível
BR7 VOLVO	2,03	147.231.847	72.528.003,90	100%	R\$ 2,44	R\$ 176.968.329,52
HÍBRIDO	3,14	147.231.847	46.889.123,54	-35,35%	R\$ 2,44	R\$ 114.409.461,44
Diferença			25.638.880,36			R\$ 62.558.868,08

Fonte: Dados da pesquisa (2014)

Recentemente, o estudo da ONG “Saúde e Sustentabilidade” apontou que, entre 2006 e 2011, morreram mais de 17.000 pessoas precocemente e ocorreram 68.500 internações relacionadas à poluição no estado de São Paulo.

A maior causa mortis oriunda da poluição foi devido à inalação de poeira fina e materiais particulados, e 80% destes poluentes são advindos da combustão incompleta de combustíveis. As partículas, quando inaladas, prejudicam o sistema respiratório, sendo as crianças e idosos os grupos de risco mais





vulneráveis a desencadear problemas respiratórios (Vormittag, Saldiva, & Miranda, 2013).

O estudo apontou ainda que em cinco anos a poluição foi responsável por 17.443 mortes no Estado de São Paulo. Este índice é 2,21 vezes superior ao de mortes ocasionadas por acidentes de trânsito no mesmo ano no Estado. Só na capital paulista, São Paulo, o número chegou a 4.655 óbitos, e na região metropolitana 7.932 óbitos (Vormittag, Saldiva, & Miranda, 2013).

Além disso, em 2011, os gastos públicos com internações por doenças cardiovasculares, pulmonares e câncer de pulmão ocasionados pela inalação de gases poluentes somaram aproximadamente R\$ 31 milhões. No entanto, se considerado os gastos públicos e (suplementar) privados de internações pelas mesmas doenças, esses valores assumem respectivamente R\$ 76 milhões e R\$ 170 milhões, totalizando os gastos em torno de R\$ 246 milhões (Vormittag, Saldiva, & Miranda, 2013).

Além do mais, o que se espera é que a otimização dos serviços prestados possa contribuir de forma decisiva tanto no bem-estar da comunidade em termos de aumento da mobilidade urbana e acessibilidade, quanto na qualidade de vida e redução de gastos com saúde pública, ocasionados pela inalação de poluentes atmosféricos.

No entanto, acredita-se ser fundamental o envolvimento direto de políticas públicas de apoio a pesquisa, desenvolvimento, inovação tecnológica, incentivos à produção e uso de biocombustíveis além de modernização e infraestrutura no setor de transporte com vistas a contribuir na redução das emissões de GEE's e poluentes.

## CONCLUSÕES

Este estudo mostrou que na cidade de Curitiba a utilização de ônibus elétrico híbrido e de biocombustíveis em ônibus da frota de transporte público (figura 2) contribuíram significativamente para a melhoria da qualidade do ar e vida da população Curitibana. São tecnologias ditas limpas, na medida em que promovem a sustentabilidade por meio da redução das emissões de GEE's e poluentes.

Por este estudo quantificou-se que entre o período de setembro de 2011 a agosto de 2012, o setor de transporte público de Curitiba teve uma emissão total de 199.554,10 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente advindos do consumo de diesel e biodiesel, sendo que este último foi responsável pela emissão de 14.749,18 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>.

Ao se comparar os níveis de opacidade no hibribus, a tecnologia híbrida utilizando B100 apresenta uma emissão no nível de opacidade bem inferior quando comparado às emissões do próprio hibribus só que operando a diesel B5 e, ao ônibus diesel convencional o modelo BRT da VOLVO que se enquadra na fase P7 do PROCONVE sendo seus níveis 6,55%, 40,99% e 52,46% respectivamente.

Ganhos ambientais foram quantificados pela utilização do uso de biodiesel no período estudado, representando uma diferença real na emissão, de 9.661.96 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> pela metodologia utilizada e adaptada a realidade do combustível que é produzido aqui no Brasil.

Pela análise econômica quanto ao consumo de combustível, se toda a frota da cidade de Curitiba fosse híbrida, com o total do volume de combustível utilizado, obter-se-ia uma economia de R\$ 62.558.868,08, o que daria para cobrir duas vezes os gastos com saúde pública na capital mais populosa do Brasil, São Paulo.



Figura 2 -Ônibus Híbrido da Cidade de Curitiba e biarticulados Biodiesel



Fonte: Registros do Autor

As mudanças no uso dos combustíveis em frotas de transporte coletivo podem ser avaliadas como soluções para a emissão de GEE's. Mas, um processo desta natureza é complexo e depende de muitos acordos, financiamentos, pesquisas e testes. Por exemplo, em 1974, quando a empresa Volvo lançou no Brasil, em Curitiba, o ônibus articulado, foi necessário que as políticas públicas lançassem um plano de tráfego que modificou as principais vias da cidade. Foram criadas vias exclusivas – canaletas – para passar este tipo de ônibus, bem mais longo que os demais. Foram feitos testes noturnos em vias com curvas, retas, e outros tipos de impedimento para que o veículo finalmente pudesse rodar com segurança. Basta lembrar que ele carrega 270 pessoas e qualquer imprevisto pode acarretar em acidentes graves.

