

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO

MARIANA REZENDE AYROZA

MUDANÇA CLIMÁTICA E MODAL:
dois caminhos que se cruzam

SÃO PAULO
2011

MARIANA REZENDE AYROZA

MUDANÇA CLIMÁTICA E MODAL:

dois caminhos que se cruzam

Dissertação apresentada à Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração Pública e Governo.

Linha de Pesquisa: Política e Economia do Setor Público

Orientador: Prof. Dr. Ciro Biderman

SÃO PAULO

2011

Ayroza, Mariana Rezende.

Mudança Climática e Modal: dois caminhos que se cruzam / Mariana Rezende Ayroza. - 2011.

76 f.

Orientador: Ciro Biderman

Dissertação (mestrado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo.

1. Mudanças climáticas. 2. Economia ambiental. 3. Combustíveis -- Consumo. 4. Transporte urbano -- Aspectos ambientais -- Brasil. I. Biderman, Ciro. II. Dissertação (mestrado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo. III. Título.

CDU 504.03

MARIANA REZENDE AYROZA

MUDANÇA CLIMÁTICA E MODAL:

dois caminhos que se cruzam

Dissertação apresentada à Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração Pública e Governo.

Linha de Pesquisa: Política e Economia do Setor Público

Data de aprovação:

25/02/2011

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ciro Biderman (Orientador)

FGV-EAESP

Prof. Dr. George Avelino Filho

FGV-EAESP

Prof. Dr. Orlando Strambi

EPUSP

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e a toda minha família pelo amor e apoio incondicional ao longo dessa jornada. Sem vocês não seria possível dar este passo na minha vida.

Aos meus colegas de mestrado pelas conversas e contribuições em todos os momentos que precisei, em especial ao Leo e ao Fred.

Ao orientador Ciro Biderman pelas discussões proveitosas e pela liberdade concedida, tornando este mestrado um grande aprendizado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ – pelo apoio financeiro.

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, em especial à Superintendência de Planejamento e Pesquisa, por ter concedido os dados necessários para realização deste estudo.

Meus sinceros agradecimentos às demais pessoas que, de alguma maneira, me apoiaram nesta fase, em especial ao prof. Dr. George Avelino, ao prof. Dr. Orlando Strambi, à Adriana Schneider, ao José Carlos Andersen e ao Marcelo Bales.

RESUMO

Tendo em vista a crescente preocupação com a questão da mudança climática e suas consequências para a sociedade, pretendemos analisar de que forma o padrão de viagens dos munícipes impacta no consumo de combustíveis nos municípios. Utilizamos como proxy para as viagens a frota de veículos dos municípios, empregando o modelo em painel com efeitos fixos. O resultado aponta que, se houver uma política que incentive a mudança modal, é possível reduzir o consumo de combustíveis e, conseqüentemente, a emissão de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: mudança climática, mudança modal, gases de efeito estufa e transporte.

ABSTRACT

Given the growing concern with the climate change issue and its consequences for society, we intend to analyse how the citizens pattern of travel impacts on fuel consumption in the municipalities. We use as a proxy for the trips, the fleet of municipal vehicles employing the model in panel of fixed effects. The result indicated that if there is a policy that encourages modal shift it will be possible to decrease the fuel consumption and hence the emission of greenhouse gases.

Keywords: Climate change, modal shift, greenhouse gases and transportation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das emissões globais de GEE, em CO ₂ e, por setor, em 2004 .	11
Figura 2- Participação dos diferentes GEE no total de emissões de 2004, em CO ₂ e, no mundo.	18
Figura 3 - Emissões nacionais de CO ₂ , por setor, em 2005.....	31
Figura 4 - Emissões do Município de São Paulo de GEE em CO ₂ e, por fonte, em 2003	32
Figura 5 - Emissões do Município do Rio de Janeiro de GEE em CO ₂ e, por fonte, em 2005	33
Figura 6 - Participação dos modais no Município do Rio de Janeiro na emissão de CO ₂ e pelo setor de transporte, em 2005	33
Figura 7 - Emissões de GEE do Uso de Energia no Município de Belo Horizonte em ..	34
Figura 8 – Consumo de combustível <i>per capita</i> pela proporção de coletivos na frota de veículos (%).	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Eficiência Energética dos Modais	27
Tabela 2 – Distribuição Modal e Consumo de Combustível nos municípios (2001 a 2009) - Modelo em Painel com Efeito Fixo.....	42
Tabela 3 - Distribuição Modal e Consumo de Combustível nos municípios (2001 a 2009) - Modelo em Painel com Efeito Fixo em forma logarítmica	44
Tabela 4 – Classificação das ACP's conforme o consumo de combustíveis <i>per capita</i> (2001 a 2009).....	47
Tabela 5 - Classificação das ACP's conforme média anual de consumo de combustíveis (2001 a 2009)	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE	13
3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	16
4. O SETOR DE TRANSPORTE E A MOBILIDADE URBANA	21
4.1 Painel brasileiro: mobilidade e emissões do setor de transporte	29
5. O IMPACTO DA DISTRIBUIÇÃO MODAL NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	35
5.1 Apresentação dos dados	35
5.2 Modelo Econométrico	38
5.3 Análise dos dados.....	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
7. BIBLIOGRAFIA	51
APÊNDICES.....	58
APÊNDICE A - Modelo em painel com efeitos fixos.....	59
APÊNDICE B - Testes de Hausman e Heterocedasticidade.....	62
APÊNDICE C - Matriz de Correlação entre as Variáveis em Forma Logarítmica.....	64
APÊNDICE D - Cálculo simplificado das emissões de CO ₂ das ACP's.....	65

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a tendência de urbanização geraram efeitos no modo de vida da população e em sua relação com o meio ambiente. Isso justifica a crescente preocupação com as alterações ambientais causadas pelo homem. O papel dos gestores no planejamento das grandes cidades e, atualmente, em suas extensões, as metrópoles, é propiciar o desenvolvimento sustentável dos centros populacionais.

Neste contexto, a implantação de políticas públicas adequadas ao setor de transportes juntamente com a política de uso do solo é primordial. Entretanto, observa-se a precarização dos sistemas de transportes públicos e a intensificação dos congestionamentos nas vias urbanas, o que tem permitido atribuir, ao segmento, a crítica de grande vilão nas emissões de gases efeito estufa (GEE) nos centros urbanos.

Para grande parte da comunidade científica, as mudanças climáticas observadas nestes últimos 100 anos resultam de uma complexa inter-relação entre causas naturais e ações antropogênicas. Estas ações alteram os ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrogênio, gases traços, aerossóis, nutrientes, etc.) e biogeofísicos (energia radiativa, água, etc.) nos ambientes terrestres e aquáticos e no sistema climático do planeta (III CONFERÊNCIA REGIONAL SOBRE MUDANÇAS GLOBAIS, 2008). Embora seja difícil mensurar a parcela de responsabilidade das ações humanas nas alterações climáticas, diversos estudos apontam nesta direção. É o caso de estudo publicado na revista *Nature*, onde se afirma que o aumento da emissão de GEE de origem antropogênica contribuiu para o aumento de precipitações extremas em aproximadamente 2/3 dos dados observados em partes das áreas do Hemisfério Norte (MIN et al, 2011). A apreensão em relação a estas alterações climáticas se deve principalmente aos efeitos para a sociedade, mais do que uma preocupação com a proteção à natureza em si. Haja vista os eventos climáticos extremos que presenciamos com mais frequência e suas consequências para a população.

O crescimento e o desenvolvimento dos países têm sido baseados principalmente em atividades que emitem grandes quantidades de GEE, como a geração de energia pela queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural), desmatamentos e decomposição anaeróbica de matéria orgânica (pecuária e aterros sanitários). No âmbito global, em 2004, conforme observado na Figura 1, o fornecimento de energia foi responsável por 25,9% da emissão de GEE¹, seguido pela indústria, 19,4%, mudança do uso do solo e florestas, 17,4%, setor agropecuário, 13,5%, setor de transportes, 13,1%, edificações (residências e comércio), 7,9%, e tratamento de resíduos, 2,8% (IPCC, 2007b).

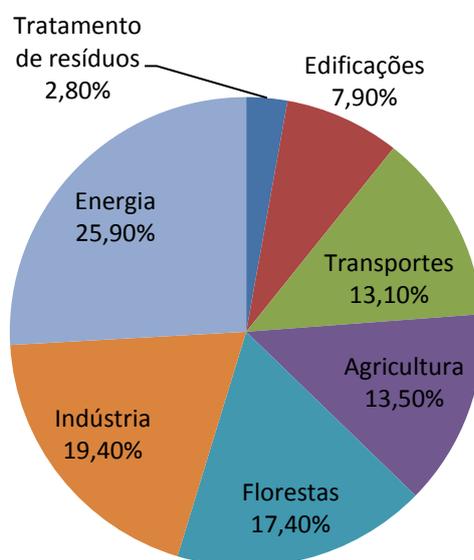


Figura 1 – Distribuição das emissões globais de GEE, em CO₂e, por setor, em 2004

Fonte: Adaptado de IPCC (2007b).

Entretanto, no nível municipal, o cenário é um tanto diferente. Nos grandes centros urbanos, o maior emissor de GEE é o setor de transporte. No caso da cidade de São Paulo, de acordo com o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Município (SÃO PAULO, 2005), em 2003, quase 50% das emissões tiveram origem no setor rodoviário.

¹ Emissões dos gases CO₂, CH₄, N₂O e f-gases (HPF, PFC e SF₆) em termos de CO₂ equivalente.

Com essa preocupação, o intuito deste trabalho foi avaliar de que forma os deslocamentos nos centros urbanos impactam no consumo de combustível e nas emissões dos municípios. A hipótese trabalhada é que a distribuição modal impacta no consumo de combustível dos municípios. O resultado apresentado indica que municípios com proporções maiores de coletivos (ônibus e micro-ônibus) na frota total de veículos dos municípios tem um consumo menor de combustível e, conseqüentemente, de emissões de GEE. Adicionalmente, a quantidade de automóveis, controlada pela população do município, impacta positivamente no consumo de combustíveis.

Quanto à estrutura do trabalho, primeiramente, abordaremos alguns aspectos da teoria da economia do meio ambiente e, em seguida, a questão da mudança climática, do setor de transporte e da mobilidade urbana. Na terceira parte do estudo, detalhamos os dados, a metodologia empregada e analisamos os resultados. No Apêndice, apresentamos os demais resultados das regressões, os testes de robustez para os modelos e a matriz de correlação entre as variáveis. Além disso, apresentamos no apêndice D uma análise mais detalhada das emissões dos principais centros urbanos do país.

2. ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

As questões econômicas chaves para entender o debate sobre as mudanças climáticas incluem as falhas de mercado geradas pelos bens comuns e/ou bens públicos e as chamadas externalidades. A discussão batizada por Garrett Hardin (1968) como “Tragédia dos Comuns” é considerada um marco para economia do meio ambiente. A ideia básica é que o uso, sem controle, de um recurso levará ao seu esgotamento (*Freedom in a common brings ruin to all*). Como cada indivíduo ignora o custo imposto aos outros, as decisões individuais conduziram a uma tragédia. A forma de evitar esse desfecho seria, de acordo com Hardin (1968), através da coerção mútua, (*Mutual Coercion Mutually Agreed Upon*), baseada na mudança dos valores morais com o intuito de limitar a liberdade de cada indivíduo.

Para Hardin (1968) a lógica da tragédia é alicerçada em três pressupostos: (1) o interesse próprio seria o único motivador das ações individuais, (2) os mecanismos sociais de controle, tais como, comunicação, confiança e habilidade para vincular acordos seriam ineficientes ou falhos e (3) as futuras interações não dependeriam das interações presentes dos indivíduos.

Contudo, deparamo-nos com a possibilidade de as ações individuais, principalmente relacionadas à comunicação, à confiança e à antecipação das interações futuras, prevenirem as tragédias por meio de acordos e regras que controlem a conduta da sociedade (OSTROM *et al.*, 2002). Essa vertente é conhecida por “Drama dos Comuns” e, está, também, intrinsecamente, ligada às características dos bens comuns e dos bens públicos. A seguir, apresentamos a distinção entre estes bens (OSTROM *et al.*, 2002):

- Bem comum (*common-pool resource*): determinado pelas características dos recursos. Tal recurso pode ser regido pelo governo, pela propriedade privada, pela propriedade comum ou ter o acesso irrestrito. Tem como principais atributos a subtrabilidade e a dificuldade de excluir outros indivíduos do seu uso;
- Bem público: é algo que todos podem acessar, mas, diferentemente do bem comum, o uso por um indivíduo não necessariamente diminui o potencial de uso para os demais.

A forma com que os indivíduos usufruem destes bens dependerá de alguns atributos. São eles (OSTROM *et al.*, 2002):

- (1) se o bem é renovável ou não renovável, conforme sua taxa de substituição ao longo do tempo;
- (2) a escala da disponibilidade do recurso (local, nacional, ou global); e
- (3) a diversidade dos custos de mensuração da quantidade e localização dos recursos (basicamente, a capacidade de armazenamento e a mobilidade dos recursos).

Esse debate se insere neste estudo, pois tanto os sistemas viários como a atmosfera global compartilham destes atributos. A intensificação do tráfego e a poluição atmosférica são alguns dos resultados negativos devido a estas problemáticas. Nos sistemas viários, por exemplo, podemos identificar dois atributos dos bens comuns: (1) a exclusão de usuários através de barreiras físicas ou institucionais é extremamente custosa e (2) a exploração por um usuário reduz o recurso que estará disponível aos demais.

Da mesma maneira, não é possível restringir o acesso dos indivíduos à atmosfera global, também conhecida por *common-pool sink*. Adicionalmente, os gases despejados na atmosfera são identificados como externalidades negativas geradas pelo uso dos veículos. Neste caso, o agente emite os poluentes na atmosfera sem levar em consideração o dano causado à sociedade.

