

**ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF THE REPLACEMENT
OF OIL DIESEL FUEL FOR ETHANOL FUEL IN CYCLE DIESEL ENGINES
FOR PUBLIC BUSES IN THE CITY OF SAO PAULO.**

**ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO
DIESEL PARA O COMBUSTÍVEL ETANOL EM MOTORES DE CICLO
DIESEL UTILIZADOS NOS ÔNIBUS MUNICIPAIS DE SÃO PAULO**

Engº. Guilherme Bistacco Guercio
Engº. Luiz Vicente Figueira de Mello Filho

Universidade Presbiteriana Mackenzie

ABSTRACT

The main objective of the current study is to present alternatives of renewable fuels, bearing in mind the replacement of oil diesel for collective public transport on wheels in the city of São Paulo. The study analyses the feasibility of technical and commercial application of the ethanol fuel, which are being evaluated and used in Brazil and elsewhere. The growing demand for public transport, which approximately 6 million people use daily, the implementation of new roads and bus lanes, reaching the record of 1,300 lines, mainly in central regions in São Paulo, and the extinction of the gas emission control programs, result in a high concentration of polluting gases in the atmosphere and the greater incidence of cardiorespiratory diseases as a consequence. Not only do technical and environmental difficulties make the application of renewable fuels in Brazil more expensive, but also the lack of government incentives does, making this become the standstill for the replacement of a great portion of the 14,828 buses which run daily in the streets of São Paulo. To conclude, the study presents alternatives for both environmental and financial gains, linked to an implementation strategy in São Paulo.

Keywords: Bus. Ethanol. Replacement.

RESUMO

O presente trabalho tem como principal objetivo apresentar as alternativas de combustíveis renováveis visando à substituição do óleo diesel no transporte coletivo sobre pneus na cidade de São Paulo. O estudo analisa a viabilidade do combustível etanol, o mais cotado para a aplicação comercial e técnica nos quais está sendo avaliado e utilizados no Brasil e em outros países. A crescente demanda pelo transporte público no qual circulam aproximadamente 6 milhões de pessoas diariamente, a criação de vias e corredores de ônibus chegando a marca de 1.300 linhas, principalmente em regiões centrais da cidade de São Paulo e a extinção de programas de controle de emissões resultam em uma alta concentração de gases poluentes na atmosfera e, consequentemente, maior número de doenças cardiorrespiratórias, decorrentes destes efeitos. Não só as dificuldades técnicas e ambientais, mas também a falta de incentivos governamentais encarece significativamente a aplicação dos combustíveis renováveis no Brasil, sendo um dos entraves para a substituição de boa parte dos 14.828 ônibus que circulam diariamente pela cidade de São Paulo. Para concluir, o trabalho apresenta as alternativas para ganhos ambientais e financeiros aliados na estratégia de implantação na cidade de São Paulo.

Palavras-Chave: Ônibus. Etanol. Substituição.

1. INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo possui 645 municípios e população de aproximadamente 41 milhões de habitantes. Cerca de 20 milhões se concentram na Região Metropolitana de São Paulo (CETESB, 2013). Nessas regiões também concentram-se atividades econômicas importantes e grandes frotas de veículos que emitem altos níveis de poluentes atmosféricos.

O problema da poluição do ar é agravado pelo modelo de transporte, que ainda utiliza ônibus convencional movido a óleo diesel para o transporte público de passageiros, o automóvel particular e mais recentemente a motocicleta como opções preponderantes para os deslocamentos.

O óleo diesel altamente difundido na utilização de veículos pesados, como caminhões e ônibus, é o grande responsável pelo agravamento da poluição e suas consequências na saúde da população. A queima do óleo diesel e outros combustíveis fósseis estão fortemente relacionados às emissões de gases, tais como: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), hidrocarbonetos e materiais particulados (MP). Segundo estimativa realizada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB em 2013, os ônibus urbanos foram responsáveis pela emissão de 24,41% de NO_x e por 30,03% de MP de material particulado emitidas por veículos automotores na região metropolitana de São Paulo.

Segundo dados da Prefeitura de São Paulo, a frota de ônibus urbanos na cidade, consta com 14.828 veículos e transporta diariamente 6,1 milhões de pessoas (VALOTA, 2012). Com tamanha importância no transporte coletivo urbano, novas políticas governamentais atuam na ampliação desse serviço, como por exemplo, criação de novas faixas exclusivas para ônibus, ampliação e renovação da frota. Os benefícios desse modal incluem melhoria na mobilidade urbana, no meio ambiente e é necessário para a realização das atividades econômicas de uma população. Em contrapartida a massiva utilização do óleo diesel neste tipo de transporte acarreta aumento da poluição atmosférica e consequentemente risco a saúde humana e ao meio ambiente.

Visando melhorar a qualidade do ar, foram criadas algumas medidas de controle de emissão de gases poluentes por veículos automotores, como por exemplo: o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) criado em 1986, estabelece limites de emissão de poluentes que se tornam cada vez mais restritivos,

visando reduções contínuas na emissão de gases poluentes, promovendo desenvolvimento nacional e melhoria dos combustíveis.

Também com o intuito de reduzir a emissão de gases poluentes gerada pelo setor de transporte, diversas tecnologias estão sendo desenvolvidas e aperfeiçoadas para substituir os combustíveis fósseis por combustíveis renováveis em veículos, como por exemplo: células de hidrogênio, híbridos, elétricos, com aumento de porcentagem no biodiesel, entre outros. Estes combustíveis são opções de energia limpa que possuem um baixo nível de emissão de poluentes se comparados com o óleo diesel. Diversos testes são realizados para determinar os reais benefícios e custos em relação aos combustíveis fósseis.

