

QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) POR VEÍCULOS AUTOMOTORES NA CIDADE DE BOA VISTA/RR – 2005 a 2015.

P. M. S. Rodrigues e P. A. Silva Filho

RESUMO

A frota de veículos automotores da cidade de Boa Vista, capital do Estado de Roraima, encontra-se em constante crescimento. O presente trabalho propõe-se a quantificar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) proveniente da queima de combustíveis pelos veículos automotores da cidade. Para tal, foram coletados dados através de pesquisas governamentais e aplicado o método *Top-Down* para quantificar as emissões de CO₂. Constatou-se que ao fim do ano de 2015, a frota de veículos de Boa Vista foi responsável pela emissão de, aproximadamente, 500 mil toneladas de CO₂, o dobro do emitido no ano de 2005. As discussões propostas neste trabalho podem servir de apoio às ações de controle da poluição atmosférica e servir de subsídio para os debates acerca da necessidade de uma mobilidade urbana sustentável.

1 INTRODUÇÃO

O processo desordenado de urbanização observado no Brasil nas últimas décadas resultou no aumento populacional nas áreas urbanas, e na crescente demanda por mobilidade para essas pessoas. A forma como as cidades tem contornado o desafio de atender a essa necessidade investindo no modal de transporte rodoviário e estimulando o uso do transporte individual, produzem impactos negativos sobre a coletividade urbana e o meio ambiente.

Segundo Mattos (2011), a queima de combustíveis fósseis em todo mundo é a principal causa das emissões de dióxido de carbono (CO₂), o principal gás do efeito estufa. Em uma grande cidade, dentre todos os setores que consomem combustíveis fósseis, o setor de transporte rodoviário é um dos mais importantes.

Devido ao aumento crescente da concentração desse gás na atmosfera e às consequentes alterações climáticas, os governos de diversas partes do mundo têm adotado medidas para estimar as emissões antrópicas do CO₂. Inúmeras políticas públicas foram implantadas nos últimos anos que criaram impactos diretos sobre os níveis de emissão de poluentes veiculares. Essas medidas se concentram, num geral, no estabelecimento de limites máximos de emissões veiculares automotores e nas medidas de melhoria dos combustíveis (Carvalho, 2011).

O Brasil está entre os países que sofreram um notável aumento na motorização individual, fato que implica na intensificação do tráfego de veículos nos grandes centros urbanos e nos

congestionamentos cada vez mais frequentes. Além disso, o crescimento do número de veículos causa impactos negativos no meio ambiente, devido à poluição sonora e do ar (Fiziola *et al.*, 2004).

Embora o carro, se comparado com o uso do ônibus e da bicicleta, seja um meio de transporte mais confortável e conveniente, no entanto, produz impactos negativos sobre a coletividade urbana. Segundo Carvalho (2011), os sistemas de ônibus, que respondem por mais de 60% dos deslocamentos urbanos e mais de 95% dos deslocamentos intermunicipais, são responsáveis por apenas 7% das emissões totais de dióxido de carbono. Os automóveis e comerciais leves, com menos de 30% de participação no total de viagens realizadas, contribuem com metade das emissões desse poluente.

A concepção tecnológica do motor e as características de qualidade do combustível utilizado são os fatores principais para a emissão de poluentes. Segundo Derísio (2000), veículos automotores podem ser divididos em veículos leves, os quais usam gasolina e álcool como combustível, e veículos pesados, que utilizam o óleo diesel. Tanto os veículos a diesel, como aqueles movidos a gasolina ou álcool, produzem gases, vapores e material particulado. A diferença reside na quantidade que cada um deles emite para a atmosfera.

A cidade de Boa Vista, capital do Estado de Roraima, localizada no extremo norte do Brasil, ao longo dos anos de sua história, vem apresentando um crescimento urbano marcado pela falta de investimentos na qualidade dos transportes públicos coletivos. Ao longo dos anos, os veículos automotores e motocicletas se firmaram como a principal opção, não somente devido à insuficiência do transporte público como, também, pela facilidade de obter crédito para a aquisição do automóvel.