Algumas políticas e instrumentos para combater essas falhas de mercado podem prover sinais necessários para o uso parcimonioso dos recursos, incluindo a introdução de taxas de efluentes, padrões de qualidade do ar, comércio de licença de emissões, regulação do controle de emissões em automóveis novos e usados, assim como obrigatoriedade de inspeções veiculares. Entretanto, há alguns entraves para a utilização destes instrumentos de política, como: (1) dificuldade em mensurar e precificar aspectos ambientais, como o benefício da melhoria da qualidade de vida resultante da redução da exposição a poluentes e (2) a relutância entre os políticos para empregar medidas monetárias com intuito de mensurar questões relacionadas, por exemplo, à morbidade e à mortalidade devido às doenças respiratórias

ocasionadas pela exposição a poluentes (CROPPER; OATES, 1992). A avaliação e posterior determinação da política a ser implementada limitam as alternativas disponíveis à sociedade, mas ao mesmo tempo criam novas oportunidades, como é o caso do mercado de crédito de carbono.

Para o setor de transportes, é necessário implementar políticas que assegurem que os motoristas se defrontem com o custo real de emitir poluentes, induzindo a demanda do usuário de modo a igualar o benefício que o indivíduo usufrui das vias ao custo total imposto à sociedade. Algumas políticas como o rodízio de automóveis no município de São Paulo ou o pedágio urbano de Londres são exemplos de restrições que podem ser impostas aos usuários. Outra opção é a implementação de taxas anuais sobre os efluentes, referente à quilometragem rodada por veículo no ano anterior. Entretanto, ofertar alternativas ao transporte individual é imprescindível para a imposição de restrições.

A definição de padrões de emissões e taxas que incidam sobre o transporte individual e sobre combustíveis incentiva as mudanças modais e o uso de combustíveis alternativos menos poluentes (VERGARA; HAEUSSLING, 2007). Os custos de desenho, a implementação, o monitoramento e a adaptação à regulamentação variam substancialmente, dependendo das características dos recursos e do meio institucional. Dessa maneira, a melhor política a ser aplicada em determinada situação dependerá não só das especificidades do recurso, mas do contexto político, econômico e ambiental de cada país. Por outro lado, o papel das instituições deve ser aferido considerando múltiplos critérios, entre os quais destacam-se a eficiência, a sustentabilidade e a equidade das políticas implementadas (OSTROM *et al.*, 2002).

3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O chamado efeito estufa é um processo natural e necessário para a vida na terra, já que sem ele a temperatura média do planeta seria 30 graus Celsius mais fria do que é atualmente (BRASIL, 2004). No entanto, a intensificação da concentração de gases de efeito estufa (GEE) de origem antrópica lançados na atmosfera tem efeitos críticos no sistema climático (CGEE, 2008). O equilíbrio climático é regulado por diversos processos e componentes, e o aumento da concentração de GEE, em torno de 40% desde a revolução industrial, interfere neste processo, o que torna urgente a mudança no padrão de emissão da sociedade.

Os principais gases² de origem antrópica responsáveis pela mudança climática são: Dióxido de Carbono (CO₂), Óxido Nitroso (N₂O), Perfluorcarbonos (PFC), Hidrofluorcarbonos (HFC), Metano (CH₄), Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) (CGEE, 2008). A duração da permanência destes gases na atmosfera é um dos fatores de apreensão para a comunidade científica e está ligada a outra problemática, a chamada inércia climática. Por exemplo, o dióxido de carbono permanece na atmosfera por mais de 200 anos, o óxido nitroso em torno de 114 anos e os clorofluorcarbonetos de 45 a 260 (MCKIBBIN; WILCOXEN, 2002). Este *delay* implica que as ações de hoje são determinantes para as opções de amanhã. A demora de ações com vistas à estabilização dos GEE eleva os custos da implantação de políticas de mitigação e adaptação devido ao fato de a infraestrutura e os estilos de vida tornarem-se mais intensos em carbono. (WORLD BANK, 2010).

Em 2008, a concentração dos GEE atingiu a marca de 385 partes por milhão (ppm) (RIBEIRO, 2008). O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) sugere, para que não haja um aumento de mais de 2,0 °C na temperatura da terra, estabilizar a concentração de GEE em torno de 500 ppm. Para tanto, as emissões deverão declinar nos próximos 15 anos e reduzir ao menos 50% do nível de 1990 até 2050 (BOWEN *et al.*, 2009). Embora não haja consenso em relação à trajetória ótima das emissões de GEE, a maior parte dos modelos afirma que os benefícios

² Os inventários de emissões de GEE, em geral, contabilizam estes gases em termos de CO₂ equivalente (CO₂e).

excedem o custo de se estabilizar em 2,5 °C a temperatura acima da média (WORLD BANK, 2010).

Adicionalmente, as ações mitigadoras, preventivas e corretivas trazem benefícios para a saúde pública (como, por exemplo, a redução de doenças provocadas pelo excesso de poluição), segurança energética e economia em gastos públicos, até mesmo advindos da prevenção dos desastres ambientais.

Caso não haja estabilização das taxas de emissão de GEE, as consequências projetadas para pós 2030 na América Latina são: transformação da floresta tropical em savana; risco da perda da biodiversidade por extinção de espécies; diminuição da produtividade de grãos, resultando em risco à segurança alimentar e aumento de pessoas com restrição ao acesso à alimentação; mudança dos padrões de chuva; e o desaparecimento das áreas glaciais, que afetarão a disponibilidade de água para consumo humano, agricultura e geração de energia (IPCC, 2007b).

China e Índia são os países onde houve maior aumento de emissões de CO₂. A China ultrapassou os Estados Unidos, em volume, e lidera, atualmente, a emissão de GEE no planeta. No entanto, os EUA ainda são responsáveis pela maior emissão por habitante. Numa perspectiva histórica, os países em desenvolvimento, que representam 80% da população mundial (perto de 6 bilhões de pessoas), são responsáveis por cerca de 20% das emissões acumuladas desde 1751. Atualmente, estes países emitem um terço do que é emitido pelos países desenvolvidos (menos de 1 bilhão de pessoas). Ainda assim, em torno de ¼ do crescente aumento das emissões dos países em desenvolvimento são resultado do aumento do comércio internacional de bens e serviços produzidos em países em desenvolvimento, mas consumidos em países desenvolvidos (LE QUÉREÉ *et al.*, 2009). É como se os países desenvolvidos estivessem parcialmente terceirizando suas emissões para os países em desenvolvimento, o que indica que as emissões nos países desenvolvidos continuam em ascensão, embora menos acelerada.

Essas “fugas” de emissões, conhecidas como *emissions leakage* ocorrem quando a redução de emissão em uma região leva ao aumento em outra região. A eficácia de um arcabouço regulatório que vise à redução de emissões dependerá se e com que facilidade a atividade econômica de uma região regulada pode ser deslocada para outra região com regulamentação ambiental diversa (JAFFE *et al.*, 2009).

O modelo de desenvolvimento de baixo carbono requer a mudança no estilo de vida da sociedade advindo do uso sustentável das terras e florestas, do uso de energias renováveis, do investimento em transportes sustentáveis, de um novo padrão de consumo e de uma produção mais eficiente e menos intensiva em carbono. Alguns princípios devem nortear essas discussões, como a necessidade de ações imediatas e a elaboração de um acordo entre as nações para a redução das emissões e a distribuição dos custos. Maior pressão da sociedade é necessária para o andamento das negociações, além de novos instrumentos e recursos que possibilitem uma mudança no paradigma da emissão de carbono da economia, visando alcançar um acordo global. A importância dos governos locais neste processo também é realçada, como demonstram as ações em cidades desde as mais desenvolvidas nos Estados Unidos até cidades em países como China e Índia, em direção a uma economia de baixo carbono (WORLD BANK, 2010).

No âmbito global, em 2004, as fontes de emissões de GEE distribuíram-se da seguinte maneira (Figura 2): mais de 50% devido ao CO₂ emitido pela queima de combustíveis fósseis, originada nos diversos setores econômicos, seguido de 17,3%, provindo do CO₂ decorrente do desmatamento, e de 14,3%, ao CH₄ advindo principalmente da agricultura e da queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2007b).

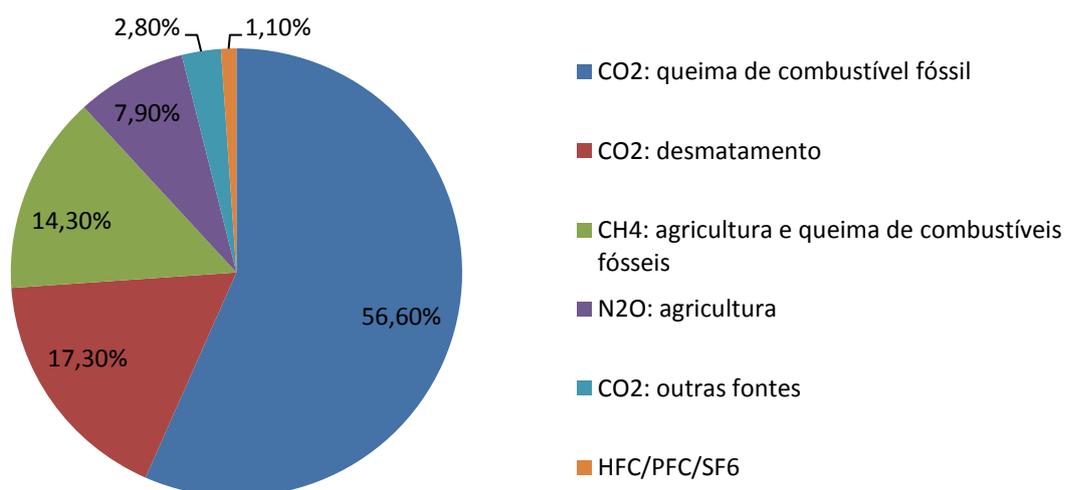


Figura 2- Participação dos diferentes GEE no total de emissões de 2004, em CO₂e, no mundo.

Fonte: Adaptado de IPCC (2007b).

A resposta política internacional às alterações climáticas advém, no âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU), da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança no Clima (CQNUMC). A convenção foi instituída durante a realização da Rio-92, com o principal objetivo de alcançar a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera. A CQNUMC estabeleceu dois grupos de países: as partes do Anexo I, que inclui os países desenvolvidos³; e as partes do Não-Anexo I, que incluem os países em desenvolvimento, entre os quais o Brasil. A Convenção baseou-se em dois princípios básicos: o da responsabilidade comum, mas diferenciada, e o da precaução, sendo que esta última refere-se ao fato de que “a ausência de plena certeza científica em torno da questão não deve ser usada como desculpa para que os países posterguem a adoção de medidas para prevenir, evitar ou minimizar as causas da mudança do clima e mitigar seus efeitos negativos” (CGEE, 2008).

Em 1997, na COP-3 (3^o Conferência das Partes) houve a elaboração e assinatura do Protocolo de Quioto, o qual foi um marco para o mercado de carbono. O protocolo é alicerçado em dois pilares (CONEJERO e NEVES, 2006):

- (1) limite de emissões de GEE diferenciado entre os países pertencentes ao Anexo I, a partir de 2008, que equivale, no total, a 94,8% do volume de gases emitido em 1990. Esse limite deverá ser alcançado entre o período de 2008 e 2012⁴.
- (2) mecanismos de flexibilização, que autorizam a transferência de crédito de carbono entre os países. Dessa forma, aqueles países pertencentes ao Anexo I que obtiverem uma redução maior do que a exigida poderão vender este excedente. Por outro lado, os países não incluídos do Anexo I poderão implantar projetos que evitem outras emissões ou sequestrem carbono, gerando créditos para a venda. Três diferentes mecanismos podem ser utilizados para a troca de créditos de emissão de GEE: Implementação Conjunta; Comércio de Emissões; e o Mecanismo de

³Países do Anexo I: Alemanha, Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária, Canadá, Comunidade Européia, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Federação Russa, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Lichtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, República Tcheca, Romênia, Suécia, Suíça, Turquia e Ucrânia.

⁴ Primeiro período de cumprimento do protocolo de Quioto.

Desenvolvimento Limpo (MDL), que é o único mecanismo que pode ser aplicado no Brasil.

No âmbito nacional, o governo federal instituiu a Política Nacional sobre Mudança de Clima através da Lei 12.187, em dezembro de 2009, recomendando ações para a redução das emissões de gases de efeito estufa projetadas até 2020 entre 36,1% e 38,9%, com base no ano de 2005. Tal política foi adotada na forma de um compromisso nacional voluntário. Os governos estadual e municipal de São Paulo estabeleceram, precedidamente, legislação específica para lidar com a mudança climática, respectivamente, em novembro e junho de 2009. O Governo do Rio de Janeiro, igualmente, estabeleceu a política estadual de mudança climática, em abril de 2010.

Estas novas legislações, em nível Nacional, Estadual e Municipal, trouxeram destaque para a mudança climática dentro do cenário político brasileiro. O cumprimento das metas propostas passa necessariamente pela adequação do setor de transportes.

4. O SETOR DE TRANSPORTE E A MOBILIDADE URBANA

A função do transporte é transportar bens e deslocar pessoas de um ponto ao outro com fins diversos, tais como trabalho, lazer, viagens, compras, entre outros. Portanto, a demanda dos usuários do sistema de transporte é pelo deslocamento que, por sua vez, é devida à distribuição espacial das atividades em uma determinada região, caracterizando o setor como uma atividade meio que envolve logísticas distintas.

Porém, dada a complexidade do setor e a transversalidade com os demais setores econômicos, não é fácil a implantação de políticas de transportes mais eficientes. Adicionalmente, existe a questão federativa que prevê a cooperação entre os entes federais, estaduais e municipais, e ainda a questão das metrópoles que lidam com mais um fator complicador, qual seja, a extrapolação dos limites dos seus municípios. Nesse caso, ainda é maior a dificuldade da negociação entre os entes autônomos para a construção de soluções que ambicionem um planejamento adequado e eficiente da malha de transporte.

No âmbito da operacionalização, outro fator a ser considerado é a heterogeneidade dos usuários devida às diferenças em relação à ocupação, gênero, idade e renda que resulta no acesso diferenciado à infraestrutura implantada (ARORA, 2009). A acessibilidade, igualmente, é um conceito importante na discussão do transporte público coletivo: refere-se à proximidade dos destinos, principalmente aos postos de trabalho, e às alternativas modais disponíveis, incluindo transportes públicos e não motorizados, ou seja, às possibilidades de escolhas de viagens e à quantidade de deslocamento necessário para tanto. A acessibilidade está ligada a duas outras concepções: (1) a capacidade de se chegar a lugares, diretamente relacionada à mobilidade, e (2) a organização da cidade.