Os combustíveis renováveis se diferenciam entre eles, pela viabilidade e complexidade de introdução em larga escala, pelo nível de emissão de poluentes, e pelos custos de implantação e utilização.

Devido à grande flexibilidade e dificuldade de implantação, muitos estudos buscam demonstrar qual o combustível renovável será o mais viável economicamente e ambientalmente na substituição do óleo diesel.

Neste trabalho foi focado a análise do combustível etanol nos motores de Ciclo Diesel da frota de ônibus da cidade de São Paulo pelo fato da frota ser movida por motores de combustão interna em quase sua totalidade.

O etanol como combustível veicular se mostra muito atrativo quando analisado os dados de produção e demanda. Com tecnologia testada e utilizada diariamente em motores de Ciclo Otto e também, ao Ciclo Diesel. Dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar - UNICA (2015) apontam que no ano de 2014 foram consumidos 12.994.023.652 litros de etanol em todo território brasileiro. O clima favorecido e a extensão territorial viabilizam por programas governamentais, proporcionando à produção e utilização do etanol como combustível. Dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar - UNICA (2015) mostra que no ano de 2014, 10.645.658 de hectares foram destinados para a plantação de cana-de-açúcar sendo que a produção de etanol entre os anos de 2013 e 2014 foi de 27.541 metros cúbicos.

2. BREVE HISTÓRICO DA RESOLUÇÃO DO CONAMA COM AS REDUÇÕES NOS LIMITES DE POLUENTES E LEIS AMBIENTAIS

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA é o órgão consultivo deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, foi instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90 (CONAMA, 2015).

Com o objetivo de reduzir e controlar a contaminação atmosférica por fontes automotivas, o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA criou os Programas de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores: PROCONVE (veículos leves e pesados) e PROMOT (motocicletas) fixando prazos, limites máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados (IBAMA, 2015).

Para os padrões de emissões dos veículos movidos a óleo diesel, segue a tabela 1 das fases do PROCONVE e os padrões de emissões estabelecidos, que deveriam ser fiscalizados por uma inspeção ambiental veicular de forma regular.

Tabela 1 Limites Das Emissões Para Veículos Pesados A Diesel - Proconve

PROCONVE	CO (g/kW.h)	HC (g/kW.h)	NOx (g/kW.h)	MP (g/kW.h)	S (ppm de S)	Vigência
Fase P1	14,00	3,50	18,00	-	-	1989 a 1993
Fase P2	11,20	2,45	14,40	0,60	-	1994 a 1995
Fase P3	4,90	1,23	9,00	0,40 ou 0,70	-	1996 a 1999
Fase P4	4,00	1,10	7,00	0,15	-	2000 a 2005
Fase P5	2,10	0,66	5,00	0,10 ou 0,13	-	2006 a 2008
Fase P6	1,50	0,46	3,50	0,02	50	2009 a 2012
Fase P7	1,50	0,46	2,00	0,02	10	a partir de 2012

Fonte: (BATISTA, 2009)

Atualmente está em vigor a lei Política Nacional sobre a Mudança do Clima - Lei Federal 12.187/09 que visa o compromisso voluntário para redução de emissões projetadas de Gás do Efeito Estufa (GEE) entre 36,1% e 38,9% até 2020, entre outras ações, a Política Estadual de Mudanças Climáticas (SP) – Lei Estadual 13.798/09 do Estado de São Paulo, que tem como meta a redução de 20% da emissão de CO₂, relativa a 2005, até 2020, assim

como ações para aumentar a participação das fontes renováveis de energia na matriz energética, e a Política de Mudanças do Clima do Município de São Paulo, Lei Municipal 14.933/09, que promove o uso de energia renovável e define meta de substituição gradual de combustíveis fósseis por energia renovável até 2018.

Além disso, há as Resoluções do CONAMA nº 418 de 2009 voltada a inspeção ambiental veicular que atuou até janeiro de 2014 e suspenso até o presente momento.

3. PRIORIZAÇÃO PELO ETANOL

O etanol ou álcool etílico hidratado carburante (AEHC) é produzido em usinas a partir de fontes renováveis como, por exemplo, a cana-de-açúcar, beterraba, trigo, mandioca e milho. A forma mais usual e simples de obtenção do etanol é por meio das moléculas de açúcar. O processo que utiliza essas matérias primas é chamado de fermentação, porém ainda existem outras formas de obtenção que consiste em reações químicas controladas em laboratório.

Dentre todas as matérias primas do etanol presentes na natureza, a cana-de-açúcar é a mais simples e produtiva, o que dá ao Brasil uma grande vantagem, visto ser esse o principal produto de extração de etanol no país. A produtividade média de geração de etanol por hectare de cana, por exemplo, é de 7.500 litros, enquanto a mesma área de milho, principal matéria prima do álcool produzido por fermentação nos Estados Unidos, produz 3.000 litros do combustível (NOVACANA, 2015). O rendimento de produção por matéria prima pode ser visto na figura 1.

Figura 1: Comparativo de produção de etanol por hectare com diferentes tipos de matérias-primas (UNICA, 2012).