Diante disso, este trabalho visa mensurar o montante de dióxido de carbono (CO₂) emitido à atmosfera através do consumo de combustíveis no setor de transportes da cidade de Boa Vista. Dessa forma, mostrar a importância do setor de transporte e o crescimento da frota de veículos automotores nas emissões de gases do efeito estufa, torna-se algo crucial para que o Estado possa cumprir com sua missão de garantir o acesso democrático ao direito de ir e vir garantido por lei e, concomitantemente, elaborar estratégias de mitigação e abatimento das emissões nas grandes cidades. As discussões propostas podem servir de subsídios para órgãos públicos, empresas e à sociedade no que diz respeito à planejamento urbano sustentável, sendo o ponto de partida para o desenvolvimento de políticas públicas ambientais.

2 CARACTERIZAÇÃO DA FROTA DE VEÍCULOS AUTOMOTORES DA CIDADE DE BOA VISTA

O crescimento da frota de veículos é uma constante em todo o país. Verifica-se na Tabela 1, que de 2005 a 2015, houve um acréscimo de quase 40 milhões de veículos automotores na frota brasileira. Isso significa um aumento de mais de 90% em comparação ao ano de 2005. O Estado de Roraima, embora tenha colaborado com pouco mais de 100 mil veículos nesse aumento, todavia, teve sua frota acrescida em, aproximadamente, 300% em comparação ao ano inicial desse estudo. A capital Boa Vista foi a maior responsável pela inserção desses novos veículos na frota do Estado.

Tabela 1 – Frota de veículos automotores no Brasil, Roraima e em Boa Vista.

	Boa Vista	Roraima	Brasil
2005	57.027	59.752	39.428.025
2006	60.915	65.035	42.304.171
2007	67.229	72.743	45.653.808
2008	78.268	85.391	50.013.236
2009	88.865	97.883	54.834.841
2010	99.977	110.882	59.705.311
2011	113.437	126.327	65.205.757
2012	125.127	140.187	70.965.139
2013	135.905	153.405	76.588.058
2014	146.668	166.524	82.060.911
2015	157.653	179.925	87.073.671

Fonte: DETRAN-RR/DENATRAN (2015).

A frota de veículos automotores do estado de Roraima encontra-se majoritariamente na sua capital. A Figura 1 apresenta a distribuição da frota de veículos Roraimense entre Boa Vista e os demais municípios do estado.

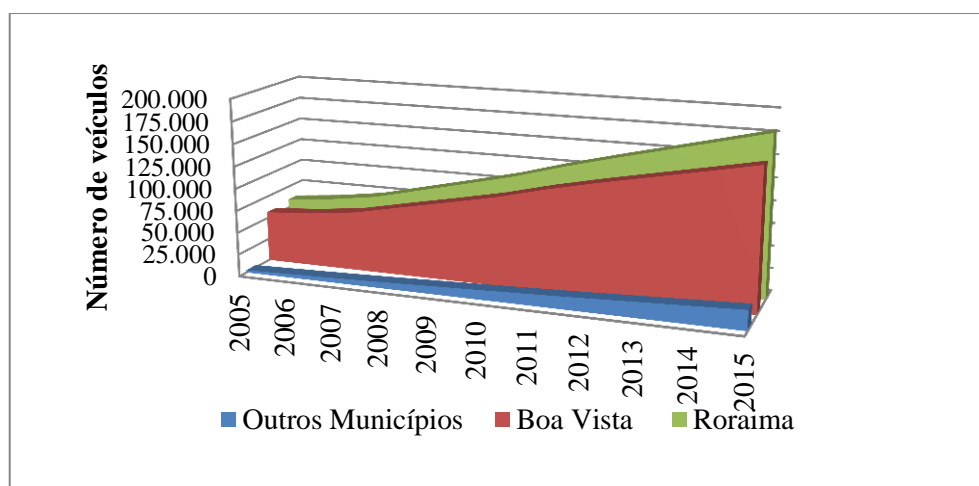


Figura 1 – Crescimento e distribuição da frota de veículos automotores no estado de Roraima – 2005 a 2015.

Até 2015, as frotas de motocicletas e motonetas de Boa Vista já somavam mais de 70 mil veículos, enquanto a de automóveis apresentava em torno de 54 mil veículos. Os tipos de veículos automotores que compõe a frota boa-vistense podem ser analisados na Figura 2.