A acessibilidade do sistema de transporte público coletivo é fator desencorajador do uso do carro, já que a melhora da qualidade e distribuição dos espaços encoraja os indivíduos a se deslocarem por meio de outros modais. De acordo com estudo da comissão de transporte metropolitano da Califórnia, a pessoa que mora a menos de um quilometro de uma estação de embarque tem probabilidade quatro vezes maior de utilizar o transporte público coletivo do que os demais. Quando a estação de desembarque for localizada a menos de um

quilometro do trabalho, esta probabilidade é 10 vezes maior (MALACZYNSKI; DUANE, 2009).

Dispersão, baixa densidade e homogeneidade no uso da terra incentivam viagens mais longas e com maior frequência. Em contraposição, alta densidade e uso misto (comercial e residencial) do espaço facilitam o deslocamento dos indivíduos, encorajando o uso de modais alternativos aos veículos privados. Tais atributos podem tornar mais factíveis financeiramente os projetos de transporte público coletivo, pois aumentam o número de potenciais usuários do sistema devido à melhora na distribuição das linhas e na maior frequência de serviço (LITMAN, 2010).

A frequência com que o usuário realiza a viagem (diariamente, semanalmente..), o tempo de viagem, o custo de utilizar o transporte público, em contraposição ao uso do transporte individual, e as alternativas modais disponíveis são alguns dos determinantes da demanda por modal, assim como as preferências e características socioeconômicas do usuário. A teoria sobre modelação da demanda por modais é extensa e não entraremos nela neste estudo. O que é importante enfatizar é que o usuário demanda por deslocamento e não por um modal específico.

Do lado da oferta temos o sistema de transporte, formado pela infraestrutura implantada (vias, estações e terminais) e pelos veículos de cargas e pessoas. A oferta é influenciada pelas políticas de regulação e estímulo ao setor.

Abaixo identificamos algumas aplicações para atuação junto à oferta e demanda por transportes (STRAMBI, 2010):

- Medidas de desestímulo ao uso do automóvel, aplicadas via (1) restrição à circulação: rodízios e pedágios; (2) restrição aos estacionamentos: redução do número de vagas disponíveis e política de preços de estacionamentos nas vias, como, por exemplo, o estacionamento rotativo pago (denominado zona azul); e (3) imposição de taxas e impostos sobre veículos;
- Incentivo ao uso de modos de transporte coletivos;
- Incentivo ao transporte não motorizado (ciclovias e calçadas adequadas);
- Integração entre os diferentes modos de transportes; e

- Integração das políticas de uso do espaço urbano às políticas de transporte.

O investimento em transporte coletivo melhora a mobilidade e, conseqüentemente, o acesso ao trabalho, educação, saúde, recreação e serviços governamentais, impactando, direta ou indiretamente, a todos. Assim, a mudança na acessibilidade muda o perfil de mobilidade e o bem-estar sócioeconômico de toda a população (ARORA, 2009). Adicionalmente, o transporte é também considerado um mecanismo de integração espacial e social, atuando como amenizador ou agravador das desigualdades sociais (RODE *et al.*, 2009)

Porém, a magnitude destes efeitos depende do contexto em que o investimento no setor é realizado, ou seja, está correlacionada ao tipo de investimento (ampliação/expansão), tamanho do município, urbanização, entre outros fatores.

Nesse sentido, as políticas de uso de solo e de transporte devem estar inerentemente integradas. A relação entre investimentos em novas rodovias e mudanças do uso do solo é evidenciada por diversos estudos. Entre eles, Haughwout e Boarnet (2000) afirmam que a construção de rodovias e vias expressas ao longo das cidades induz a mudanças no padrão de localização das atividades dentro das metrópoles. Funderburg *et al.* (2010), com base em uma pesquisa realizada nos EUA, também asseguram que estes tipos de investimentos impactaram, significativamente, na descentralização de regiões metropolitanas devido à mudança do padrão de localização de firmas e residências.

A falta de prioridade ou a incapacidade de gestores e legisladores de lidar com as políticas de transporte e uso do solo resultam no aumento da distância percorrida pelos veículos e da emissão de poluentes. Espera-se que melhores decisões políticas, tanto no âmbito local como no regional, reduzam a extensão percorrida e influenciem na frequência das viagens e no modal escolhido pelos usuários, resultando, portanto, na redução das emissões decorrentes desses deslocamentos.

Os créditos de carbono são uma alternativa para gerar investimentos em políticas públicas que visem à mudança modal (veículos privados para coletivo e/ou não motorizado), à melhora da eficiência do veículo (quanto o veículo emite por quilometro) e combustíveis menos poluentes (por exemplo, gasolina/diesel para

etanol ou outro biocombustível). Esses projetos são conhecidos como *carbon offsets*. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um dos instrumentos que possibilita projetos como esses, como, por exemplo, pela implantação de sistemas de transportes com operação exclusiva em corredores de ônibus conhecidos pelo termo em inglês *Bus Rapid Transit* (BRT).

Um sistema BRT custa, de acordo com publicação do Ministério das Cidades (BRASIL, 2008), entre 4 a 20 vezes menos que um sistema de bondes ou de veículos leves sobre trilhos (VLT), ou entre 10 a 100 vezes menos do que um sistema de metrô. Para ser considerado um sistema BRT, o projeto deve agregar uma série de características referentes à infraestrutura física, operações, estrutura institucional e de negócios, tecnologia, além de marketing e serviço ao usuário, que o diferencie dos serviços convencionais de ônibus.

O TransMilenio, na cidade de Bogotá (Colômbia), foi o primeiro projeto de transporte utilizando o MDL, com metodologia de BRT (AM0031) aprovada em 2006 pela *United Nations Framework Convention on Climate Change*⁵ (UNFCCC). O TransMilenio, cuja operação foi iniciada em 2000, baseou-se nos seguintes pontos com vista à redução das emissões por passageiro (GRUTTER CONSULTING, 2006):

- Aumento da eficiência: a renovação da frota (ônibus novos e maiores) reduz as emissões por passageiro transportado;
- Mudança modal: o sistema BRT é mais atrativo para os usuários devido à redução do tempo de viagem, aumento do conforto, confiabilidade e segurança, podendo atrair passageiros dos carros e táxis, que são grandes emissores de GEE;
- Aumento da taxa de ocupação dos veículos: o sistema BRT tem uma organização centralizada, com o controle da frota de ônibus via GPS (sistema de monitoramento global), o que permite ajustar mais rapidamente a frequência dos ônibus em determinados períodos; e
- Sistema de tarifas pré-pagas: melhora do processo de embarque e, portanto, redução das emissões de GEE.

⁵ Em português, Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Global do Clima (CQMGC).

Para se beneficiar do MDL é necessário passar por um processo burocrático rigoroso. No documento de concepção de projeto (DCP) deve constar a linha de base utilizada, isto é, o cenário tendencial, que se refere a uma situação hipotética em que não há alteração na situação corrente. No caso do TransMilenio, o DCP estabeleceu a adicionalidade⁶, mostrando que a linha de base era uma alternativa legal factível, uma vez que, sem a assistência do MDL o projeto não seria implantado. Neste caso, a factibilidade financeira teve papel fundamental para assegurar a adicionalidade do projeto (MALACZYNSKI; DUANE, 2009). Isto demonstra que a questão financeira pode ser utilizada para permitir que projetos relacionados ao transporte e ao uso da terra possam ser implementados.

O Metrobus, que teve início em 2005, em parceria com o Banco Mundial, na cidade do México, é outro projeto de BRT financiado pelo MDL. Os fatores apontados como redutores de emissões de GEE, devido a este projeto de MDL, são apresentados a seguir (VERGARA; HAEUSSLING, 2007):

- Melhora nas condições de operações dos ônibus: linhas segregadas com tráfego prioritário para ônibus, permitindo aos ônibus operar com mais eficiência sem interferência dos demais veículos da via, com a redução dos tempos de viagem e congestionamentos;
- Aperfeiçoamento tecnológico e capacidade dos ônibus: renovação da frota;
- Sistema de tarifas pré-pagas;
- Utilização de controle centralizado da frota;
- Melhoramento do tráfego para outros veículos que utilizam a mesma rota;
- Criação de um ambiente empresarial mais propício ao transporte público ;
- Introdução do conceito de tronco-alimentador (*trunk-feeder*);
- Provisão de alternativas para a construção de novas rodovias: vislumbram-se novas oportunidades para o setor de transporte devido ao ambiente mais favorável.

⁶ A comprovação de adicionalidade é necessária para a aprovação de uma metodologia. A adicionalidade compreende a redução de emissões de GEE da atmosfera adicional ao que ocorreria na ausência desta iniciativa.

A determinação da linha de base e da adicionalidade se mostra trabalhosa em todos os aspectos, exigindo atenção redobrada para a aprovação metodológica, principalmente, em projetos relacionados às fontes móveis (transportes) e ao uso da terra (MALACZYNSKI; DUANE, 2009).

Um exemplo desta problemática foi a recusa do Comitê Executivo da UNFCCC de um dos projetos apresentados pela China, objetivando a redução da distância percorrida pelos automóveis nas viagens diárias devida à mudança do uso do solo. A existência de erros na metodologia quantitativa e falhas na adicionalidade requerida foram a justificativa para a rejeição deste projeto.

Embora a incerteza em relação à adicionalidade gere insegurança por parte do investidor e resulte na redução dos esforços destinados a estes tipos de projetos, os *carbon offsets* criaram uma alternativa de financiamento para o investimento em transporte coletivo, haja vista os créditos de carbono gerados pelo TransMilenio e o Metrobus.

A Tabela 1 apresenta a eficiência energética dos modais, um comparativo entre o automóvel particular e o ônibus. De acordo com a Tabela 1, um carro consome em torno de 11 litros de combustível para percorrer cerca de 100 quilômetros, enquanto o ônibus consome em torno de 43,5 litros de diesel. Entretanto um carro transporta 1,46 pessoas em média, enquanto o ônibus transporta 700 pessoas por dia. Isso corresponde a 132,35 gramas de CO₂ emitidos para cada passageiro do carro por quilometro e 1,66 gramas de CO₂ emitidos por passageiro transportado pelo ônibus por quilometro percorrido.

Tabela 1 - Eficiência Energética dos Modais

Modal	Quilometro por litro (km/L)	Consumo Especifico (L/100 km)	Intensidade do Uso (km/ano)	Passageiros transportados por veículos	Emissão de CO ₂ (g/L)	Emissão de CO ₂ (g/km)	Emissão de CO ₂ g (pass/km)
Ônibus (diesel)	2,3 ¹	43,5 ¹	76909,1 ³	700 ⁴	2680 ⁶	1165,22	1,66
Automóvel (gasolina e etanol hidratado)	9,4 ²	11,0 ²	16090,9 ³	1,46 ⁵	1817,39	193,23	132,35

Fonte:

1. BRASIL (2011)

2. Adaptado de BRASIL (2011). Média da quilometragem por litro para automóveis e veículos comerciais do ciclo Otto

3. Adaptado de BRASIL (2011). Intensidade de uso: valores médios de veículos de 0 a 10 anos de uso

4. SÃO PAULO (2011)

5. SÃO PAULO (2009)

6. GHG PROTOCOL BRASIL (2011)

7. Adaptado de CETESB (2009). Fator de emissão médio de gasolina e etanol hidratado ponderado pelo consumo médio de combustíveis de acordo com ANP (2010b)

A título de ilustração, realizaremos o cálculo da quantidade de CO₂ que deixaria de ser emitida caso houvesse uma mudança de viagens individuais para coletivo. De acordo com a Pesquisa de Origem e Destino do Metro (METRO, 2008), em 2007, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foram realizadas, por dia, 13.913 mil viagens por modo coletivo e 11.254 mil viagens por modo individual, representando, respectivamente, 55,3% e 44,7% das viagens totais motorizadas. A frota de ônibus necessária para estes deslocamentos gira em torno de 20 mil ônibus (viagens por coletivo/ 700 passageiros), enquanto é de quase 4 milhões de automóveis (viagens por modo individual/ 1,46 passageiros/2⁷). Admitindo que seja possível transferir em torno de 10% das viagens de automóvel para coletivos (redução de 400 mil autos), seria necessário adicionar à frota de coletivos na RMSP por volta de 1.600 ônibus. Para tanto, seriam transferidas em torno de 1.125 viagens do modo individual para o modo coletivo, e a nova distribuição modal passaria a 60% para o modo coletivo e 40% para o modo individual.

Levando em conta a distância anual percorrida pelos veículos e as emissões de cada um dos modais, essa nova divisão modal resulta em uma redução da emissão de cerca de mil Gg de CO₂ por ano. Para se ter uma ideia do que isso representa, a quantidade de CO₂ emitida no município de São Paulo, em 2003, originada da queima de gasolina automotiva e diesel foi de 7,3 mil Gg de CO₂, ou seja, essa redução representa 14% do emitido no município.

Adicionalmente, temos a questão do espaço nas vias e a estrutura demandada para os veículos particulares, em contraste com a estrutura necessária para o transporte coletivo, bem menos dispendiosa, se comparada à quantidade de usuários beneficiados.

Tanto as mudanças modais como a integração dos modais são um caminho poderoso para ganhos em eficiência e performance do sistema de transporte, assim como para a redução do consumo de combustível e conseqüente redução de gases emitidos na atmosfera. Para assegurar esta mudança, é necessária uma visão integrada na gestão do setor de transporte, desenvolvimento urbano, qualidade de ar e estratégias climáticas. Nesse sentido, o papel do planejamento do transporte é

⁷ Dividimos a quantidade de automóveis necessários por dois, pois embora a taxa de ocupação é de 1,46, cada veículo realiza uma viagem de ida e outra de volta.

mais do que solucionar a questão dos intensos congestionamentos presenciados nas metrópoles devido ao seu poder de transformação das cidades.