Fonte: União da Indústria da Cana-de-Açúcar (2012)

4. PANORAMA ATUAL DO TRANSPORTE COLETIVO SOBRE PNEUS NA CIDADE DE SÃO PAULO

O município de São Paulo é o município mais populoso do Brasil. Segundo dados do IBGE (2015) a população do município de São Paulo para o ano de 2015 foi 11.967.825 habitantes em uma área territorial de 1.521,11 km². Além disso, a densidade demográfica do município de São Paulo é a maior do Brasil com 7.398,26 hab/km².

Segundo Paladino (2013) apenas 55% da população que se desloca diariamente em São Paulo, utiliza o transporte coletivo, sendo que os 45% restantes preferem automóveis particulares.

No ano de 2015, entre os meses de janeiro a agosto, foram transportados 1.911.938.845 passageiros no transporte coletivo sob pneus no município de São Paulo (SPTrans, 2015). A idade da frota dos coletivos na cidade de São Paulo também impacta diretamente no agravamento da poluição. A idade média dos coletivos é de 5 anos e 3 meses (SPTrans, 2015). O modelo de licitação para as empresas concessionárias do transporte de ônibus, publicado em 2015 e não concretizado até hoje, agrava a idade da frota circulante e maior nível de emissão de poluentes.

A nova etapa PROCONVE P7, na qual estabelece limites mais rígidos de emissões entrou em vigor apenas em janeiro de 2012, ou seja, a média dos veículos coletivos na cidade de São Paulo, seguem regras de emissões do PROCONVE P6, ou EURO 3 no qual estabelecem limites máximos menos rígidos quanto os atuais.

A frota de ônibus coletivos contratada pela SPTrans no município de São Paulo, consta até a data de agosto de 2015, 14.828 veículos cadastrados operando em 1.390 linhas (SPTRANS, 2015). Destes, somente 59 ônibus são movidos a etanol na cidade de São Paulo, representando 0,4% da frota. Neste total, 8.891 são coletivos que operam no subsistema estrutural no qual é formado por linhas operadas por veículos de médio e grande porte (articulados, biarticulados e comuns), destinadas a atender grande demandas e ligando diversas áreas à região central de São Paulo. O restante dos 5.937 coletivos opera no subsistema local, no qual é formado por ônibus comuns e de médio porte como, por exemplo, micro e mini ônibus e circulam nos deslocamentos internos nos subcentros para atender a malha estrutural.

Esses 14.828 coletivos, operam em 1.390 linhas. A extensão do sistema viário utilizado pelas linhas é de 4.589 km (SPTRANS, 2015).

Os 14.828 veículos não operam simultaneamente todos os dias. Aproximadamente 12 mil ônibus circulam fixamente (SPTRANS, 2015). Os restantes dos veículos são utilizados como reserva ou rodízio da frota. Porém neste trabalho será considerado o número total de veículos para realização dos diferentes cálculos de viabilidade ambiental e econômica.

4.1 VELOCIDADE MÉDIA DOS ÔNIBUS E DISTÂNCIA PERCORRIDA

De acordo com um levantamento realizado pela São Paulo Transporte – SPTrans (2015), realizado nos meses de março de 2013 à junho de 2015, apresentam as velocidades médias praticadas em faixas exclusivas para ônibus nos sentidos Centro-Bairro e Bairro-Centro. A tabela 2 e 3 mostram as velocidades médias durante o período de análise.

Tabela 2: Faixa exclusiva sentido bairro-centro em quilômetro por hora (km/H).

2013		2014		2015	
Pico Manhã	Pico Tarde	Pico Manhã	Pico Tarde	Pico Manhã	Pico Tarde
23,2	17,6	23,1	18,0	23,7	18,3

Fonte: Prefeitura de São Paulo (2015)

Tabela 3 Faixa exclusiva sentido centro-bairro em quilômetros por hora (km/H)

2013		2014		2015	
Pico Manhã	Pico Tarde	Pico Manhã	Pico Tarde	Pico Manhã	Pico Tarde
20,9	20,2	20,7	20,1	21,3	20,5

Fonte: Prefeitura de São Paulo (2015)

No presente trabalho, é considerado a velocidade média entre os trajetos bairro-centro e centro-bairro praticada no ano de 2015 no pico da manhã e pico da tarde, resultando em 21 km/H.

Considerando que os ônibus operam aproximadamente 18 horas diárias, descontando-se as paradas para troca de motorista e para abastecimento, um ônibus percorre 378 km diariamente. Dessa forma, a frota total composto por 14.828 percorrem mensalmente 5.604.984 km ou 67.259.808 km anuais.

5. CARACTERÍSTICAS DO ETANOL PARA VEÍCULOS CICLO DIESEL

O etanol é representado pela composição química C_2H_5OH . Sua estrutura molecular possui uma massa molecular inferior à encontrada no óleo diesel. Essa diferença de estrutura e massa molecular impacta diretamente na aplicabilidade do AEHC, ou simplesmente etanol, em motores de Ciclo Diesel.

Os pontos de autoignição do etanol se encontram a uma temperatura de $363^{\circ}C$ sem o contato direto de uma fonte de calor e seu ponto de fulgor a temperatura de $13^{\circ}C$. Como base de comparação, a temperatura de auto ignição do óleo diesel encontra-se em $210^{\circ}C$, que facilita a combustão por compressão no motor de ciclo diesel.

O etanol convencional utilizado nos veículos com motores Ciclo Otto, não possui capacidade de autoignição para ser utilizado em motores de Ciclo Diesel. Para suprir essa deficiência físico-química do etanol, criou-se o etanol E95, no qual 95% da formulação é etanol hidratado e 5% são aditivos promovedores de lubricidade e aumento no número de cetanas no etanol, que contribui para o aumento da massa e estrutura molecular. Essa mistura viabiliza o combustível etanol a ser utilizado em motores de Ciclo Diesel.