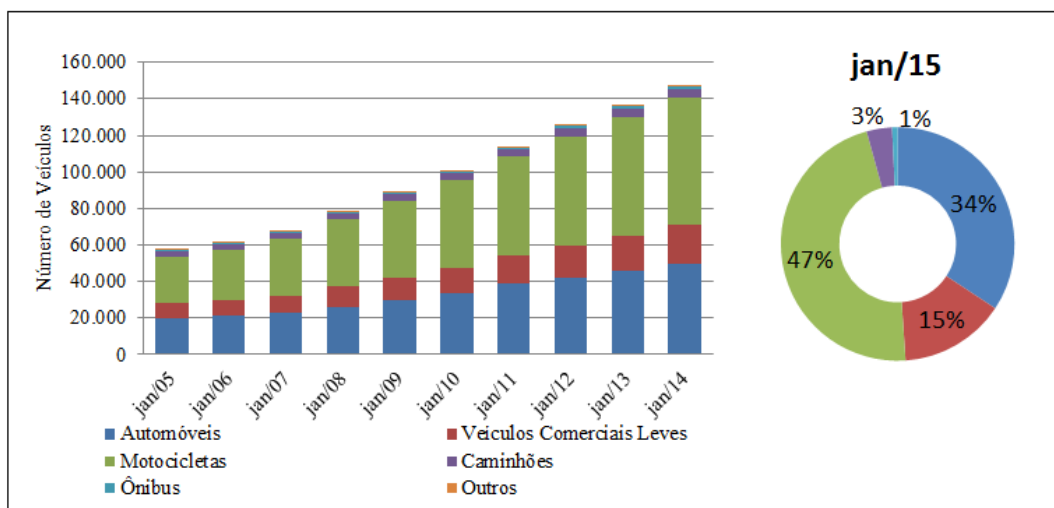


Figura 2 – Frota de veículos automotores em Boa Vista por classificação – Janeiro de 2005 a 2015.

Segundo o Censo de 2010 do IBGE, a população de Boa Vista é aproximadamente dez vezes maior que a de Rorainópolis, segundo município mais populoso do estado. Estima-se que em torno de 60% da população do Estado de Roraima concentra-se na capital. A Tabela 2 apresenta os dados disponibilizados pelo IBGE através do seu estudo de projeção populacional.

Tabela 2 – Estimativa das populações residentes.

	Boa Vista	Roraima	Brasil
2005	242.179	391.317	185.150.806
2006	249.655	403.334	187.335.137
2007	255.293	408.059	189.462.755
2008	260.930	412.783	191.532.439
2009	266.901	421.499	193.543.969
2010	284.313	450.479	195.497.797
2011	290.741	460.165	197.397.018
2012	296.959	469.524	199.242.462
2013	308.966	488.072	201.032.714
2014	314.900	496.936	202.768.562
2015	320.714	505.665	204.450.649

Fonte: IBGE, 2013.

O cruzamento dos números de veículos da frota boavistense com as estimativas populacionais do IBGE revelam que em 2015 a cidade já possuía em torno de 01 veículo para cada 02 habitantes, ultrapassando a média nacional de, aproximadamente, 02 veículos para cada 05 habitantes. Em 2005, a média da cidade era de 01 veículo para cada 04 habitantes, e a nacional de 02 veículos para cada 09 habitantes conforme ilustrado na Figura 3.