4.1 Painel brasileiro: mobilidade e emissões do setor de transporte

Os municípios que integram o sistema de informações da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), assim como os de interesse para este estudo, são os com mais de 60 mil habitantes. O quadro brasileiro⁸, em 2009, pode ser esboçado nos seguintes números: representam 64% da população, formada por 121 milhões de habitantes, distribuídos em 438 municípios que possuem 28 milhões de veículos, o que corresponde a 60% da frota de veículos. Abaixo listamos outros dados referentes ao ano de 2009, considerados chaves para a compreensão da mobilidade no país (ANTP, 2009):

- Cerca de 190 milhões de viagens realizadas por dia, distribuídas da seguinte forma: 40,5% das viagens a pé e por bicicleta, seguidas de 29,8% por transporte individual motorizado (autos e motocicletas), 29,3% por transporte coletivo (municipal, metropolitano e trilhos) e 0,34% pelos demais meios de transporte;
- Mobilidade média de 1,59 viagens por dia por habitante, distribuída em: 2,44 viagem/dia nas cidades com mais de um milhão de habitantes e 0,85 viagem/dia nas cidades entre 60 e 100 mil habitantes;
- Participação do transporte coletivo de 20% a 23% do total de viagens, nas cidades entre 60 mil e 1 milhão de habitantes, e 36% nas cidades com mais de 1 milhão de habitante;
- Nas cidades com menos de 100 mil habitantes, 55% das viagens são realizadas a pé ou de bicicleta, enquanto naquelas com mais de 1 milhão somente 34% das viagens são realizadas pelo transporte não motorizado;

⁸ Em 2008 o número de municípios com mais de 60 mil habitantes era 487, porém no relatório (ANTP, 2009) foi utilizado o mesmo número verificado em 2003, igual a 438, para fins de comparação.

- São percorridos em torno de 1,3 bilhões de quilômetros por dia, sendo a maior parte dos trajetos realizada por transporte público, 57,9%, seguido por veículos particulares, 34,5%, e transporte não motorizado, 7,6%;
- Nos municípios de 60 a 100 mil habitantes, a distância percorrida por indivíduo é de 3,0 km, enquanto nos municípios com mais de um milhão de habitantes passa para 21,8 Km;
- O tempo gasto por habitante/dia nos deslocamentos aumenta de 13 minutos nos municípios menores para 63 minutos nos municípios com mais de um milhão de habitantes. Uma vez que se trata do valor médio da população, ou seja, como nem todas as pessoas se deslocam e muitas o fazem algumas vezes por mês, este dado, referente ao deslocamento diário, é subestimado;
- Os valores estimados para o gasto com veículos e infraestrutura viária e metro-ferroviária são, respectivamente, de 932,3 bilhões e 642,7 para o transporte individual e 46,6 bilhões e 171,5 bilhões para o transporte coletivo;
- São consumidos 12,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP), para os deslocamentos: 72% por automóveis, 24% no transporte público e o restante, 3%, por motocicletas;
- Em relação aos poluentes emitidos pelos deslocamentos realizados, 61% são emitidos pelos automóveis, 35% pelos ônibus e 5% pelas motos.

No contexto das emissões de gases de efeito estufa, os dados disponíveis nos inventários nacionais, estaduais e municipais são de difícil comparação, pelo fato de não existir um padrão entre eles. Alguns informam os dados referentes a cada gás de efeito estufa separadamente, outros na forma de CO₂ equivalente. Há ainda a questão dos setores inventariados, que diferem de acordo com a metodologia. Espera-se que com a publicação, pelo Ministério do Meio Ambiente, em 9 de fevereiro de 2011, de um documento contendo a metodologia para a elaboração de inventários regionais de poluentes, a comparações entre eles seja facilitada.

Em nível nacional, as emissões foram contabilizadas para cada gás separadamente, sendo assim, não há dados por setor para o total emitido em termos de CO₂e. Para as emissões do CO₂, o setor de mudança do uso da terra e florestas

representou, em 2005, 77% do total das emissões nacionais de CO₂. Neste setor, são incluídas as estimativas das emissões associadas à diminuição do carbono na biomassa acima ou abaixo do solo pela substituição de um determinado tipo de uso da terra por outro, como, por exemplo, a conversão de uma floresta para agricultura ou pecuária (BRASIL, 2010c). Em seguida, temos o setor de transporte rodoviário responsável por 7,5% das emissões, conforme se observa na Figura 3 (BRASIL, 2010c).

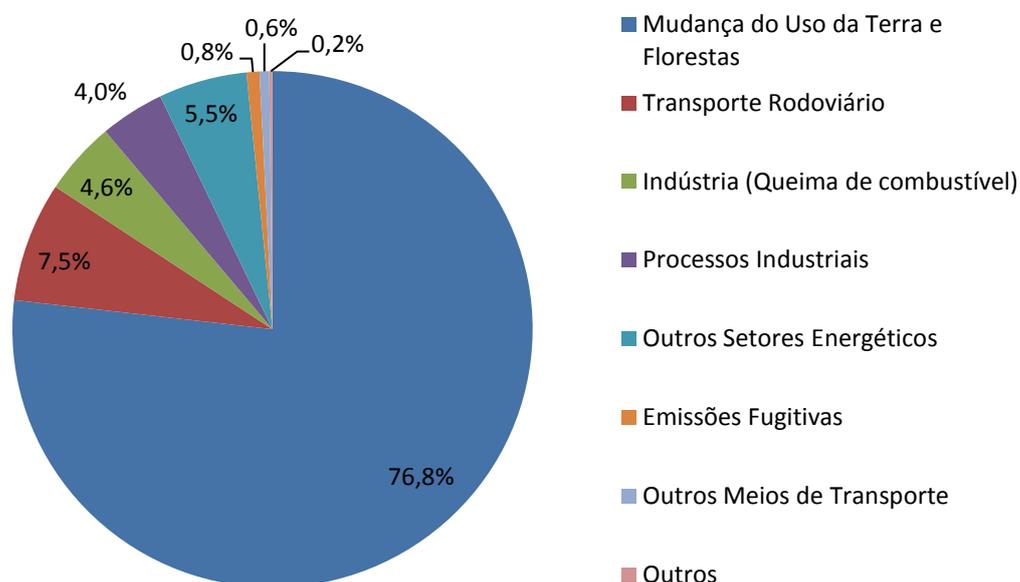


Figura 3 - Emissões nacionais de CO₂, por setor, em 2005
Fonte: BRASIL, 2010c.

No nível municipal, o padrão de emissões é bem diferente, e o setor de transporte prevalece como grande emissor. No caso da cidade de São Paulo, de acordo com o inventário municipal (SÃO PAULO, 2005), o uso de energia representou, em 2003, 76,14% do total das emissões. Estas emissões são aquelas devidas ao consumo de combustíveis fósseis, que se dá tanto direta quanto indiretamente. Neste último caso, as emissões ocorrem devido ao consumo de energia elétrica, que é parcialmente produzida com combustíveis fósseis. O uso direto de combustíveis fósseis foi responsável por 88,78% do total de emissões do Uso de Energia. De acordo com o inventário, o setor de transporte rodoviário foi

responsável por 48,6% das emissões totais do município (Figura 4), em torno de 7.648,84 Gg de CO₂e .

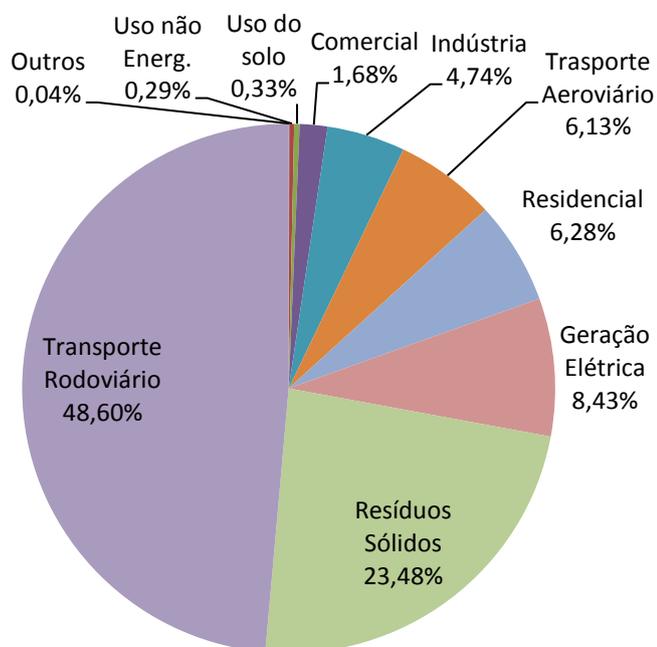


Figura 4 - Emissões do Município de São Paulo de GEE em CO₂e, por fonte, em 2003
Fonte: SÃO PAULO, 2005.

No município do Rio de Janeiro, o setor de transportes originou cerca de 40% das emissões totais de CO₂e, conforme a Figura 5 (PCRJ, 2010). O modal rodoviário contribuiu com 80% destas emissões, como pode ser observado na Figura 6.

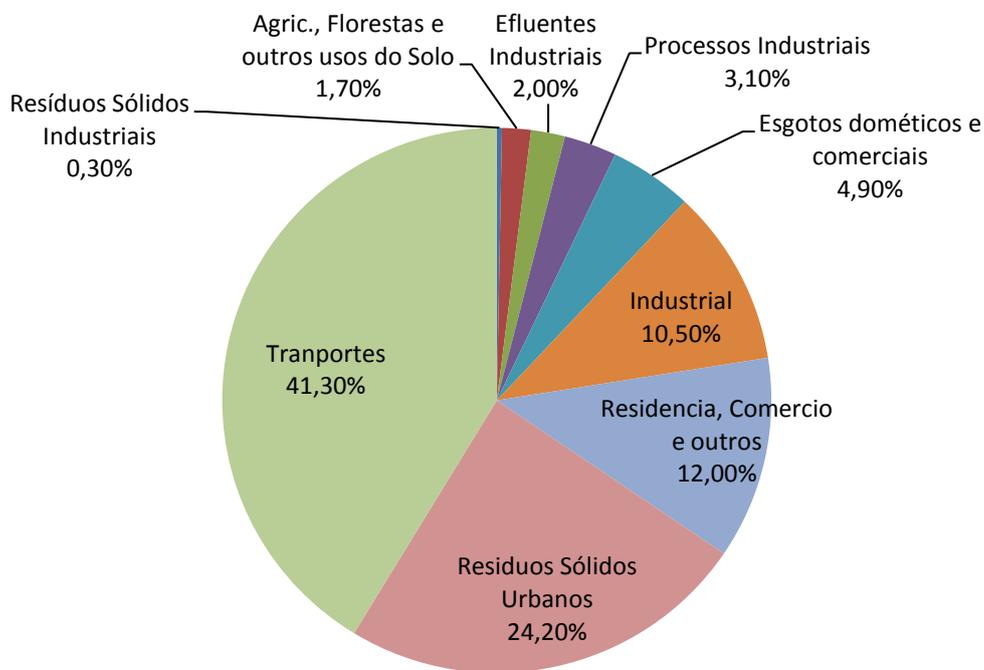


Figura 5 - Emissões do Município do Rio de Janeiro de GEE em CO₂e, por fonte, em 2005
Fonte: PCRJ, 2010.

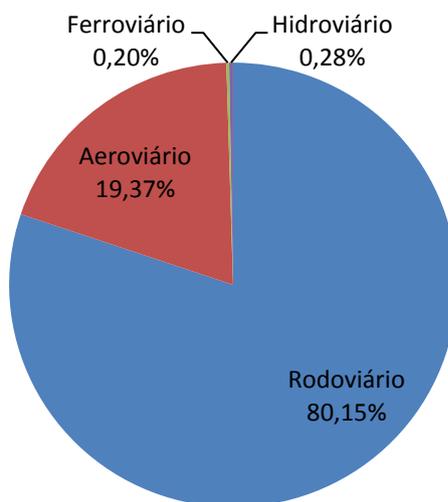


Figura 6 - Participação dos modais no Município do Rio de Janeiro na emissão de CO₂e pelo setor de transporte, em 2005
Fonte: PCRJ, 2010.

Para o município de Belo Horizonte, 82% do total das emissões de CO₂e são devidas ao setor de uso de energia em 2007. O setor de transporte originou 80,46% destas, conforme Figura 7. Portanto, foi responsável por 66% do total de emissões de CO₂e⁹ do município (PBH, 2009).

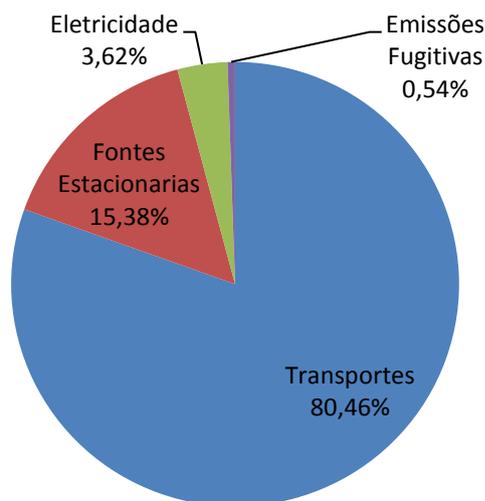


Figura 7 - Emissões de GEE do Uso de Energia no Município de Belo Horizonte em CO₂e, por setor, em 2007

Fonte: PBH, 2009.

Embora haja dificuldade em comparar os inventários municipais, é possível concluir que, ao menos nos grandes centros urbanos, o principal responsável pelas emissões de GEE é o setor de transporte. Tendo isso em vista e a tendência de novas legislações municipais e estaduais com metas de redução de emissões, este setor é um forte candidato a ter de se enquadrar em novos padrões.

Além disso, a redução de poluentes emitidos, decorrente da melhora do tráfego ocasionada pela redução advinda do setor de transportes implica benefícios, também, na área da saúde, uma vez que a redução de poluentes locais diminui a incidência de problemas respiratórios, além de gerar outras externalidades positivas para a sociedade.

⁹Foram contabilizadas emissões referentes aos gases CO₂, CH₄e N₂O. As emissões foram contabilizadas em toneladas do GEE específico e convertidas em toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e), de acordo com o potencial de aquecimento global correspondente de cada gás.

5. O IMPACTO DA DISTRIBUIÇÃO MODAL NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

A avaliação de políticas públicas é essencial para a tomada de decisão dos gestores públicos, e a recente preocupação com o meio ambiente torna a economia ambiental um campo promissor para esse tipo de avaliação. A aplicação bem sucedida das técnicas disponíveis proporciona o aperfeiçoamento do conhecimento do mundo em que vivemos ao possibilitar a identificação da política maximizadora do bem estar social (GREENSTONE e GAYER, 2007).