Outro fator a ser considerado é o menor poder calorífico do etanol em relação ao óleo diesel. O poder calorífico é a quantidade de energia que um combustível é capaz de gerar em sua queima dentro do motor, ou seja, quanto maior o poder calorífico, maior será o rendimento do combustível. Na tabela 4, os valores de poder calorífico do etanol e óleo diesel.

Tabela 4: Poder calorífico superior e inferior do óleo diesel e etanol hidratado.

Propriedades (kJ/kg)	Etanol	Óleo diesel
Poder calorífico superior	29.726	45.590
Poder calorífico inferior	26.865	42.450

Fonte: Ferrari Filho (2008)

6. CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS

Os dados utilizados para análise de consumo foram os valores coletados entre os anos 2008 e 2009 do Projeto BEST.

Os primeiros testes do Projeto BEST realizados no ano de 2008 na cidade de São Paulo resultou nos seguintes dados apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Dados de consumo e quilometragem durante o início dos testes do ônibus a etanol na cidade de São Paulo no ano de 2008.

	Ônibus a Etanol				Ônibus a Diesel			
Mês	Distância (km)	Consumo (l)	km/l	l/km	Distância (km)	Consumo (l)	km/l	l/km
Janeiro	2.028	2.850	0,712	1,405	3.996,6	2.971	1,345	0,743
Fevereiro	2.908	5.700	0,510	1,960	3.989,2	2.783	1,433	0,698
Março	1.688	1.900	0,888	1,126	4.221,2	2.924	1,444	0,693
Abril	1.696	1.900	0,893	1,120	4.503,4	2.960	1,521	0,657
Maiο	1.656	1.900	0,872	1,147	3.685,1	2.370	1,555	0,643
Junho	785	950	0,826	1,210	4.171	2.906	1,435	0,697
Julho	748	950	0,787	1,270	4.841,1	4.048	1,196	0,836
Agosto	735	950	0,774	1,293	5.156,6	3.327	1,550	0,645
Total / média	12.244	17.100	0,72	1,40	34.564	24.289	1,435	0,70

Fonte: Bio Ethanol Sustainable Transport – BEST (2009).

A segunda etapa dos testes iniciou-se em Novembro de 2008 e estendeu-se até Setembro de 2009. Tabela 6 e 7 mostram os resultados obtidos.

Tabela 6: Dados de consumo do ônibus abastecido com etanol.

Mês	E95 (litros)	Distância (km)	Milhagem (km/litro)
Novembro - 2008	72,9	198,9	
Dezembro - 2008	4.886,0	4.034,9	0,826
Janeiro - 2009	6.030,0	5.192,6	0,861
Fevereiro – 2009	6.279,7	5.425,2	0,864
Março – 2009	6.810,6	5.947,6	0,873
Abril – 2009	7.305,5	6.376,6	0,873
Maio – 2009	5.361,0	4.973,6	0,928
Junho – 2009	2.001,8	1.731,0	0,865
Julho – 2009	3.180,0	3.035,8	0,955
Agosto – 2009	5.168,6	5.779,2	1,118
Setembro - 2009	4.268,1	4.744,1	1,112
Total	51.291,3	47.240,6	-

Fonte: Bio Ethanol Sustainable Transport – BEST (2009)

Tabela 7: Dados de consumo do ônibus abastecido com óleo diesel.

Mês	Diesel (litros)	Distância (km)	Milhagem (km/litro)
Novembro - 2008	32,0	84,1	
Dezembro - 2008	3.514,0	4.692,2	1,335
Janeiro - 2009	2.880,0	3.932,1	1,365
Fevereiro – 2009	3.670,0	5.294,6	1,443
Março – 2009	5.286,0	7.535,3	1,426
Abril – 2009	4.553,0	6.725,2	1,477
Maio – 2009	4.499,0	6.753,1	1,501
Junho – 2009	3.779,0	5.686,2	1,505
Julho – 2009	4.358,0	7.578,8	1,739
Agosto – 2009	3.656,0	5.891,7	1,612
Setembro - 2009	3.734,0	6.333,9	1,696
Total	32.539,0	48.197,5	-

Fonte: Bio Ethanol Sustainable Transport – BEST (2009).

Nota-se na prática que o consumo de combustível, mostrados nas tabelas 8 e 9, foi 36,6% maior no ônibus movido a etanol em relação ao mesmo veículo movido a óleo diesel.

Levando em consideração os dados apresentados, a consumo médio de um ônibus movido a óleo diesel é de 1,476 km/l e o mesmo veículo movido a E95 consome em média 0,863 km/l.

Conforme mostrado no item 4.1, os 14.828 ônibus percorrem aproximadamente 67.259.808 km anualmente. Sendo assim, o consumo total anual de óleo diesel será aproximadamente 45.568.976 litros. Já o consumo de E95 será de aproximadamente 77.937.205 litros.

7. PREÇO DOS COMBUSTÍVEIS E VEÍCULOS

No intuito de calcular os custos operacionais dos veículos movidos à etanol em relação ao ônibus a óleo diesel, os custos do combustível E95 foi estimado conforme a média do preço do etanol hidratado somado com o aditivo promovedor de ignição.

Em comparação aos períodos de janeiro de 2013 até julho de 2015 a média do preço do etanol hidratado foi de R\$ 1,91.