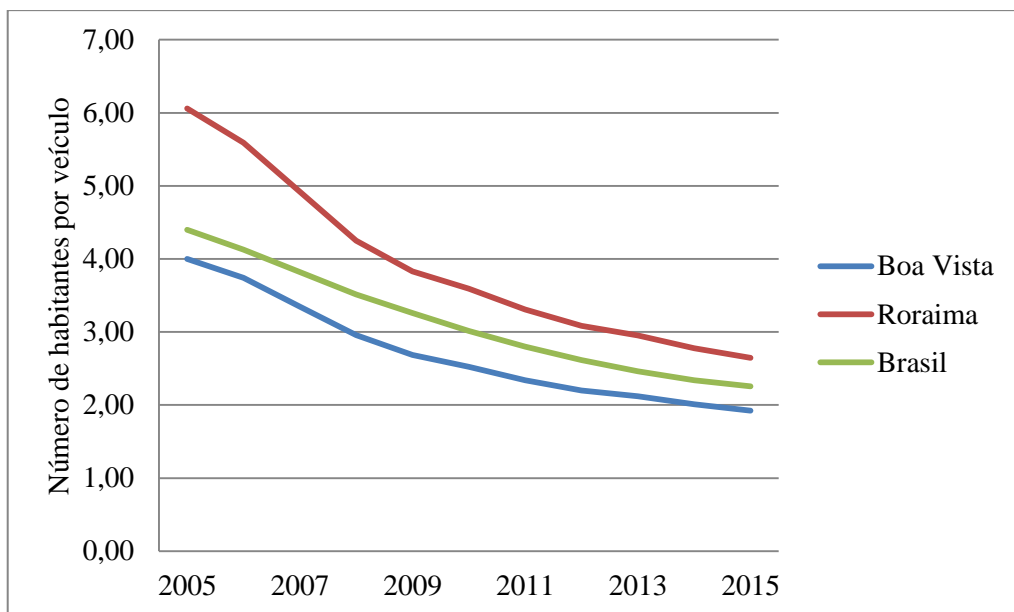


Figura 3 – Relação entre população e frota de veículos (habitantes por veículo).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Considerações Gerais

O local de estudo desse trabalho é a cidade de Boa Vista, capital do Estado de Roraima. A priori, foi feita uma caracterização da frota de veículos automotores da cidade, onde foram levantados os dados de veículos registrados na cidade nos anos de 2005 a 2015 junto ao Departamento de Trânsito de Roraima (DETRAN-RR) e através do site do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN).

Aplicou-se o método *Top-Down* para a quantificação das emissões do poluente dióxido de carbono (CO₂) através dos valores do consumo anual de combustíveis disponibilizados no site da Agência Nacional de Petróleo (ANP). Por fim, foram utilizadas planilhas do Excel para o tratamento estatístico dos dados e elaboração dos gráficos.

3.2 Método Top-Down

O método *Top Down* foi desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), órgão ligado a Organização das Nações Unidas (ONU). É um método prático para obter os valores mais próximos da realidade da emissão de dióxido de carbono (CO₂) sendo, inclusive, adotado pelo governo brasileiro para a elaboração do inventário nacional de gases poluentes.

A metodologia *Top-Down* baseia-se nas emissões de CO₂ tendo como item para cálculo os dados de produção e consumo de energia, não importando a forma como a energia é consumida. Em outras palavras, não se distingue o uso do combustível por categoria (setor) e somente estima o total de CO₂ obtido através do consumo de determinado volume (Mattos, 2001).

O método é composto por três etapas para o cálculo da emissão real de CO₂, explanados nos itens a seguir:

a) Conversão para Unidade Comum

Todas as medidas de consumo de combustível devem ser convertidas para uma unidade comum através da Equação (1):

$$CC = CA * F_{conv} * 41,868 * 10^{-3} * F_{corr} \quad (1)$$

Onde:

- i. CC: consumo de energia em Tera-Joule (TJ);
- ii. CA: consumo de combustível (m^3);
- iii. F_{conv} : fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para *tep* (tonelada equivalente de petróleo), com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível. Segundo dados do MCT, os valores do F_{conv} são: gasolina ($0,77 \text{ tep}/m^3$); álcool hidratado ($0,510 \text{ tep}/m^3$); diesel ($0,848 \text{ tep}/m^3$);
- iv. Tonelada equivalente de petróleo (tep): Unidade de energia utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma *tep* corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão.
 $1_{tep} = 41,868 \times 10^{-3} \text{ TJ}$ (Tera-Joule = 10^{12} J).
- v. F_{corr} : fator de correção de PCS (poder calorífico superior) para PCI (poder calorífico inferior). No BEN (Balanço Energético Nacional), o conteúdo energético tem como base o PCS, mas para o IPCC, a conversão para unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI. Para combustíveis sólidos e líquidos o $F_{corr} = 0,95$ e para combustíveis gasosos, o $F_{corr} = 0,90$, conforme Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT.

b) Conteúdo de carbono

A quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser calculada conforme a Equação (2):

$$QC = CC * F_{emiss} \quad (2)$$

Onde:

- i. QC: conteúdo de carbono expresso em tonelada de Carbono (tC).
- ii. CC: consumo de energia em Tera Joule (TJ);
- iii. F_{emiss} : fator de emissão de carbono (tC/TJ). Os valores do IPCC (1997) dos F_{emiss} são: gasolina ($18,9 \text{ tC}/\text{TJ}$); álcool hidratado ($14,8 \text{ tC}/\text{TJ}$); diesel ($20,2 \text{ tC}/\text{TJ}$).

c) Emissões de CO₂

Por fim, calculam-se as emissões de CO₂ de acordo com a Equação (3). Tendo em visto que o peso molecular do Carbono é 12 e do Oxigênio é 16, portanto o peso molecular do gás carbônico (CO₂) é 44. Logo, 44CO_2 corresponde a 12 tC ou 1 t de CO₂= $0,2727\text{tC}$ conforme a Equação (3):

$$ECO_2 = QC * 44/12 \quad (3)$$

Onde:

- i. ECO_2 : emissão de CO_2 ;
- ii. QC: conteúdo de carbono.