Hoje, estes grandes ônibus são biarticulados estão rodando com biocombustível em canaletas exclusivas, estações tubos para embarque e desembarque, e são ícones da cidade, admirados por todos. Suas cores diferenciadas, seu grande selo identificando o tipo de combustível usado, seu tamanho, sua velocidade, seu motor hidramático, impressionam moradores e turistas. Os híbridos, silenciosos, com motoristas satisfeitos porque não necessitam ouvir o barulho de motores, dirigem um veículo de qualidade, rodam por alguns bairros de baixa concentração populacional e são reconhecidos por

todos como um excelente modo de chegar à casa com segurança e menos poluição dentro do veículo.

Entretanto, quando os empresários investirem nas suas frotas, eles sempre questionarão o custo-benefício, e exigirão do gestor público mais critérios de viabilidade econômica, planilha de custos. Então, a parceria público-privada deverá estar de acordo antes da implantação de novas tecnologias, sobretudo de natureza renovável, avaliando a qualidade dos serviços ofertados afim de que também, supra a expectativa dos usuários do transporte coletivo, dos empresários de dos gestores.

As sugestões para trabalhos futuros se atêm a dois pontos: um de natureza quantitativa, que seria a continuação de cálculos de emissões de GEE's por veículos, para demonstrar a importância de introduzir mudanças na matriz energética brasileira; e uma de natureza qualitativa, que seria estudar os interesses de gestores públicos e empresários para ampliar e melhorar a frota de ônibus de Curitiba-PR e de outras cidades. Seria interessante estudar os planos de gestão que existem e verificar as possibilidades de melhorá-los e ampliá-los, sobretudo em pequenas cidades onde ainda existe espaço público para criar canaletas exclusivas de tráfego de transporte coletivo e se pode trabalhar ações de sustentabilidade para melhorar a qualidade do ar.



## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001). *NBR 13037 - Veículos rodoviários automotores - Gás de escapamento emitido por motor diesel em aceleração livre - Determinação da opacidade*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Carvalho, J. A., Jr., Mcquay, M. Q. (2007). *Princípios de Combustão Aplicada*. Florianópolis: Editora da UFSC.
- Confederação Nacional do Transporte. (2012). *Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro*. [Despoluir – Programa Ambiental do Transporte]. Brasília, DF, Brasil. Recuperado em 01 de junho, 2013, de [www.cnt.org.br/riomais20/resources/cartilhas/Oleo\\_Diesel\\_Final.pdf](http://www.cnt.org.br/riomais20/resources/cartilhas/Oleo_Diesel_Final.pdf).
- Dabdoub, M. J., Bronzel, J., & Rampin, M. A. (2009, abril). Biodiesel: visão crítica do status e perspectivas na academia e na indústria. *Revista Química Nova*, 32 (3), 776-792.
- Dália, W. S. (2006). A Produção do Biodiesel: uma perspectiva para a agroenergia no Nordeste brasileiro. In: Ferreira, J. R., Cristo, C. M. P. N. (Org.) *O Futuro da Indústria: coletânea de artigos* (pp. 27-36). Brasília (DF).
- Ferrari, A., Oliveira, V., & Scabio, A. (2005, novembro). Biodiesel de Soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador elétrico. *Revista Química Nova* 28 (1), 19-23.
- Fontana, J. D. (2011). *Biodiesel: para leitores de 90 anos*. Curitiba: Ed. UFPR.
- Gamble, J.L. (ed.); Ebi, K. L., Sussman, F.G., & Wilbanks, T. J. (Authors). (2008). *Analyses of the effects of global change on human health and welfare and human systems*. U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Environmental Protection Agency [US EPA], Washington, DC, USA.
- Gazzoni, D. L. (2012). *Balanço de emissões de dióxido de carbono por biocombustíveis no Brasil: histórico e perspectivas*. Londrina: Embrapa Soja. 102 p. Recuperado em 25 de novembro, 2013, de [http://www.cnpsa.embrapa.br/download/Doc\\_334\\_OL.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/download/Doc_334_OL.pdf).
- Guariero, L. L. N., Vasconcellos, P. C., & Solci, M. C. (2011). Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. *Revista Virtual Química* 3 (5), 434- 445.
- Gerpen, J. V., & Knothe, G. (2006). Produção de Biodiesel: princípios da reação de transesterificação. In: Knothe, G., Gerpen, J. V., Krahl, J. et al. *Manual de Biodiesel* (pp. 29-45). São Paulo: Edgard Blücher.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). *Censo demográfico*. Recuperado em 10 de fevereiro, 2014, de <http://cod.ibge.gov.br/232OU>.
- International Agency for Research on Cancer. (2006). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol* (88). France: Lyon. Retrieved December 09, 2013, from <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/mo-no88-6.pdf>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1996). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. GGR. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Retrieved April 10, 2013, from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>.
- International Energy Agency. (2009, October). *Transport, Energy and CO2*. Paris: OECD Publishing. Retrieved December 18, 2013, from [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/PP5\\_Fuel\\_Economy\\_FINAL\\_WEB\\_Oct\\_2012.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/PP5_Fuel_Economy_FINAL_WEB_Oct_2012.pdf).
- Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005*. (2005). Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF.
- Lei n. 13.263, de 23 de março de 2016*. (2016). Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Diário Oficial da União. Brasília, DF.
- Maziero, J.V.G., Corrêa, I.M., Trielli, M.A., Bernardi, J.A., & D'agostini, M.F. (2006). Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível. *Revista Engenharia na Agricultura* 14 (4), Viçosa, MG, Brasil.