Segundo dados da fabricante do aditivo, a empresa sueca SEKAB, o preço do etanol hidratado provido do aditivo, é 22% mais caro do que o etanol convencional. Ou seja, o preço de venda do etanol para utilização nos ônibus é R\$ 2,33 em média (BEST, 2009).

Segundo dados da ANP (2015), no período de janeiro de 2013 até julho de 2015 a média do preço do óleo diesel S10 foi de R\$ 2,59. O gráfico 3 mostra a variação do preço do óleo diesel.

Outro fator de análise é o valor de venda dos ônibus a etanol em relação ao mesmo veículo com motor a diesel.

Segundo dados da Scania, um ônibus novo movido a E95 custa 4% a mais do que o mesmo veículo com motor a diesel. A tabela 8 mostra o modelo e preço dos veículos.

Tabela 8: Comparação de preços entre veículo movidos a etanol e a diesel no ano de 2015.

Modelo	Configuração	Preço de Venda
K 310 – 15M – Piso baixo	K 310 B6X2*4 Piso Baixo	R\$ 418.800,00
K 270 – 15M – Piso baixo	K 270 B6X284 Piso Baixo Etanol	R\$ 436.000,00

Fonte: Scania (2015)

8. IMPACTO AMBIENTAL DOS POLUENTES NA SAÚDE PÚBLICA

Poluente atmosférico é definido como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e que possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem estar público; danoso aos materiais, à fauna ou à flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CONAMA, 2013).

Penachioni (2014) argumenta que:

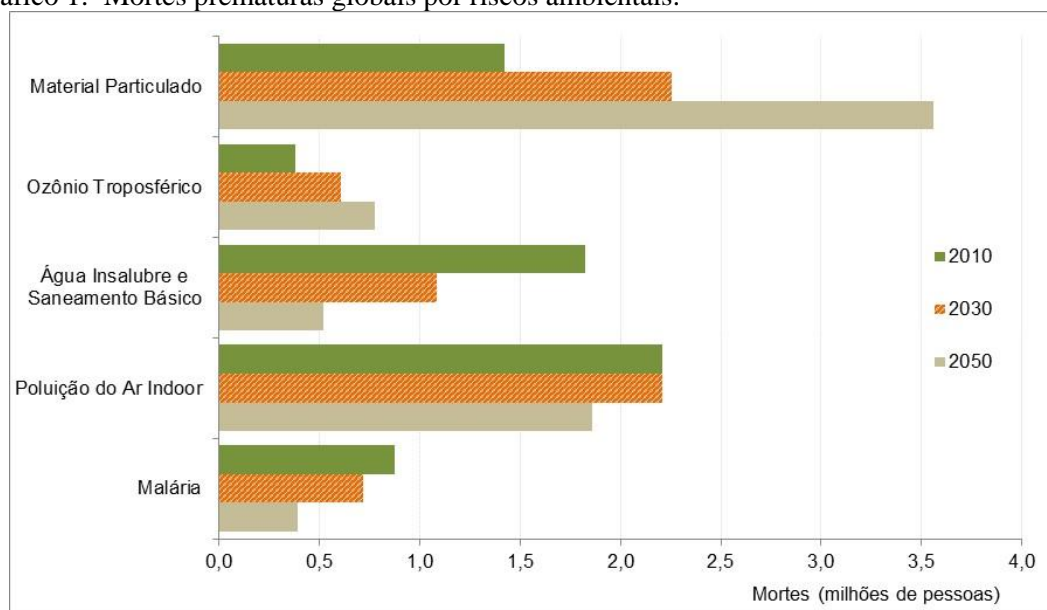
Para a OMS (Organização Mundial da Saúde), o limite máximo na inalação de partículas finas é de 50 microgramas por metro cúbico de ar, mas, no caso de São Paulo, a Cetesb considera 120 microgramas. No relatório Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2013, divulgado em outubro, a agência ambiental paulista informa que, apesar da queda nas emissões de veículos novos (com motores mais eficientes), o aumento da frota e os congestionamentos têm comprometido os ganhos obtidos pelos avanços tecnológicos, como a adoção de catalisadores. Além do tráfego intenso, a emissão de gases de efeito estufa também cresce pelo maior consumo de gasolina (em lugar do etanol) e óleo diesel.

A OMS publicou em 2014 a perda precoce de cerca de 7 milhões de vidas no mundo pela poluição do ar no ano de 2012. Destes, 3,6 milhões devido à poluição do ar externa e 3,4 milhões devido à poluição intradomiciliar. Isto significa que uma em cada oito mortes no mundo está relacionada à exposição ao ar contaminado (WHO, 2014).

A poluição do ar tornou-se a principal causa de morte por complicações cardiorrespiratórias relacionado ao meio ambiente e passa a ser líder ambiental para riscos em saúde.

Segundo dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OECD (2012) estima que até o ano de 2050, se nenhuma medida de controle de poluição for tomada, a principal causa de morte estará relacionada a complicações cardiorrespiratórias devido à má qualidade do ar pelos poluentes MP e Ozônio (O₃) troposférico, que é uma reação secundária proveniente do NO_x e combustíveis voláteis com a incidência da luz solar. Estes dados superam as mortes por malária, poluição *indoor*, consumo de água insalubre e falta de saneamento básico. O gráfico 1 apresenta os dados de mortes prematuras em 2010 e suas previsões nos anos de 2030 e 2050.

Gráfico 1: Mortes prematuras globais por riscos ambientais.