3.3 Consumo de combustível na cidade de Boa Vista

Devido ao crescente aumento na taxa de motorização, o consumo de combustíveis por fontes móveis na cidade de Boa Vista também se encontra em constante evolução. Conforme os dados da ANP apresentados na Tabela 3, podemos analisar as vendas anuais dos derivados combustíveis de petróleo pelas distribuidoras na cidade de Boa Vista durante o período de estudo.

Tabela 3 – Venda de combustíveis pelas distribuidoras em Boa Vista/RR.

	Gasolina Tipo C (m ³)	Óleo Diesel (m ³)	Etanol (m ³)
2005	41.426	49.854	703
2006	45.282	49.320	1.217
2007	48.605	51.539	2.085
2008	57.061	62.369	2.627
2009	67.752	64.255	2.640
2010	77.333	70.754	2.485
2011	79.266	77.375	2.233
2012	88.748	76.941	1.722
2013	96.443	89.995	1.615
2014	108.171	112.365	1.721
2015	98.763	104.155	2.334

Fonte: (ANP, 2015).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂)

Para a obtenção da emissão total de CO_2 , o primeiro levantamento necessário foi o consumo total de energia em Tera Joule (TJ) obtido da transformação da quantidade de combustível consumida anualmente em metros cúbicos (m³), através dos fatores de conversão e correção aplicados na Equação (1).

A Tabela 4 apresenta o resultado do cálculo de consumo de energia pelos combustíveis em Tera Joule (TJ).

Tabela 4 – Consumo de Energia (CC) anual em Tera Joule (TJ) por tipo de combustível.

Consumo de Energia em Tera Joule (TJ)			
	Gasolina	Álcool	Diesel
2005	1.269	14	1.682
2006	1.387	24	1.664
2007	1.489	42	1.738
2008	1.748	53	2.104
2009	2.075	53	2.167
2010	2.368	50	2.386
2011	2.428	45	2.610
2012	2.718	35	2.595
2013	2.954	32	3.035
2014	3.313	35	3.790
2015	3.025	47	3.513

Em seguida, estimou-se a quantidade de carbono emitida na queima dos combustíveis através da Equação (2), e mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Quantidade de Carbono (QC) emitido anualmente em toneladas (tC).

Emissão de Carbono (tC)			
	Gasolina	Álcool	Diesel
2005	23.979	209	33.967
2006	26.211	362	33.603
2007	28.135	620	35.114
2008	33.029	781	42.493
2009	39.217	785	43.778
2010	44.764	739	48.206
2011	45.882	664	52.717
2012	51.371	512	52.422
2013	55.825	480	61.315
2014	62.614	512	76.557
2015	57.168	694	70.963

Por fim, obteve-se a quantidade real de emissão de CO₂ a partir do conteúdo total de carbono emitido conforme a Equação (3). A Tabela 6 apresenta a estimativa final das emissões anuais de dióxido de carbono devido ao consumo de combustíveis por veículos automotores na cidade de Boa Vista durante o período do estudo.

Tabela 6 – Emissão total de CO₂ em toneladas (tCO₂).

Emissão de Dióxido de Carbono (tCO ₂)			
	Gasolina	Álcool	Diesel
2005	87.923	766	124.544
2006	96.108	1.327	123.211
2007	103.161	2.274	128.753
2008	121.107	2.864	155.808
2009	143.797	2.879	160.520
2010	164.133	2.710	176.756
2011	168.235	2.435	193.296
2012	188.361	1.877	192.213
2013	204.691	1.761	224.823
2014	229.583	1.876	280.709
2015	209.615	2.544	260.199

A Figura 4 compara as emissões provenientes da queima de cada tipo de combustível utilizado pelos veículos automotores da cidade de Boa Vista no período de 2005 a 2015.