Neste estudo propomos avaliar o impacto da distribuição modal no consumo de combustíveis nos municípios pertencentes às metrópoles brasileiras. Utilizaremos como *proxy* para as viagens a frota de veículos do município. Mais uma vez, reafirmamos que o indivíduo demanda por deslocamento e a melhora da oferta de coletivos é um dos fatores que incentivam o uso de outros modais em detrimento dos veículos individuais.

5.1 Apresentação dos dados

Os dados referentes às vendas de etanol, gasolina C e óleo diesel pelas distribuidoras aos municípios foram obtidos junto à Superintendência de Planejamento e Pesquisa (SPP) da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Bicomcombustível (ANP, 2010b). A variável dependente do modelo, consumo de gasolina equivalente, foi gerada pela soma dos combustíveis vendidos aos municípios ponderados pela eficiência energética que, por sua vez, é baseada no rendimento médio do tipo de combustível, expresso como a distância percorrida pelo veículo com um litro de combustível (km/l) para o período entre 2001 a 2009. Os valores utilizados para o cálculo da eficiência foram os mesmos utilizados por SOARES *et al.* (2009): 7,2 Km/L para o etanol, 9,5 Km/L para a gasolina C e 13,5 Km/L para o diesel.

Para as variáveis independentes de interesse, utilizamos as frotas de veículos registradas nos municípios, estruturadas a partir do Registro Nacional de Veículos

Automotores (RENAVAM), disponibilizadas pelo Departamento Nacional de Trânsito (BRASIL, 2010a) e extraídas em setembro de 2010, recodificadas com as seguintes classificações:

- Variável auto é a quantidade de veículos automotores destinados ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor;
- Variável coletivo é a somatória da quantidade de ônibus (veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para mais de 20 passageiros) e micro-ônibus (veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para até 20 passageiros);
- Variável caminhão é a quantidade de veículos automotores destinados ao transporte de carga com carroçaria, e peso bruto total superior a 3.500 Kg.

Ressaltamos que, por incluir veículos que já deixaram de circular e para os quais não foi cancelado o seu registro, provavelmente a frota dos municípios está superestimada, porém, avaliamos que é possível trabalhar com estas informações, dado que o viés é para todos os municípios.

As unidades de análise da pesquisa são os municípios pertencentes às áreas de concentração de população (ACP) e de suas subáreas (Sub-ACP's), definidas de acordo com Castello Branco (2003) como "grandes manchas urbanas de ocupação contínua, caracterizadas pelo tamanho e densidade da população, pelo grau de urbanização e pela coesão interna da área, dada pelos deslocamentos da população para trabalho ou estudo". Esta classificação também é utilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Atualmente existem 41 ACP's¹⁰ constituídas por 330 municípios brasileiros. No presente trabalho quando nos referirmos aos centros urbanos ou metrópoles estaremos nos reportando a estas áreas.

¹⁰ACP's: Manaus, Belém, Macapá, São Luís, Teresina, Fortaleza, Juazeiro do Norte–Crato–Barbalha, Natal, João Pessoa, Campina Grande, Recife, Petrolina–Juazeiro, Maceió, Aracaju, Salvador, Feira de Santana, Ilhéus–Itabuna, Belo Horizonte, Ipatinga–Coronel Fabriciano–Timóteo, Juiz de Fora, Uberlândia, Vitória, Rio de Janeiro, Campos dos Goytacazes, Volta Redonda–Barra Mansa, São Paulo, Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Curitiba, Londrina, Maringá, Florianópolis, Joinville, Porto Alegre, Caxias do Sul, Pelotas–Rio Grande, Campo Grande, Cuiabá, Goiânia e Brasília. A ACP de São Paulo está dividida, tendo como núcleo principal a cidade de São Paulo, sendo Campinas, Jundiaí, Santos, São José dos Campos e Sorocaba os outros núcleos. Na ACP de Porto Alegre,

Em 21 municípios¹¹, dos 330 municípios que compreendem as ACP's, os dados estavam incompletos para alguns dos anos da análise, seja na quantidade da frota, seja no consumo de combustível. Optamos por tirá-los da pesquisa e manter um modelo equilibrado (dados completos para todos os anos).

Abaixo estão listadas as demais variáveis de controle utilizadas:

- Massa salarial do município: É o resultado do produto entre a remuneração média nominal dos empregados¹² e o número de empregos. Os dados foram obtidos junto à base RAIS disponibilizada pelo Ministério do Trabalho e Emprego (BRASIL, 2010d). A teoria aponta que há correlação positiva entre a renda familiar e o número de viagens realizadas pelo indivíduos (METRO, 2008);
- Frequência de estabelecimentos no município: Número de estabelecimentos¹³ em determinado ano. Os dados foram obtidos junto à base RAIS disponibilizada pelo MTE (BRASIL, 2010d). Também é esperado que em municípios em que haja maior número de estabelecimentos haja maior quantidade de viagens;
- Estoque de emprego no município: Número de trabalhadores com carteira assinada (Celetistas) em 31 de dezembro de determinado ano. Os dados foram coletados junto à base RAIS disponibilizada pelo MTE (BRASIL, 2010d);
- Tamanho da população, obtida junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

identifica-se a subdivisão embrionária, tendo Porto Alegre como núcleo principal e Novo Hamburgo–São Leopoldo como subnúcleo (CASTELLO BRANCO, 2003).

¹¹Ananindeua, Barcarena, Benevides, Marituba (ACP de Belém); Sarzedo (ACP de Belo Horizonte); Planaltina (ACP de Brasília); Campo Magro, Itaperuçu (ACP de Curitiba); Ipaba (ACP de Ipatinga - Coronel Fabriciano - Ti); Chácara (ACP de Juiz de Fora); Coqueiro Seco, Rio Largo, Santa Luzia do Norte, Satuba (ACP de Maceió); Ilha de Itamaracá (ACP de Recife); Paço do Lumiar, Raposa (ACP de São Luís); Demerval Lobão (ACP de Teresina); Volta Redonda (ACP de Volta Redonda - Barra Mansa); Japeri (ACP do Rio de Janeiro); Lindolfo Collor (Sub-ACP de Novo Hamburgo/São Leopoldo (RS)).

¹²A remuneração média mensal nominal é definida como a média aritmética das remunerações médias mensais individuais nominais de todos os vínculos (soma das remunerações mensais nominais de janeiro a dezembro de todos os vínculos dividido pela soma das frequências no mesmo período). Estas informações excluem o 13º salário.

¹³Somente são considerados os estabelecimentos que apresentaram algum empregado em 31/12 ou que tiveram alguma admissão ou desligamento ao longo do ano. Desta forma, não é considerada a chamada RAIS Negativa, composta dos estabelecimentos que não tiveram vínculos ao longo do ano.

5.2 Modelo Econométrico

O modelo foi estimado para dados em painel (ou longitudinais), que são caracterizados por possuírem observações em duas dimensões em geral, tempo e espaço. O período analisado compreende os anos de 2001 a 2009 e a unidade de análise é composta pelos 309 municípios brasileiros pertencentes às Áreas de Concentração de População. A vantagem de utilizar dados em painel, em relação aos dados em *cross-section* ou em séries temporais, é a melhoria na inferência dos parâmetros estudados, por propiciar mais graus de liberdades e maior variabilidade na amostra analisada.

Para a especificação do modelo que será utilizado neste estudo empregamos os testes de Hausman e de Heterocedasticidade. O teste Hausman é um teste do tipo Wald, cuja hipótese nula é que as diferenças nos coeficientes não são sistemáticas, ou seja, os coeficientes do modelo e os efeitos aleatórios são ortogonais. A rejeição da hipótese nula indica que a melhor escolha é pelo modelo de efeitos fixos, tendo em vista que esta condição é essencial no modelo de efeitos aleatórios (WOOLDRIDGE, 2006). Conforme apresentamos no Apêndice B, o teste rejeita a hipótese nula, ou seja, o estimador de efeito fixo mostrou-se mais adequado para a medição da influência da frota de coletivos no consumo de combustíveis dos centros urbanos. Portanto, os modelos apresentados serão baseados nos estimadores de efeito fixo.

O modelo de efeito fixo explora a relação entre as variáveis independentes (preditoras) e a variável dependente dentro das unidades de análise (neste caso, os municípios). Este estimador é conhecido como estimador *within*, por usar a variação do tempo dentro de cada unidade observacional, e é empregado para controlar as variáveis omitidas que diferem entre as unidades, mas são constantes ao longo do tempo. É equivalente a gerar variáveis *dummy* para cada um dos municípios (diferentes interceptos) e incluí-las em uma regressão linear padrão para controlar esses efeitos fixos.

O principal objetivo da estimação dos efeitos fixos é controlar as características que são específicas dos municípios, mas que não variam durante os anos, além de elementos que são capturados através de outras variáveis

independentes. O efeito fixo permite calcular o efeito somente para a variação da variável em questão ao longo dos anos, independente de características idiossincráticas da unidade de análise. O que importa neste caso é a variação, por exemplo, da frota de veículos ao longo dos anos para os municípios analisados.

São duas as hipóteses a serem testadas com intuito de evidenciar o impacto da distribuição de viagens (divisão modal) no consumo de combustíveis e nas emissões dos municípios pertencentes aos centros urbanos.

H₁: A frota de coletivos (ônibus e micro-ônibus), controlada pela população, impacta negativamente no consumo de combustíveis dos municípios.

H₂: A frota de automóveis, controlada pela população, impacta positivamente no consumo de combustíveis dos municípios.

Adicionalmente, controlamos pelas variáveis massa salarial e remuneração média do município para verificar se encontramos os resultados esperados pela teoria econômica.

O modelo principal é descrito na Equação 1:

$$\text{Combust}_{it} = \alpha + B_A \text{Auto}_{it} + B_C \text{Coletivo}_{it} + X_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

Onde,

- Combust_{it} representa o consumo de combustível para cada ano da amostra;
- Auto_{it} a frota de automóveis para cada ano da amostra;
- Coletivo_{it} a frota de coletivos para cada ano da amostra;
- X_{it} demais variáveis de controle para cada ano da amostra; e
- ε_{it} o termo de erro aleatório para cada ano da amostra.

5.3 Análise dos dados

A Figura 8 sintetiza a principal conclusão do estudo: quanto maior a proporção da frota de coletivos na frota total de veículos dos centros urbanos, menor será o consumo de combustíveis *per capita* destas unidades. O eixo X representa a proporção de coletivos na frota de veículos, enquanto que o eixo Y representa o consumo de combustível *per capita* anual (gasolina equivalente). A unidade de análise são as 41 ACP's do país para os anos de 2001 a 2009. Ou seja, no gráfico estão indicados nove pontos para cada uma das ACP's, o que resulta no total de 369 pontos.

A linha de tendência logarítmica¹⁴ descendente assinala a redução do consumo de combustível quanto há o aumento da proporção de coletivos na frota de veículos do município.

¹⁴ A equação da linha de tendência é $y = -378,2\ln(x) + 576,79$.

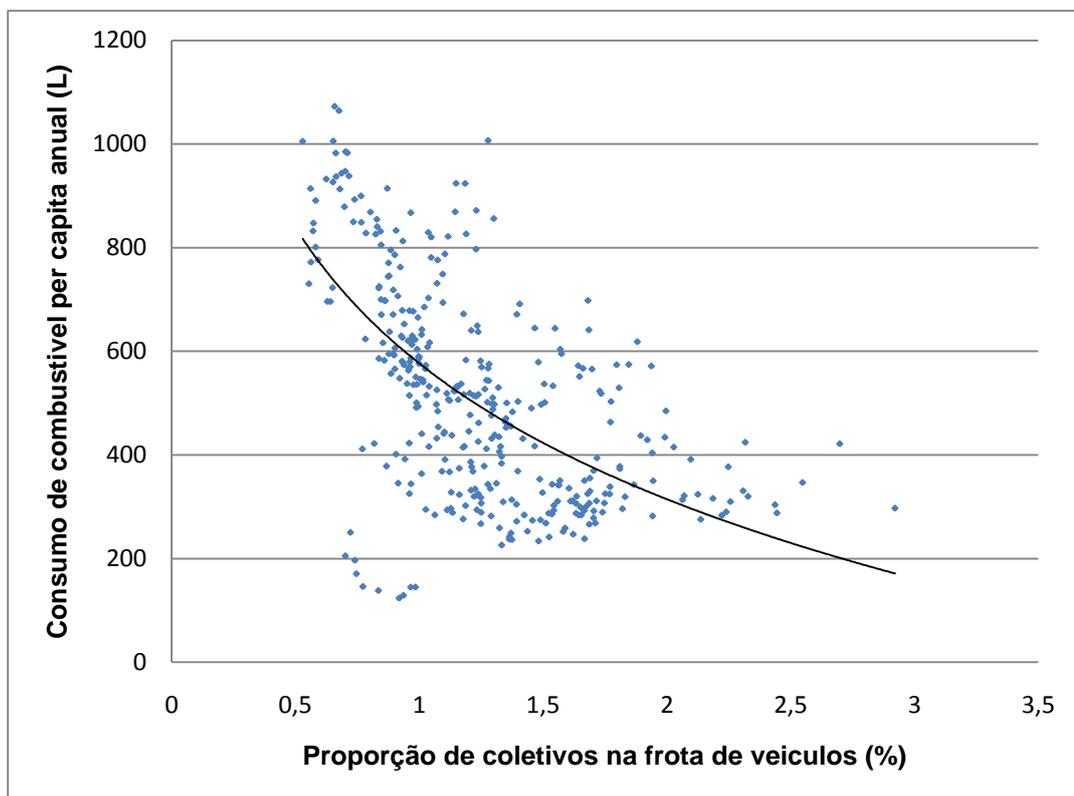


Figura 8 – Consumo de combustível *per capita* pela proporção de coletivos na frota de veículos (%)
Fonte: Adaptado de ANP (2010b) e BRASIL (2010a)

A equação (1) foi estimada por efeitos fixos e correção por erros robustos. A Tabela 2 apresenta os coeficientes estimados para quatro modelos, com as variáveis auto, coletivo e caminhão em nível e as variáveis de controle em forma logarítmica. Posteriormente, três dos modelos foram repetidos, porém com todas as variáveis em forma logarítmica.

No Apêndice A encontram-se as demais regressões testadas e no Apêndice B os testes de robustez do modelo (Hausman e de Heterocedasticidade).