Fonte: Organization for Economic Co-operation and Development - OECD (2012)

A Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer – IARC (2013), vinculada à OMS, anunciou a classificação da poluição do ar exterior como cancerígeno para os seres humanos. O poluente MP, também foi classificado como substância cancerígena. Além de causar câncer de pulmão, a poluição atmosférica também está relacionada ao aumento do número de câncer de bexiga.

Estudos da agência ainda mostram que no ano de 2010, 223 mil mortes decorrentes de câncer de pulmão foram causadas pela poluição do ar (IARC, 2013).

De acordo com o Banco Mundial, a redução das concentrações aos níveis estipulados pela OMS poderia salvar de 300.000 a 700.000 vidas por ano no mundo (PALADINO, 2013). Segundo Saldiva (2013), estudos do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – USP apontam que cerca de 3 mil mortes por ano na Região Metropolitana de São Paulo estão relacionadas com a poluição do ar, representando um custo anual de R\$ 1,5 bilhão para a cidade somado com o tratamento das cerca de 200 doenças relacionadas.

Os problemas da qualidade do ar na cidade de São Paulo ocorrem principalmente em função dos poluentes provenientes dos veículos. Segundo dados da CETESB (2011) *apud* Paladino (2013) a qualidade do ar é diretamente influenciada pela distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular e industrial. As

emissões dos veículos possuem uma posição de destaque no nível de poluentes emitidos nos grandes centros urbanos.

Na tabela 9 é mostrada a contribuição relativa das fontes poluidoras (CETESB, 2011).

Tabela 9: Contribuição relativa das fontes de poluição do ar.

Categoria		Combustível	Poluentes (%)			
			CO	HC	NOx	MP ₁₀
Automóveis		Gasolina	46,65	14,47	5,72	Nd
		Etanol	8,6	4,13	1,37	Nd
		Flex	13,27	6,81	2,46	Nd
Evaporativa		-	-	25,59	-	-
Caminhões	Leves	Diesel	0,16	0,23	1,77	1,35
	Médios		0,81	1,15	8,74	6,55
	Pesados		2,92	3,36	32,00	15,90
Ônibus	Urbanos	Diesel	1,87	2,30	19,94	12,01
	Rodoviários		0,43	0,53	4,72	2,77
Motocicletas		Gasolina	15,56	12,92	1,15	Nd
		Flex	0,04	0,04	0,01	Nd
Operação de Processo Industrial			2,6	13,29	18,31	10,00
Base de Combustível Líquido				9,61		
Ressuspensão de Partículas			-	-	-	25,00
Aerosóis Secundários			-	-	-	25,00
Total			100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Paladino, 2013.

Na tabela 10 são mostrados os efeitos nocivos dos principais poluentes veiculares locais.

Tabela 10: Efeitos nocivos dos principais poluentes veiculares locais.

Poluente	Impacto
CO	Atua no sangue reduzindo sua oxigenação, podendo causar morte após determinado período de exposição a altas concentrações.
NOx	Atua na formação de dióxido de nitrogênio, formação de névoa fotoquímica e chuva ácida. É um precursor do ozônio.

HC e C ₂ H ₅ OH	Atuam na formação de névoa fotoquímica e em compostos cancerígenos. É um precursor do ozônio.
MP	Pode penetrar nas defesas do organismo, atingir os alvéolos pulmonares e causar irritações, asma, bronquite e câncer de pulmão. Causa sujeira e degradação de imóveis próximos aos corredores de transporte.
SO _x	Precursor do ozônio e formador da chuva ácida que degrada vegetação e imóveis, além de provocar uma série de problemas de saúde.

Fonte: Paladino (2013)

A metodologia a ser considerada para estimar a quantidade de poluentes emitidos, depende apenas da quantidade de óleo diesel consumido, no qual foi mostrado com o valor de 45.568.976 litros.

Segundo Junk (2011), se os 14.828 ônibus fossem trocados por veículos a etanol, seria equivalente em termos de emissões, como se apenas 3 mil ônibus convencionais estivessem rodando na cidade de São Paulo.

Segundo Saldiva *et al.* (2010), caso todos os ônibus movidos a óleo diesel passassem a usar o etanol, haveria a redução de 4.588 casos de internações hospitalares e 745 casos de mortes por ano, o que equivaleria a uma redução de gastos de US\$ 145 milhões por ano. A tabela 11 relaciona a quantidade de poluentes emitidos diariamente por um único coletivo.

Tabela 11: Relação das quantidades de poluentes emitidos por dia. E95 x óleo diesel.

Poluente	Motor a E95 (g/dia)	Motor a Diesel EURO 3 (g/dia)
CO	54	4.050
NO _x	135	1.242
C ₂ H ₅ OH e HC	4.590	9.450
MP	27	54

Fonte: Scania (2012)

A tabela 12 relaciona as emissões anuais dos 14.828 coletivos na Cidade de São Paulo e redução de poluentes em toneladas por ano.

Tabela 12: Relação das quantidades de poluentes emitidos por ano. E95 x Óleo diesel.

Poluente	Motor a E95 (ton/ano)	Motor a Diesel EURO 3 (ton/ano)	Redução Anual de Poluentes (ton/ano)
CO	291,6	2.187	1.895,4
NOx	729	6.706,8	5.977,8
C ₂ H ₅ OH HC	24.786	51.030	26.244
MP	145,8	291,6	145,8

Fonte: Scania (2012)

Segundo Paladino (2013), na qual realizou um cálculo de gastos público com saúde decorrente da poluição do ar, estimou um custo anual por ônibus de US\$ 5.630,00. O custo total de gastos será de US\$ 83.481.640,00. Convertendo este valor para Real utilizando-se a cotação do dólar do dia 14 de Setembro de 2015, obtém-se R\$ 313.807.484,76. Estes valores levam em consideração os custos por internação no SUS, os dias de afastamento do trabalho e o custo por óbito.