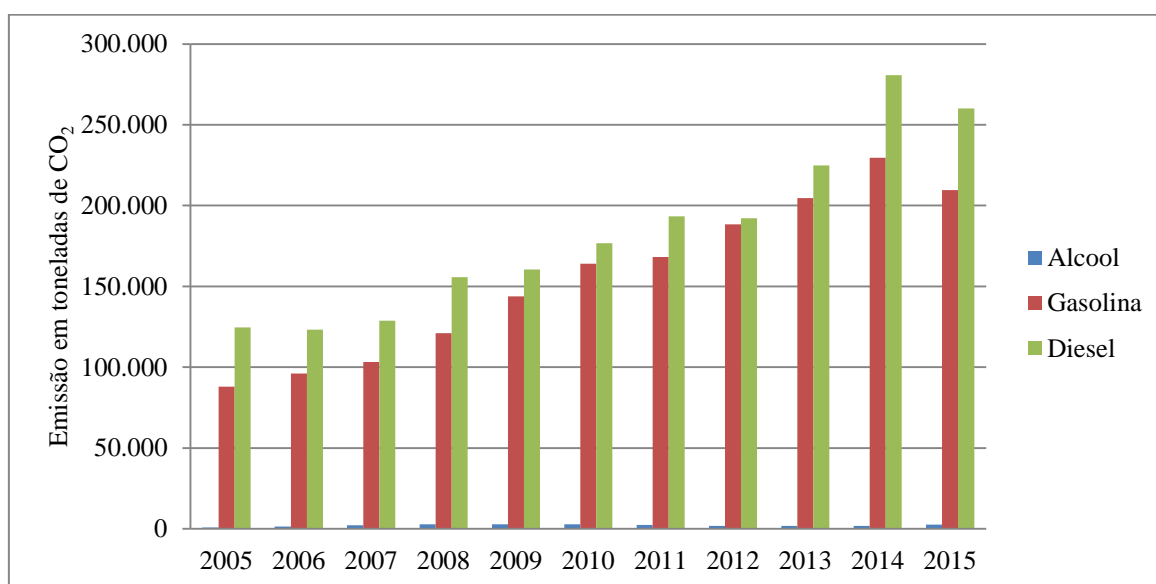


Figura 4 – Evolução das emissões de CO₂ pelos combustíveis em Boa Vista – 2005 a 2015

Avaliando o gráfico é possível inferir que os maiores responsáveis pela emissão de CO₂ são o Diesel e a Gasolina. Agrava-se a essa situação o fato de, além de serem os combustíveis mais consumidos, estes apresentam maiores taxas de emissão por metro cúbico, se comparados com o Álcool.

Na Tabela 7, as emissões de CO₂ encontram-se em função do consumo de cada tipo de combustível.

Tabela 7 – Taxa de emissão de CO₂ em função do consumo de combustível.

Combustível	Equação em função do consumo de combustível (CA) em m ³
Álcool	Emissão (tCO ₂) = 1,100802*CA
Gasolina	Emissão (tCO ₂) = 2,122412*CA
Diesel	Emissão (tCO ₂) = 2,498184*CA

O óleo diesel possui maior taxa de emissão com, aproximadamente, 2,5 toneladas de CO₂ por metro cúbico de combustível consumido, seguido da gasolina que emite em torno de 2,12 toneladas do poluente por metro cúbico. Foi em 2014 que as maiores emissões de diesel e gasolina foram estimadas, 280 mil e 230 mil toneladas de CO₂, respectivamente.

O Álcool, por sua vez, apesar de seu baixo poder de emissão, 1,1 toneladas de CO₂ por metro cúbico, tem baixa relevância na matriz energética, emitindo menos de 3 mil toneladas em 2009, ano em que foram registradas as maiores vendas do combustível. O impacto da entrada do carro *flex* no mercado automobilístico de veículos leves, em 2003, pressionou a demanda pelo álcool hidratado (com teor de água), apresentando crescimento no mercado brasileiro, entretanto, em Boa Vista isso ainda não é notável.

Conforme o relatório anual de emissões divulgado pela CETESB, a Região Metropolitana de Campinas (RMC), no ano de 2014, emitiu 1.697 e 1.573 mil toneladas de CO₂ devido ao consumo de gasolina e óleo diesel, respectivamente. As emissões devido ao consumo de álcool hidratado ultrapassaram um pouco mais de 60 mil toneladas de CO₂. Ainda que a cidade de Boa Vista e a RMC possuam frotas de automóveis e motocicletas muito superiores à de caminhões e outros veículos pesados, estes últimos são responsáveis por um alto consumo de óleo diesel, o que se reflete nas emissões finais devido à queima deste combustível.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gasolina é o principal combustível utilizado pelos veículos automotores na cidade de Boa Vista, entretanto, o diesel é o produto mais vendido pelas distribuidoras, sendo o principal responsável pelas emissões de gases poluentes. Subsidiado pelo governo, o diesel é uma ferramenta importante no cenário econômico nacional através do transporte de mercadorias.