- Ministério do Meio Ambiente. (2011). *1.º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários*. Brasília (DF). Recuperado em 01 de abril, 2013, de [http://www.mma.gov.br/estruturas/163/\\_publicacao/163\\_publicacao27072011055200](http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200).
- Organização das Nações Unidas. (1989). *Resolução n. 44/228 - estabelece uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas a meio ambiente e desenvolvimento: a Agenda 21*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Perry, R. H., & Chilton, C.H. (ed.) n/a et al. (1973). *Chemical engineers' handbook* (5th ed.) New York: McGraw-Hill.
- Programa Brasileiro GHG PROTOCOL. (2013) *Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa – ferramenta de cálculo*. Recuperado em 02 de janeiro, 2013, de <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>.
- Queiroz, J. F. (2006). *Introdução do veículo híbrido no Brasil: evolução tecnológica aliada à qualidade de vida*. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Raspanti, M. P. (2013, junho). Ônibus Nacional com Baixa Emissão de Poluentes. In: *Revista Technibus Transporte Coletivo e Trânsito*. Ano 108, nº 22. Recuperado em 19 de janeiro, 2014, de <http://issuu.com/artworksbr/docs/tb108-completa/136>.
- Resolução CONAMA n. 3, de 28 de junho de 1990*. (1990). Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Diário Oficial da União. Brasília, DF
- Resolução CONAMA n. 16, de 13 de dezembro de 1995*. (1995). Dispõe sobre os limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados, e determina a homologação e certificação de veículos novos do ciclo Diesel quanto ao índice de fumaça em aceleração livre. Diário Oficial da União. Brasília, DF
- Resolução CONAMA n. 251, de 7 de janeiro de 1999*. (1999). Dispõe sobre os critérios, procedimentos e limites máximos de opacidade da emissão de escapamento dos veículos automotores do ciclo Diesel, em uso no Território Nacional, a serem utilizados em programas de I/M. Diário Oficial da União. Brasília, DF.
- Rocha, J.C., Rosa, A.H., Cardoso, A. A. (2009). *Introdução à Química ambiental*. (2a ed.) Porto Alegre: Bookman.
- Rosa, M. V. F., Obelheiro, M. R., Bolttesini, G. E., & Lindau, L. A. (2008). *Estimando as emissões atuais e futuras do transporte urbano no Brasil*. [LASTRAN/UFRGS]. Rio Grande do Sul, RS, Brasil.
- Seiffert, M.B.S. (2009). *Mercado de Carbono e Protocolo de Quioto: oportunidades de negócio na busca da sustentabilidade*. São Paulo: Atlas.
- Sivaprakasam, S., & Saravanan, C. G. (2007). Optimization of the transesterification process for biodiesel production and use of biodiesel in a compression ignition engine. *Energy & Fuels* 21 (9), p. 2998-3003.
- Spiro, T. G., Stigliani, W. M. (2009). *Química Ambiental* (2a ed.). São Paulo: Pearson.
- United States Environmental Protection Agency. (2013, September). Human Health. Retrieved December 19, 2013, from <http://www2.epa.gov/learn-issues/learn-about-health-and-safety>.
- Urbanização de Curitiba S.A. (2010). *Relatório de Gestão 2010*. Curitiba, PR, Brasil.
- Urbanização de Curitiba S.A (2011). *Relatório de Gestão 2011*. Curitiba, PR, Brasil. p. 459-483.
- Urbanização de Curitiba S.A. (2012). *Relatório de Gestão 2012*. Curitiba, PR, Brasil. p. 369-379.
- Urbanização de Curitiba S.A. (2013). *Relatório de Gestão 2013*. Curitiba, PR, Brasil.
- Vormittag, E. M. A., Saldiva, P. H., & Miranda, M. J. de. (2013). *Avaliação do Impacto da Poluição Atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde*. Instituto Saúde e Sustentabilidade: São Paulo, SP, Brasil.