9. DISCUSSÃO E ANÁLISES

Conforme os dados apresentados nos itens anteriores, os custos de implantação da troca dos 14.828 ônibus coletivos convencionais deverão ser inferiores aos gastos com saúde pública decorrente da poluição atmosférica.

Como descrito o preço de um veículo novo movido a E95 está avaliado em R\$ 436.000,00. Sendo assim o custo total para troca de todos os ônibus convencionais ficará aproximadamente R\$ 6.465.008.000,00.

Conforme mostrado por Paladino (2013) os gastos governamentais com saúde pública decorrentes da poluição do ar é aproximadamente R\$ 313.807.484,76 por ano.

De acordo com Junk (2012), que todos os ônibus coletivos fossem substituídos por veículos movidos a E95, teríamos em termos de emissões equivalentes apenas 3 mil ônibus convencionais circulando pela cidade de São Paulo, analisando os dados de redução de poluentes emitidos por ano e estimando que os gastos com saúde pública seja proporcional a quantidade de poluentes emitidos, conclui-se que os gastos com saúde

pública decorrente da poluição poderia chegar em R\$ 62.761.496,95 por ano. Isso implicaria em uma redução de 80% nos gastos com saúde pública.

Por outro lado, as companhias que operam os coletivos iriam se deparar com maiores gastos anuais totais de abastecimento dos ônibus. Conforme descrito, os gastos atuais com óleo diesel é de R\$ 118.023.647,84 e com E95 os gastos serão de R\$ 181.593.687,65. Essa diferença representa R\$ 63.570.039,81 por ano nas contas das operadoras dos ônibus coletivos.

O custo de operação de um veículo a etanol por ano é 35% maior em relação ao mesmo veículo movido a óleo diesel considerando apenas os custos de abastecimento. A manutenção por se tratar de um motor de combustão interna, é considerado o mesmo tempo de mão de obra e desgaste das peças.

10. CONCLUSÃO

Os valores de consumo do etanol em relação ao óleo diesel têm uma diferença de mais de R\$ 63 milhões anuais, que neste ponto de vista isolado, beneficia exclusivamente o óleo diesel como forma preponderante para o uso contínuo deste combustível. Porém, quando se coloca os valores relacionados à emissão de poluentes, a diferença se inverte, evitando-se 5.977,8 toneladas de NOx, 26.244 toneladas de HC, 1.895,4 tonelada de CO e 145,8 toneladas de MP por ônibus por ano.

Os valores das diferenças de emissão de poluentes foram considerados como se toda a frota de ônibus estivesse dentro dos padrões de pelos menos a fase P5 do PROCONVE, porém é sabido que a falta da inspeção veicular ambiental na cidade de São Paulo e não coleta do etanol não queimado, torna-se este cálculo de forma otimista. Os últimos ônibus adquiridos com a fase P7 do PROCONVE não tem nenhuma evidência que esta frota circula dentro dos padrões com baixas emissões comparado ao P5.

A falta de preocupação do poder público, tanto no modelo de licitação, como em estabelecer leis específicas e não generalistas para a redução da emissão de poluentes, que neste trabalho, foca na utilização dos ônibus, posterga ano a ano a renovação da frota ou mesmo a possibilidade de se efetivar um *retrofit*. Além disso, a Lei Federal 12.187/09, a Lei Estadual 13.798/09 do estado de São Paulo e a Lei Municipal 14.933/09 da cidade de São Paulo deixam de ser cumpridas no quesito de transporte público por ônibus com motores de combustão interna movidos por óleo diesel.

A única saída para se concretizar a viabilidade dos ônibus movidos a E95 em relação ao óleo diesel com a tecnologia que possuímos no momento são os incentivos e/ou benefícios fiscais que o poder público pode conceder para alternativas de energias renováveis. Com redução de 80% nos gastos com saúde pública, e a diferença de 4% maior no preço de compra dos veículos movidos a E95 frente ao óleo diesel, promove a nacionalização do promovedor de ignição do combustível para que o preço do E95 seja menor. Desta forma, pode-se igualar a viabilidade de operação e implantação do E95 frente ao óleo diesel.

Diante de todos os dados levantados, fica claro que em uma cidade adensada como São Paulo, detentora do maior PIB do Brasil, não há uma política pública integrada entre as Secretaria de Transporte, Secretaria do Meio Ambiente e Secretaria da Saúde, pois os valores gastos decorrentes da saúde não atuam na causa raiz, e sim, em parte, na consequência da queima de combustíveis fósseis decorrente do planejamento da Secretaria do Transportes. A Secretaria do Meio Ambiente, que deveria ser a ponte e intermediadora nesta questão, se isenta desta responsabilidade e vidas que poderiam ser salvas, assim como uma redução significativa no número de internações, principalmente nos meses de inverno, aumentam o número de leitos e gastos públicos desnecessários. Em suma, a melhoria na qualidade de vida dos paulistanos tem uma grande oportunidade para ser revista no âmbito da mobilidade urbana com foco no transporte público por pneus.