Quanto ao perfil da frota de veículos automotores, a motocicleta vem sendo continuamente o tipo de veículo que mais cresce em números, e tudo indica que superará a frota de automóveis e de comerciais leves somados. Em 2015, o número de motocicletas representava quase 50% da frota, enquanto a de automóveis não ultrapassava 40% do total de veículos automotores da cidade de Boa Vista. A facilidade para adquirir uma motocicleta é o principal fator para esse crescimento, principalmente, quando existe a demanda da locomoção e a procura por parte da população que não encontra outra alternativa na cidade.

A evolução das emissões de dióxido de carbono apresentada nesse trabalho é consequência do cenário atual do transporte urbano da capital de Roraima. Em 2015, foram emitidos quase 500 mil toneladas de CO₂ devido à queima de álcool, gasolina e diesel consumidos

na cidade. Em 2005, esse número era menos da metade, ultrapassando um pouco mais de 200 mil toneladas de CO₂. Combinando o processo ininterrupto de urbanização com o crescimento da frota veicular, é possível que haja uma perda progressiva na qualidade de locomoção de quem vive na cidade de Boa Vista.

As políticas públicas já existentes que focam apenas no controle das emissões veiculares, perdem uma relativa importância, a partir do momento em que há um aumento progressivo da frota de veículos automotores. Para que haja um real impacto quanto à redução da poluição atmosférica, deve-se incentivar o uso do transporte público ou outras formas menos agressivas ao meio ambiente. Apesar de constituir-se em um princípio simples, isso não vem ocorrendo na prática, tendo em vista o aumento da frota e da circulação dos veículos, fomentados pelos subsídios no preço da gasolina e no incentivo da indústria automobilística. Soma-se a isso, a ausência de políticas urbanas que controlem a expansão horizontal da cidade, acarretando no aumento das distâncias de deslocamento e dificultando as logísticas do transporte público.

Além do mais, os dados apresentados nessa pesquisa apontam a importância do uso de outros tipos de combustíveis com fatores de emissão mais baixos, e na necessidade do contínuo desenvolvimento de pesquisas em formas alternativas de tração automotiva e investimentos em biocombustíveis. Salienta-se que também são necessários esforços para a melhoria da eficiência energética dos veículos por parte da indústria automotiva, tais como a diminuição de peso dos veículos, melhoria do processo de combustão, dentre outros avanços tecnológicos. Os entraves são muitos, entretanto, é urgente que haja uma maior sensibilização por parte dos governos e da população quanto à situação do transporte urbano brasileiro e, principalmente, das cidades de pequeno e médio porte que ainda passam por processos de crescimento onde se torna mais fácil aplicar ações preventivas e corretivas.

6 REFERÊNCIAS

Alvares Jr, O.M. e Linke, R.R.A. (2001) **Metodologia Simplificada de Cálculo das Emissões de Gases do Efeito Estufa de Frotas de Veículos no Brasil**. CETESB, São Paulo, SP.

ANP – Associação Nacional dos Transportes Públicos (2015) **Vendas, pelas distribuidoras, dos derivados combustíveis de petróleo por Unidade da Federação e produto - 2000-2015**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>.

Carvalho, C. H. R. (2011) **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, Brasília, DF.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2014) **Relatório Anual das Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2014**. São Paulo, SP.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito (2015) **Estatística – Frota de Veículos**. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>.

Fiziola, I.M., Yamashita, Y. e Veras, C.A.G. (2004), **Nível de emissão de gases de veículos automotores leves do ciclo Otto: valores referenciais**. Mestrado em Transportes, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013), **Projeção da População das Unidades da Federação por Sexo e Idade para o Período 2000 – 2030**. Coordenação de População e Indicadores Sociais do IBGE, Brasília, DF.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1997) **Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public>.

Mattos, L. B. R. (2011) **A importância do setor de transporte na emissão de gases do efeito estufa – O caso do município do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia (2006) **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF.

Vasconcellos, E. A. (2005) **A Cidade, o Transporte e o Trânsito**. Ed. Polilivros, São Paulo, SP.