Tabela 2 – Distribuição Modal e Consumo de Combustível nos municípios (2001 a 2009) - Modelo em Painel com Efeito Fixo

Var. Dependente	Consumo de combustível total nos municípios			
Var. Independente	(1)	(2)	(3)	(4)
Auto	1443.89*	1004.38*	1447.30*	1444.92*
	(269.63)	(307.90)	(271.26)	(270.13)
Coletivo	-33769.13***	-33667.86***	-34864.59***	-34127.19***
	(19922.11)	(20384.17)	(20073)	(20076.65)
Caminhão		23950.07*		
		(7891.554)		
log_massa salarial			5313193**	
			(2699712)	
log_remun_media				3918976
				(4928337)
log_pop	1.84e+07	-6010369		7581399
	(1.78e+07)	(1.71e+07)		(1.97e+07)
Constante	-1.35e+08	1.12e+08	-1.01e+07	-3.70e+07
	(1.97e+08)	(1.88e+08)	(3.46e+07)	(2.09e+08)

Fonte: Adaptado de ANP (2010b) e BRASIL (2010a).

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses

O nível de significância das variáveis está indicado por: * 1%; **5%, ***10%.

As colunas (1) e (2) da Tabela 2 apresentam os resultados para as variáveis frotas de automóveis e coletivos, sem e com a inclusão da variável frota de caminhão, respectivamente. As colunas (3) e (4) apresentam o resultado com a inclusão das variáveis, em forma logarítmica, massa salarial e remuneração média do município, respectivamente.

Os resultados confirmam o impacto positivo da frota de automóveis no consumo de combustíveis. Em todas as regressões os coeficientes da variável auto foram positivos e bastante significativos. Da mesma forma, apontam para a correlação negativa da variável coletivo com o consumo de combustível, representada pelo coeficiente negativo e estatisticamente significativa para os modelos testados. Esses resultados corroboram com as hipóteses apresentadas acima.

A coluna (2) sugere que a frota de caminhões também impacta positivamente no consumo de combustível e a variável é significativa estatisticamente. Em relação ao coeficiente da massa salarial, coluna (3), o resultado apontou significância e o impacto positivo no consumo de combustível, isto é, quanto maior a massa salarial do município maior o consumo. Este resultado era esperado, pois quanto maior a renda dos indivíduos, maiores serão os deslocamentos e conseqüentemente maior será o consumo de combustíveis. Já em relação à remuneração média¹⁵, coluna (4), embora a variável apresente sinal positivo, não apresentou significância estatística.

A seguir, na Tabela 3, apresentamos o resumo das estatísticas com as variáveis em forma logarítmica, como uma forma de evitar efeitos de valores extremos e dar maior robustez ao modelo.

¹⁵ Massa salarial por população do município.

Tabela 3 - Distribuição Modal e Consumo de Combustível nos municípios (2001 a 2009) - Modelo em Painel com Efeito Fixo em forma logarítmica

Var. Dependente	Logaritmo do consumo de combustíveis		
	Var. Independente	(1)	(2)
log_auto	0.4212*	0.2376*	0.3648*
	(0.04362)	(0.0540)	(0.0569)
log_coletivo	-0.0193	-0.0284	-0.0255
	(0.0383)	(0.03825)	(0.0388)
log_massa salarial		0.1519*	
		(0.0280)	
log_remun_med			0.0848
			(0.0520)
log_populacao	0.1073		0.0592
	(0.1276)		(0.1308)
constante	12.3919	12.8950	12.9297
	(1.2473)	(0.2120)	(1.3017)

Fonte: Adaptado de ANP (2010b) e BRASIL (2010a).

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses

O nível de significância das variáveis esta indicado por: * 1%; **5%, ***10%.

A coluna (1) da Tabela 3 apresenta os resultados para as variáveis frotas de automóveis e coletivos. As colunas (2) e (3) apresentam os resultados com a inclusão das variáveis de controle massa salarial e remuneração média do município, respectivamente. Todas as variáveis em forma logarítmica.

Similarmente, os resultados confirmam a correlação positiva da frota de automóveis no consumo de combustíveis, representado pelo coeficiente positivo e estatisticamente significativo. Já para a variável frota de coletivos, o coeficiente deixa de ser estatisticamente significativo, porém o sinal permanece negativo.

Como se trata de um modelo log-log, em que os coeficientes são elasticidades, a interpretação da variável log_auto, no modelo 1, é que, para cada diminuição de 1% na frota de automóveis, o consumo de combustíveis decresce em 0,42%. Essa variável foi bastante significativa, uma vez que os três modelos registraram valor-p abaixo de 1%. O valor-p sintetiza o teste de hipótese; ele é

definido como a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema quanto o resultado observado no modelo, se a hipótese for confirmada. Nestes modelos, os resultados permitem rejeitar a hipótese nula, e portanto o coeficiente \log_auto não é igual à zero.

Ressaltamos que, embora haja indícios de que as variáveis possuam alta multicolinearidade entre elas, como é apresentado no Apêndice C, os resultados devem ser considerados como estimativas de referência, dado que é o melhor que se pode obter para estimar diferentes distribuições modais nos municípios.

Nas colunas (2) e (3), os efeitos positivo e negativo das frotas de automóveis e coletivos, respectivamente, se mantêm. As variáveis massa salarial e remuneração média, similarmente ao resultado da Tabela 2, têm os sinais esperados (positivos) e o coeficiente da primeira é significativo, enquanto o da segunda não é significativo para estes modelos.

A título de ilustração, passamos ao cálculo de redução do consumo de combustíveis e das emissões com os seguintes dados:

- Coeficiente da variável auto (modelo 1): 0,4212;
- Taxas de ocupação do automóvel (SÃO PAULO, 2009): 1,46 passageiros;
- Número médio de passageiros transportados por ônibus por dia: 700 passageiros (SÃO PAULO, 2011);
- Número de viagens pelo modo coletivo por dia (METRO, 2008): 13.913 mil viagens;
- Número de viagens pelo modo individual por dia (METRO, 2008): 11.254 mil viagens;
- Frota de automóveis necessários para realizar as viagens diárias (aproximado): 3.855 mil carros;
- Frota de coletivos necessários para realizar as viagens diárias (aproximado): 20 mil veículos;
- Consumo de gasolina e álcool anual: 6,118 bilhões de litros¹⁶;

¹⁶ Consumo de gasolina e álcool da Sub-ACP de São Paulo (SP1) em 2009 (Adaptado de ANP, 2010b).

Para que haja uma mudança de 10% do número de viagens individuais (redução em torno de 385 mil carros nas ruas) para as viagens por modo coletivo seria necessário aumentar a frota de coletivos em torno de 8%. Isso representaria uma redução no consumo de 257,7 milhões de litros de gasolina equivalente, que deixaria de emitir para atmosfera por volta de 426 Gg de CO₂. O que para o município de São Paulo, por exemplo, representa quase 6% do emitido, em 2003, pela queima de gasolina automotiva e diesel.

Embora as quantidades de CO₂ que deixam de ser emitidas nos dois cálculos ilustrativos apresentados neste trabalho variem, esses resultados demonstram a importância do setor de transporte para a redução no consumo de combustível. Adicionalmente os modelos apresentados apontam na direção da aceitação das hipóteses levantadas: tanto a frota de automóveis tem impacto positivo no consumo de combustível como a frota de coletivos impacta negativamente devido à mudança modal causada pela mudança de viagens do modo individual para o modo coletivo.

A Tabela 4 classifica as Áreas de Concentração de População em relação ao consumo de combustíveis¹⁷ per capita, no período de 2001 a 2009, enquanto que a Tabela 5 pelo consumo total de combustíveis. A maior consumidora, per capita, é a ACP de São José do Rio Preto, seguida da ACP de Joinville e de Ribeirão Preto. A Sub-ACP de São Paulo (SP1) encontra-se 24^a posição, pelo fato de ser um município bastante populoso, embora em termos absolutos seja a ACP mais consumidora de combustíveis, conforme se verifica na Tabela 5. No apêndice D apresentamos mais detalhadamente as emissões geradas pelo consumo de combustível nas ACP's.

¹⁷ Combustíveis (Gasolina C/Etanol/Diesel) em termos de gasolina equivalente.

Tabela 4 – Classificação das ACP's conforme o consumo de combustíveis *per capita* (2001 a 2009)

Classificação	ACP's	Média per capita (L)
1	ACP de São José do Rio Preto	980,06
2	ACP de Joinville	904,57
3	ACP de Ribeirão Preto	869,19
4	ACP de Cuiabá	866,57
5	Sub-ACP de Campinas (SP2)	816,63
6	ACP de Maringá	763,64
7	ACP de Curitiba	714,79
8	Sub-ACP de Jundiaí (SP6)	703,19
9	ACP de Volta Redonda - Barra Mansa	635,97
10	ACP de Macapá	632,77
11	ACP de Londrina	621,80
12	Sub-ACP de Sorocaba (SP5)	621,40
13	ACP de Florianópolis	605,80
14	Sub-ACP de São José dos Campos (SP4)	576,90
15	ACP de Caxias do Sul	569,31
16	ACP de Pelotas - Rio Grande	564,15
17	ACP de Vitória	554,95
18	ACP de Goiânia	548,15
19	ACP de Belo Horizonte	525,33
20	ACP de Brasília	509,55
21	Sub-ACP de Porto Alegre (RS1)	498,09
22	ACP de Juiz de Fora	477,18
23	Sub-ACP de Santos (SP3)	475,14
24	Sub-ACP de São Paulo (SP1)	449,33
25	ACP de São Luís	426,16
26	ACP de Petrolina - Juazeiro	418,59
27	Sub-ACP de N. Hamburgo/S. Leopoldo (RS)	394,68
28	ACP de Aracaju	382,17
29	ACP de Ipatinga - Cel Fabriciano - Ti	344,88
30	ACP de Salvador	344,70
31	ACP de Natal	341,23
32	ACP de Teresina	340,41
33	ACP de Campina Grande	334,08
34	ACP de João Pessoa	311,96
35	ACP do Rio de Janeiro	306,69
36	ACP de Belém	299,75
37	ACP de Ilhéus - Itabuna	288,42
38	ACP de Maceió	271,76
39	ACP de Recife	259,36
40	ACP de Fortaleza	256,74
41	ACP de Juazeiro do Norte - Crato - Barbal	161,15
	Média geral	511,40

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5 - Classificação das ACP's conforme média anual de consumo de combustíveis (2001 a 2009)

Classificação	ACP's	Média absoluta (L)
1	Sub-ACP de São Paulo (SP1)	8.753.347.771,54
2	ACP do Rio de Janeiro	3.518.775.221,97
3	ACP de Belo Horizonte	2.599.331.213,57
4	ACP de Curitiba	2.069.234.216,51
5	Sub-ACP de Campinas (SP2)	1.970.636.746,49
6	ACP de Brasília	1.565.852.768,10
7	Sub-ACP de Porto Alegre (RS1)	1.461.396.213,01
8	ACP de Salvador	1.189.213.272,78
9	ACP de Goiânia	1.012.683.785,73
10	ACP de Recife	929.805.929,34
11	ACP de Vitória	875.916.290,24
12	ACP de Fortaleza	805.834.848,03
13	Sub-ACP de S. J. Campos (SP4)	758.836.936,07
14	Sub-ACP de Santos (SP3)	734.316.470,79
15	Sub-ACP de Sorocaba (SP5)	671.595.635,86
	Média geral	1.927.785.154,67

Fonte: Elaboração própria

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora as mudanças climáticas sejam um fenômeno global, parte da solução está nas mãos dos governos locais. Os gestores das metrópoles têm papel fundamental na implementação de políticas públicas com vistas à economia de baixo carbono. Neste contexto, as políticas de transporte público e uso do solo, devido à transversalidade com os demais setores, devem ser priorizadas.

O aumento da proporção de coletivos nas frotas de veículos nos centros urbanos reduz o consumo de combustíveis e as emissões de gases de efeito estufa. A implantação de políticas públicas que visem a incentivar uma nova distribuição modal nos municípios é uma das ações prioritárias para a redução dessas emissões, além de gerar outros benefícios para a sociedade, como a diminuição no tempo gasto no trânsito e nas doenças causadas pela poluição.

Os modelos econométricos apresentados neste trabalho confirmam as duas hipóteses levantadas: a frota de automóveis, controlada pela população, aumenta o consumo de combustíveis enquanto a frota de coletivos reduz o consumo devido à distribuição diversa no padrão de viagens dos municípios.

Os dados de consumo *per capita* das ACP's demonstraram que existe a necessidade de estudos mais detalhados devido às peculiaridades de cada um dos 309 municípios pertencentes a estes centros urbanos. Algumas ACP's, como, por exemplo, a ACP de Curitiba, são grandes emissoras *per capita* de CO₂, contrariando o que se esperava.

Nesse sentido, é importante a disponibilização e a integração dos dados para pesquisas. Dada a grande dificuldade de acesso e coleta de informações, algumas estimativas usadas ficam aquém do desejado. Porém, ressaltamos a importância de estudos como estes, pois trazem o foco para o setor de transporte, um setor que carece de atenção nos centros urbanos.

Ressaltamos que não estamos sugerindo que somente aumentar o número de coletivos nas ruas reduzirá o uso do automóvel privado, haja vista experiências anteriores, por exemplo, implementadas na cidade de São Paulo. A mudança na distribuição do padrão das viagens depende de políticas que incentivem a mudança modal, e a melhora na oferta de transporte público coletivo caminha nesse sentido.

Aos governos, mais do que planos de intenções, são necessários planos de ações com o intuito de determinar as metas e as responsabilidades de cada setor para a redução das emissões. Mirar os esforços no setor de transporte, ao menos nos centros urbanos, parece ser uma boa opção, haja vista a repercussão para a sociedade, em termos econômicos, sociais e ambientais, e a dimensão do setor no total de emissões das metrópoles.

7. BIBLIOGRAFIA

III CONFERENCIA REGIONAL SOBRE MUDANÇAS GLOBAIS: AMERICA DO SUL, 2007, São Paulo. *Mudança Climática: Rumo a um no acordo mundial*. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo, 2008. 240 p. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/iea/textos/relatorio3confregmudancasglobaisal.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2010.

AGENCIA NACIONAL DE PETROLEO, GAS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). *Danos Estatísticos*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2010a.