11. REFERÊNCIAS

ARIOLI, Magdala; LINDAU, Luis Antonio; COOPER, Erin. META-ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES NA EXAUSTÃO DOS ÔNIBUS URBANOS. In: ANPET, 28., 2012, Curitiba. **Anais....** Curitiba: Anpet, 2012. p. 1 - 12. Disponível em: <<http://www.anpet.org.br/xxviii/anpet/anais/documents/AC331.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

BATISTA, Bruno. **TECNOLOGIA DE MOTORES E CONSUMIDORES**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2009. 24 slides, color. Disponível em: <http://www.senado.leg.br/comissoes/ci/ap/AP20091125_BrunoBatista.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015.

CAMPOS, Antonio Claret; LEONTSINIS, Epaminondas. **Petróleo e Derivados**: Obtenção, especificações e requisitos de desempenho. Rio de Janeiro: Editora Técnica, 1990. 258 p.

CAPANA, Giulliano Humberto. **ESTUDO DO IMPACTO DO ENXOFRE PRESENTE NO DIESEL NA EMISSÃO DE POLUENTES E EM TECNOLOGIA DE PÓS TRATAMENTO DE GASES DE ESCAPE**. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Automotiva, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2009/03/Capana-Giulliano-Humberto.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de São Paulo**. 2013. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/documentos/Plano_de_Controlde_de_Poluicao_Veicular_do_Estado_de_Sao_Paulo_2011-2013.pdf>. Acesso em: 10 out. 2014.

CNT. **Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro**. 2012. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/riomais20/resources/cartilhas/Oleo_Diesel_Final.pdf>. Acesso em: 25 set. 2015.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente; Resoluções. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html/>. Acesso em: 09 out. 2015.

FERRAZ, Adriana. Em 16 anos, poluição do ar matará 256 mil. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, não paginado. 09 ago. 2014. Disponível em: <<http://saude.estadao.com.br/noticias/geral,em-16-anos-poluicao-do-ar-matara-256-mil,1541091>>. Acesso em: 15 set. 2014.

FERRARI FILHO, Fernando. **Desempenho de um Motor Diesel Operando no Modo Bi-Combustível Diesel-Álcool**. 2008. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Puc -rio, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2008/relatorios/ctc/mec/mec_fernando.pdf>. Acesso em: 06 out. 2015.

GAUTO, Marcelo Antunes. **Petróleo S.A.: Exploração, produção, refino e derivados**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011. 130 p.

IARC - International Agency for Research on Cancer. **Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths**. Lyon: WHO, 2013. Disponível em: <http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf>. Acesso em: 09 out. 2015.

IBAMA. **PROGRAMAS DE CONTROLE DE EMISSÕES VEICULARES**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/programa-proconve>>. Acesso em: 20 set. 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; **Estimativa da população 2015**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=355030&idtema=130&search=sao-paulo|sao-paulo|estimativa-da-populacao-2015->>>. Acesso em: 27 set. 2015.

LONGHI, Alessander. **Modelagem Sistêmica e Prospecção de Cenários para Cadeia de Etanol do Rio Grande do Sul**. 2013. 141 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013. Disponível em: <<http://biblioteca.asav.org.br/vinculos/000008/000008EF.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2015.

MANAVELLA, Humberto José. **Sistema EGR - Recirculação dos Gases de Escape - Válvula EGR**. Disponível em: <www.hmautotron.eng.br/artigos/EGR-Valvulas-pro.pdf>. Acesso em: 25 set. 2015.

NOVACANA. **Processos de fabricação do etanol**. Disponível em: <<http://www.novacana.com/etanol/fabricacao/>>. Acesso em: 26 set. 2015.

OECD - **Organization for Economic Co-operation and Development. OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction**. OECD:2012. Disponível em: <<http://goo.gl/qXDHAX>> Acesso em: 09 out. 2015.

RESOLUÇÃO ANP Nº 42, DE 16.12.2009 - DOU 17.12.2009 – RETIFICADA DOU 14.1.2010. 2010. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2009/dezembro/ranp_42_2009.xml>. Acesso em: 05 out. 2015.

SALDIVA, Paulo. **Pesquisa inédita no Estado de São Paulo aponta que número de mortes por poluição é superior ao por acidentes**. 2013. Disponível em: <<http://www.saudeesustentabilidade.org.br/index.php/pesquisa-inedita-no-estado-de-sao-paulo-aponta-que-numero-de-mortes-por-poluicao-e-superior-ao-por-acidentes/>>. Acesso em: 24 maio 2015.

SPTRANS – São Paulo Transportes S. A.; **Indicadores**. Disponível em <<http://www.sptrans.com.br/indicadores/>>. Acesso em: 27 set. 2015.

VALOTA, Ricardo. Greve deixa 2 milhões de pessoas sem ônibus em São Paulo durante 3 horas. **O Estado de São Paulo, São Paulo**, não paginado. 31 jan. 2012. Disponível em: <<http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,greve-deixa-2-milhoes-de-pessoas-sem-onibus-em-sao-paulo-durante-3-horas,829432>>. Acesso em: 21 set. 2014.

UNICA (São Paulo). **Histórico de Produção e Moagem**. 2015. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2>>. Acesso em: 26 out. 2015.

WHO -World Health Organization. **7 million premature death annually linked to air pollution**. Geneva: WHO, 2014. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>. Acesso em: 09 out. 2015.

XIMENES, Augusto Ronchini et al. O IMPACTO AMBIENTAL DEVIDO A POLÍTICA DE CRESCIMENTO DA FROTA DE VEÍCULOS. **Revista Ciências do Ambiente On-line**, Campinas, v. 4, n. 2, p.21-28, 05 ago. 2011. Semestral. Disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/index.php/be310/article/view/157/113>>. Acesso em: 25 nov. 2014.