_____. SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA (SPP). Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <mariana.ayroza@gmail.br> em out. 2010b.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PUBLICOS (ANTP). *Relatório geral de mobilidade urbana*, 2009. Disponível em: <<http://portal1.anp.net/site/simob/Lists/rltgrl09/rltgrl09menu.aspx>>. Acesso em: 30 ago. 2010.

ÁLVARES JR, O. M.; LINKE, R. R. A. *Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil*. São Paulo: CETESB, 2001. 12 p. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/PDF/inventario_efeitoestufa.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2010.

ARORA, A. Socio-Economic Impact Assessment (SEIA) Methodology for Urban Transport Projects. Presentation at Santiago, Chile, 2009. 74 p. Disponível em: http://www.ciudadviva.cl/sitio/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=637&Itemid=69. Acesso em: 15 jul. 2010.

BOWEN, A. et al. *An outline of the case for a 'green' stimulus*. Policy Brief. Londres, UK: The Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, 2009. 11p.

BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). *Estatísticas*. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso: em 01 set. 2010a.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2010: Ano base 2009. Rio de Janeiro: EPE, 2010b. 276 p. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 03 out 2010.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). *Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Brasília: MCT, 2004. 276 p. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0205/205854.pdf. Acesso em: 5 out. 2010.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). *Primeiro Inventário Brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: Emissões de GEE por fontes móveis, no setor energético – Relatório de Referência*. Brasília: MCT, 2006. 95 p.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). *Segunda Comunicação Nacional: Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de Gases de Efeito Estufa – Parte 2*. Brasília: MCT, 2010c. 154 p.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Primeiro inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários – Relatório Final*. Brasília: MMA, 2011. 114 p.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Programa de Disseminação de Estatísticas do Trabalho. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/pdet/index.asp>> Acesso em: ago. 2010d.

_____. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana. Ministério das Cidades. *Manual de BRT – Bus Rapid Transit: guia de planejamento*. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/transporte-e-mobilidade/biblioteca/manual-de-brt-2013-bus-rapid-transit-2013-guia-de-planejamento/>> Acesso em: 10 abr. 2010.

CASTELLO BRANCO, M. L. G. *Espaços Urbanos: uma proposta para o Brasil*. 2003, 229f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1 CD-ROM.

CENTRO DE GESTAO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). *Manual de capacitação: Mudanças do clima e projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo*. Brasília: CGEE, 2008. 278 p. Disponível em: <<http://www.cgEE.org.br>>. Acesso em: 5 out. 2008.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *1º Relatório de referência do Estado de São Paulo de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa*, período de 1990 – 2008: Abordagem de referência “top down” (Versão para consulta pública – Out. 2010). São Paulo: CETESB, 2010. 97 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/geesp/consulta.asp>>. Acesso em: 09 jan. 2011.

_____. Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo – 2008. São Paulo: CETESB, 2009. 354 p.

COMPANHIA METROPOLITANA DE SÃO PAULO (METRÔ). *Síntese das informações Pesquisa Domiciliar*, 2008. Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br/empresa/pesquisas/origem/teorigem.shtml>. Acesso em: 10 fev. 2010.

CONEJERO, M.A.; NEVES, M.F. *Marketing de créditos de carbono: Um estudo multi-casos*. Salvador: ENANPAD, 2006. 17 p.

CROPPER, M. L.; OATES, W. E. *Environmental Economics: A Survey*. Journal of Economic Literature [S.l.], v. 30, n. 2, p. 675-740, 1992.

DOMENCICH, T; MCFADDEN, D. *Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis*. North-Holland, New York, 1975.

FUNDERBURG, R. G. et al. *New highways and land use change: Results from a quasi-experimental research design*. Transportation Research Part A: Policy and Practice [S.l.], v. 44, n. 2, p. 76-98, 2010.

GHG PROTOCOL BRASIL. Programa Brasileiro GHG Protocol. Disponível em: <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/index.php?r=site/CapaSecao&id=1>. Acesso em: 03 fev. 2011.

GREENSTONE, M.; GAYER, T. *Quasi-Experimental and Experimental Approaches to Environmental Economics*. 2007. RFF Discussion Paper No. 07-22. Disponível em : <<http://ssrn.com/abstract=1001330>>. Acesso em: 13 jun. 2010.

GRUTTER CONSULTING. BRT Bogotá, Colombia: TransMilenio Phase II-IV. UNFCC: 2006. 110 p. Disponível em: < <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1159192623.07/view>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

HARDIN, G. *The Tragedy of the Commons*. Science, 162: p.1243-1248, 1968.

HAUGHWOUT, A; BOARNET, M. *Do Highways Matter? Evidence and Policy Implications of Highway Infrastructure on Metropolitan Development*. Brookings Institution Paper, 2000. 37 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). *Servidor de arquivos*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/>. Acesso em: ago. 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – The Reference Manual – Vol. 3 – Energy*. Reino Unido: IPCC, UNEP for OECD e IEA, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

_____. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol. 2 –Energy. Japao: IPCC, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: 15. Dez. 2010.

_____. *Further work on scenarios: Report from the IPCC Expert meeting towards new scenarios* Holanda: IPCC, 2007a. 169 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/meetings/session28/doc8.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2008.

_____. *Climate Change 2007: Synthesis Report – Summary for Policymakers*. Espanha: IPCC, 2007b. 22 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf>. Acesso em: 25 set. 2008.

JAFFE, J. et al. *Linking Tradable Permit Systems: A Key Element of Emerging International Climate Policy Architecture*. Ecology Law Quarterly [S.I.], v. 36, n. 4, 2009, p. 789-808.

LE QUÉRÉ et al. *Trends in the sources and sinks of carbon dioxide*. Nature Geoscience, doi: 10.1038/ngeo689. 2009. Disponível em: <<http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>>. Acesso em: 15 maio 2010.

LITMAN, T. *Land use Impacts on transport: How land use factors travel behavior*. Victoria Transport Policy Institute. 2010. 63 p.

MACÊDO, R. F. *Inventário de emissões de dióxido de carbono geradas por fontes móveis no estado de Rio Grande do Norte: período de jan. 2003 a jun. de 2004*. Natal-RN: Revista de divulgação científica e tecnológica de Cefetrn – HOLOS, Vol. 2, 2004. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/35>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

MALACZYNSKI, J. D. e DUANE, T. *Reducing Greenhouse Gas Emissions from Vehicle Miles Traveled: Integrating the Califórnia Environmental Quality Act (CEQA) with the Califórnia Global Warming Solutions Act*. Ecology Law Quarterly, Vol. 36, No. 1, 2009; Vermont Law School Research Paper No. 09-27. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=1435403>> Acesso em: 13 jul. 2010.

MCKIBBIN, W. J.; WILCOXEN, P. J. *The Role of Economics in Climate Change Policy*. The Journal of Economic Perspectives [S.I.], v. 16, n. 2, 2002, p. 107-129.

MIN, S.-K. *et al. Human contribution to more-intense precipitation extremes*. Nature [S.I.], v. 470, n. 7334, 2011, p. 378-381.

OSTROM, E., DIETZ, T., DOLSAK, N., STERN, P.C., STONICH, S. E WEBER, E.U. (eds). *The Dramas of the Commons*. p. 16-49. Washington, D.C.: National Academy Press, 2002. 534 p. Disponível em: <http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10287>. Acesso em: 15 set. 2010.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). *Combater as alterações climáticas: Solidariedade humana num mundo dividido*. Nova York: PNUD, 2007. 402 p. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/media/hdr_20072008_pt_complete.pdf>. Acesso em: 22 set. 2007.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (PBH). *Relatório de avaliação de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa do município de Belo Horizonte*, Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2009. 123 p. Disponível em: <http://blog.munduscarbo.com/wp-content/uploads/2010/03/PBH_2008.pdf> Acesso em: 5 dez. 2010.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (PRJ). *Inventário de emissões de gases de efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro: Resumo Executivo*. Rio de Janeiro: Secretaria Extraordinária de Desenvolvimento, 2010. 17 p. Disponível em: <<http://portalgeo.rio.rj.gov.br/estudoscariocas/>> Acesso em: 5 dez. 2010.

RIBEIRO, S. K. *As conclusões do Grupo de Trabalho III do IPCC sobre Mitigação de Emissões*. [Palestra]. Disponível em:

<http://www.cpfcultura.com.br/videoteca_2008.aspx?videoteca_categoria_ID=0&videoteca_ID=211>. Acesso em: 30 set. 2008.

RODE, P. et al. *Cities and social equity: inequality, territory and urban form*. Urban Age Programme. Londres, UK: London School of Economics, 2009. 208 p.

SÃO PAULO (Município). Companhia de Engenharia de Tráfego (CET). *Comportamento e regras de circulação*. São Paulo: CET, 2009. 10 p.

_____. São Paulo Transporte SA (SPTRANS). Superintendência de Especificações de Serviços. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <mariana.ayroza@gmail.br> em mar. 2011.

_____. SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E MEIO AMBIENTE (SVMA). *Inventário de emissões de gases de efeito estufa do município de São Paulo*: Centro Clima/COPPE/UFRJ (Síntese). São Paulo: SÃO PAULO, 2005. 20 p.

SOARES L. H. et al. *Mitigação das emissões de gases de efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil*. Seropédia: Embrapa; 2009. p. 14. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/download/cit027.pdf>>, (Circular Técnica, 27). Acesso em: 03 nov. 2010.

STRAMBI, O. *Brasil 2014 – Campo das ideias: Caos inexorável do Transito ou momento de mudança* [Palestra]: Disponível em: <<http://www.cpfcultura.com.br/site/2010/10/01/brasil-2014-%E2%80%93-campo-das-ideias-%E2%80%93-caos-inexoravel-do-transito-ou-momento-de-mudancas-%E2%80%93-orlando-strambi/>>. Acesso em: 09 set. 2010.

STAVINS, R. N. *What can we learn from the grand policy experiment?* Lessons from SO2 allowance trading. *Journal of Economic Perspectives* [S.l.], v. 12, n. 3, 1998, p. 69-88.

VERGARA, W; HAEUSSLING, S. *Transport and Climate: Lessons from the partnership between Mexico City and the World Bank*. Latin America and the Caribbean Region: World Bank, 2007. 53 p.

VIANNA, J. N. S; DUARTE, L. M. G.; WEHRMANN, M. E. F. *O Papel do Etanol na Mitigação das Emissões de Poluentes no meio urbano*. In: II Jornadas Luso Brasileiras de Ensino e Tecnologia em Engenharia. Porto: Instituto Politécnico do Porto, 2009. 11 p.

WOOLDRIDGE, J.M. *Introdução à Econometria: Uma Abordagem Moderna*. Tradução da 2ª Edição *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. São Paulo: Thomson Learning, 2006. 683 p.

WORLD BANK. *World Development Report 2010: Development and Climate Change*. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2010/Resources/5287678-1226014527953/WDR10-Full-Text.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2010

APÊNDICES

APÊNDICE A - Modelo em painel com efeitos fixos

Neste apêndice reportamos as análises de regressões em painel com efeitos fixos, considerando o período de 2001 a 2009 para o consumo de combustíveis dos municípios brasileiros pertencentes às ACP's.

A Tabela A1 apresenta somente a variável população em forma logarítmica, as demais variáveis estão em nível. São elas, respectivamente, frota de automóveis, coletivos, caminhões, motos, número de empregos, número de estabelecimentos, remuneração média e população dos municípios.

Tabela A1 - Distribuição modal e consumo de combustível nos Municípios

Var. Dependente	Consumo de combustível total nos municípios				
Var. Independente	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
auto	204.16 (320.81)	360.28 (278.78)	638.64** (301.54)	1411.05* (266.15)	1448.32* (268.82)
coletivo	-39589.1** (18919.15)	-40557.11**	-47034.81* (18739.9)	-32713.31*** (18988.41)	-33379.17** (20018.61)
caminhão	16327.54** (6694.36)				
moto	2768.64* (621.59)	3191.27* (693.97)			
emp_total			866.71* (302.75)		
estabelec_total				191.84 (345.77)	
rem_media					-4775.15 (3510.73)
l_pop	-2.64e+07 (1.67e+07)	-1.40e+07 (1.65e+07)			8.79e+07** (4.17e+07)
constante	3.84e+08** (1.89e+08)	2.68e+08 (1.87e+08)	7.42e+07* (9597382)	7.52e+07* (1.08e+07)	-3.57e+08*** (2.04e+08)

Fonte: Adaptado de ANP (2010b) e BRASIL (2010a).

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses.

O nível de significância das variáveis está indicado por: * 1%; **5%, ***10%.

Reportamos na Tabela A2, os coeficientes das variáveis massa salarial do setor agropecuário, construção civil e industrial, respectivamente. Todas as variáveis estão em forma logarítmica.

Tabela A2 - Distribuição modal e consumo de combustível nos Municípios

Var. Dependente	Consumo de combustível total nos municípios		
Var. Independente	(1)	(2)	(3)
I_auto	0.4102*	0.4178*	0.3930*
	(0.3612)	(0.0399)	(0.4901)
I_coletivo	-0.0259	-0.0039	-0.0256
	(0.0386)	(0.0386)	(0.0384)
I_massa_setor agropec	0.0298*		
	(0.0087)		
I_massa_setor const civil		0.0071	
		(0.0088)	
I_massa_setor indust			0.0378
			(0.0249)
constante	13.4382*	13.4979*	13.3511*
	(0.2151)	(0.2269)	(0.2138)

Fonte: Adaptado de ANP (2010b) e BRASIL (2010a).

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses.

O nível de significância das variáveis está indicado por: * 1%; **5%, ***10%.

Adicionalmente, tendo em vista que a participação no consumo de diesel total pelos ônibus é pequena, em torno de 12%¹⁸, de acordo com Brasil (2011), refizemos os cálculos para variável dependente, consumo de gasolina equivalente. Portanto, apresentamos na Tabela A3 os coeficientes das regressões considerando somente o consumo de gasolina C, álcool e diesel (consumido pelos ônibus). As variáveis nos modelos 1 a 4 estão em forma logarítmica, enquanto somente o modelo 5 apresenta as variáveis em nível.

Tabela A3 - Distribuição modal e consumo de combustível nos Municípios

Var. Dependente	Consumo de combustível nos municípios				
Var. Independente	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
auto	0.5073*	0.4568*	0.5239*	0.5216*	1438.73*
	(0.4470)	(0.0487)	(0.0462)	(0.0400)	(179.44)
coletivo	0.0228	0.0159	0.0253	0.2175	-38448.48*
	(0.0369)	(0.0370)	(0.03761)	(0.0370)	(12924.11)
massa salarial		0.0607*			
		(0.0203)			
estabelec_total				0.0436*	
				(0.0099)	
rem_media			-0.0229		
			(0.0273)		
população	0.5919**		0.6792**		-230.06*
	(0.2943)		(0.3175)		(75.43)
constante	8.8111*	11.2635*	8.3661*	11.2990*	8.20e+07*
	(1.2443)	(0.2165)	(1.3705)	(0.2159)	(1.66+07)

Fonte: Adaptado de ANP (2010b) e BRASIL (2010a).

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses

O nível de significância das variáveis está indicado por: * 1%; **5%, ***10%.

¹⁸ Para o ano de 1994, a participação no consumo de diesel por ônibus foi de 12,2% (BRASIL, 2011).

APÊNDICE B - Testes de Hausman e Heterocedasticidade

Teste de Hausman

O teste de Hausman testa se os erros estão correlacionados com os regressões, a hipótese nula (H_0) é que eles não estão. Neste modelo, indica se a análise de regressão em painel a ser usada deve ser com efeito fixo ou aleatório, considerando o período de análise, 2001 a 2009.

Hausman fixed random

```

----- Coefficients -----
      |      (b)      (B)      (b-B)      sqrt(diag(V_b-V_B))
      |      fixed   random   Difference      S.E.
-----+-----
l_auto |  0.4211841   0.3706019   0.0505821   0.0205223
l_coletiv | -0.0193102  -0.0003622  -0.018948   0.0102946
l_pop   |  0.1073267   0.5396978  -0.4323711   0.0997009
-----

```

b = consistent under H_0 and H_a ; obtained from xtreg

B = inconsistent under H_a , efficient under H_0 ; obtained from xtreg

Test: H_0 : difference in coefficients not systematic

$$\begin{aligned} \text{chi2}(3) &= (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B) \\ &= 51.39 \end{aligned}$$

Prob>chi2 = 0.0000

Logo, rejeitamos a hipótese nula e, portanto, usaremos o modelo de efeito fixo nas demais regressões.

Teste de heterocedasticidade

Também, com o intuito de verificar a robustez dos modelos, fizemos o teste de heterocedasticidade. A presença de heterocedasticidade na especificação do modelo pode causar invalidação dos erros-padrão e das estatísticas T e F, embora os parâmetros possam ser não viesados e ainda consistentes. A hipótese nula é de homocedasticidade.

```
xttest3
```

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity in fixed effect regression model

H0: $\sigma(i)^2 = \sigma^2$ for all i

```
chi2 (309) = 2.4e+05
```

```
Prob>chi2 = 0.0000
```

Rejeitamos a hipótese nula, portanto corrigiremos para erros-padrão robustos para que o modelo seja confiável.

APÊNDICE C - Matriz de Correlação entre as Variáveis em Forma Logarítmica

Variáveis	combust	auto	coletivo	caminhão	rem_média	massa sal	população
combust	1.0000						
auto	0.8859	1.0000					
coletivo	0.8771	0.9340	1.0000				
caminhão	0.9119	0.9791	0.9371	1.0000			
rem_média	0.4740	0.5455	0.4909	0.5168	1.0000		
massa sal	0.8833	0.9322	0.9112	0.9303	0.6673	1.0000	
população	0.8618	0.8957	0.9319	0.8930	0.3509	0.8683	1.0000

APÊNDICE D - Cálculo simplificado das emissões de CO₂ das ACP's

O consumo de combustível advindo das fontes móveis emite grande quantidade de gases de efeitos estufa, tais como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), além dos demais poluentes atmosféricos que contribuem para a poluição local e regional como monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC), dióxido de enxofre (SO₂), material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

As emissões de dióxido de carbono resultantes da combustão são aquelas em que ocorre a liberação desse composto durante o processo de oxidação completa (queima) dos combustíveis que contenham carbono. As emissões de CO₂ dependem do conteúdo (quantidade) de carbono existente em cada combustível. Durante esse processo, a maior parte do carbono é emitida diretamente na forma de CO₂. Porém, uma parte do carbono, em geral bem menor em termos quantitativos, é liberada na forma de monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), e compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC). Todos esses gases se oxidam e se convertem em CO₂ na atmosfera, em um processo que leva de poucos dias a até 12 anos (IPCC, 2006).

Conforme IPCC (2006) todo o carbono liberado deve ser contabilizado como emissão de CO₂. Os demais gases que contêm carbono também devem ser estimados, porém contabilizados em separado. O carbono não oxidado, em forma de material particulado, fuligem ou cinza, não deve ser incluído no total das emissões de gases de efeito estufa.

Segundo o relatório do IPCC, o CO₂ é responsável por mais de 97% das emissões totais de GEE advindas das fontes móveis. A incerteza dos cálculos para esse gás é da ordem de 5%, oriunda principalmente da operação, mais do que das imprecisões nos fatores de emissão. Por sua vez, o N₂O e o CH₄ contribuem com cerca de até 3% e 1%, e as incertezas são de cerca de 50% e 40%, respectivamente, devidas principalmente aos fatores de emissão (ALVARES; LINKE, 2001).

Metodologia aplicada ao cálculo das Emissões de CO₂

São três os métodos para se estimar as emissões de GEE advindas da queima de combustível (IPCC, 2006):

- Método Tier 1 (“método default”) com duas abordagens: abordagem de referência (também chamada de “top down”) e abordagem setorial. Utiliza os valores default propostos pelo IPCC para fatores de emissão;
- Método Tier 2: Emprega a mesma abordagem geral do Tier 1, porém com fatores de emissão específicos do país;
- Método Tier 3: Emprega fatores específicos às realidades locais ou nacionais e dados mais desagregados. É o método de maior precisão.

A abordagem de referência totaliza as estimativas de emissões por tipo de combustível, distinguindo entre combustíveis primários e secundários, enquanto a abordagem setorial aloca estas emissões por categoria de fonte emissora. Na abordagem de referência não é possível distinguir as emissões estacionárias das emissões móveis, assim como na abordagem setorial nem sempre é possível distinguir as diferentes emissões por categoria de fonte dentro de uma atividade econômica (CETESB, 2010).

As estimativas de emissões baseadas na abordagem de referência não são exatamente as mesmas obtidas com a abordagem setorial. As duas abordagens medem as emissões em diferentes pontos e utilizam definições diferentes. Entretanto, a diferença entre os dois resultados não é significativa (CETESB, 2010). A escolha do método utilizado é determinada pelo nível de desagregação e tipos de dados de atividades disponíveis e pela existência de fatores de emissão nacionais.

A preferência é dada aos fatores nacionais, pois os fatores defaults são relativos aos combustíveis e condições encontradas nos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). A especificidade da composição dos combustíveis automotivos utilizados no Brasil, especialmente para veículos a etanol (etanol hidratado puro) e a gasool (gasolina do tipo C) (ALVARES; LINKE, 2001), corrobora com esta predileção. Os órgãos brasileiros que determinam

os fatores a serem utilizados são o Ministério de Minas e Energia (MME), o Ministério de Ciências e Tecnologia (MCT) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP) (MACEDO, 2004).

Este estudo segue as diretrizes da publicação *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* para a aplicação da abordagem *top down*, baseando-se na quantidade de combustível vendido para o setor de transporte rodoviário. A diferença metodológica fundamental no Guia de Boas Práticas 2006 do IPCC para as publicações anteriores é que os fatores de emissão passam a assumir oxidação total no processo de combustão do combustível. No caso da utilização de fatores nacionais é permitido ajustá-los se não houver oxidação total do carbono.

Os fatores de emissão de carbono (FE's)¹⁹ representam a quantidade de carbono contida no combustível por unidade de energia. Empregamos os fatores utilizados na Primeira Comunicação Nacional do Brasil, que, por sua vez, são similares aos do IPCC, conforme Tabela D1. Já os fatores de conversão de energia e de correção para os poderes caloríficos²⁰ foram obtidos no Balanço Energético Nacional 2010.

¹⁹O conteúdo de carbono de um combustível é uma propriedade química própria (fração ou massa de átomos de carbono relativo ao número total de átomos ou massa) e não depende do processo ou condição de combustão. Os valores *defaults* dos fatores de emissão nas diretrizes do IPCC são baseados nos poderes caloríficos inferiores. O poder calorífico inferior – PCI (em inglês *Net Calorific Value – NCV*) indica a quantidade de calor liberada pela combustão completa de um volume, ou uma massa de combustível, assumindo que a água resultante da combustão permanece como vapor e não poderá ser recuperada (CETESB, 2010).

²⁰O poder calorífico varia entre os tipos de combustíveis e mesmo dentro de uma mesma categoria de combustível, pois depende da composição das ligações químicas existentes (CETESB, 2010).

Tabela D1 - Fatores de emissão de Carbono

Combustíveis	Fatores de emissão de carbono (tC/TJ)			
	IPCC 1996	IPCC 2006	MCT 2006	Inventário CETESB 2010
Petróleo	20	20	20	20
Gasolina	18,9	18,9	18,9	18,9
Óleo Diesel	20,2	20,2	20,2	20,2
Óleo Combustível	21,1	21,1	21,1	21,1
GLP	17,2	17,2	17,2	17,2
Nafta	20	20	20	20
Biomassa Líquida	20			
Etanol Anidro			14,81	14,81
Etanol Hidratado			14,81	14,81

Fonte: Adaptado de CETESB (2010).

Dada a relevância do dióxido de carbono para a questão climática e da inexistência de informações complementares sobre o uso final, tecnologia dos equipamentos, condições de utilização referentes aos veículos automotores e ao estado das vias rodoviárias, optamos por estimar o cálculo somente para as emissões de CO₂. O nível mais desagregado e detalhado destas informações, como, por exemplo, a distância percorrida pelos veículos no Brasil, é necessário para o cálculo apropriado dos demais gases (IPCC, 2006).

Em função dos impactos locais e das emissões evitadas pelo uso dos biocombustíveis, é importante o conhecimento do desempenho ambiental de cada combustível. O etanol no Brasil é usado intensivamente na frota de veículos leves, tanto na forma de etanol hidratado com 95 °GL, como etanol anidro que é misturado à gasolina numa proporção que pode variar de 20 a 25%, conhecido como gasolina C. Além dos benefícios ambientais, a adição de etanol atribui à gasolina qualidade antidetonante, dispensando o uso do chumbo, altamente maléfico à saúde humana, e melhorando a eficiência termodinâmica do motor (VIANNA; DUARTE; WEHRMANN, 2009).

No caso dos biocombustíveis, supõe-se que as emissões durante sua queima são compensadas pela absorção de CO₂ durante a fase de crescimento das plantas (CETESB, 2010). A partir desta hipótese, as emissões são contadas dentro do módulo (setor) de mudança no uso da terra, agricultura e florestas, onde é

determinado o balanço entre o carbono emitido pela biomassa extraída e o carbono absorvido durante o crescimento de novas plantas (IPCC, 2006). Apesar desta orientação, optamos por contabilizar conjuntamente as emissões de CO₂ advindas da queima do etanol tanto anidro como o hidratado, gasolina e diesel, como forma de representar as emissões do setor de transporte como um todo.

As unidades de análises são as 41 Áreas de Concentração de População (ACP's) brasileiras. A determinação das emissões de CO₂ foi baseada na quantidade de combustível vendida aos municípios pertencentes às ACP's e no conteúdo de carbono dos combustíveis brasileiros.

Ressalta-se que as emissões apresentadas são emissões do escapamento, ou seja, referem-se apenas ao processo da combustão e não estão consideradas as emissões ou absorções de CO₂ nas outras fases dos ciclos de vida dos combustíveis (produção, armazenamento, distribuição e uso de energia). Adicionalmente, enfatizamos que pelo fato de utilizarmos os fatores *defaults*, os resultados não correspondem necessariamente aos fatores em condições reais de utilização ou no estado de manutenção dos veículos brasileiros.

O emprego da metodologia *top down* (IPCC, 2006) conforme adaptação do relatório de referencia do primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa abrangeu as seguintes etapas:

- Estimativa do consumo final dos combustíveis nas suas unidades de medida originais;
- Conversão do consumo final para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ);
- Transformação do consumo de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível;
- Conversão da quantidade de carbono em emissões de CO₂.

A seguir descrevemos estas etapas (ALVARES; LINKE, 2001):

(1) Estimativa do consumo final dos combustíveis nas suas unidades de medida originais:

Os dados empregados neste estudo referem-se às vendas realizadas pelas distribuidoras dos derivados combustíveis de petróleo e de etanol etílico hidratado aos municípios brasileiros, e foram obtidos junto a Superintendência de Planejamento e Pesquisa (SPP) da Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2010b). Estes combustíveis são considerados secundários (a gasolina, o óleo diesel e o óleo combustível), pois derivam dos combustíveis primários, os quais são encontrados diretamente na natureza, tais como o carvão, o petróleo e o gás natural (CETESB, 2010).

(2) Conversão do consumo final para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ):

A determinação do consumo de energia em TJ foi feita através da equação 1:

$$CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr}$$

Onde,

- 1 tEP = $45,2 \times 10^{-3}$ No Brasil, o conteúdo energético de 1 tep, que é função do tipo de petróleo adotado como padrão, equivale a 10.800 Mcal ou $45,217 \times 10^{-3}$ TJ.
- TJ (terajoule = 10¹² J);
- CC = consumo de energia em TJ;
- CA = consumo de combustível (m³, l, kg);
- F_{conv} = fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tEP, com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível (valores podem variar de ano para ano, de acordo com a publicação

anual do Balanço Energético Nacional (BEN)). Os valores do ano 2010, conforme Brasil (2010b) são: gasolina (0,770 tEP/m³); etanol anidro (0,534 tEP/m³); etanol hidratado (0,510 tEP/m³); diesel (0,848 tEP/m³);

- F_{corr} = fator de correção de PCS para PCI. Para óleo diesel F_{corr} = 0,94, para gasolina automotiva, o F_{corr} = 0,93, para etanol anidro o F_{corr} = 0,95 e para o etanol hidratado o F_{corr} = 0,95 (BRASIL, 2010b).

A conversão final de cada combustível, medido na sua unidade original, para a unidade comum de energia, é efetuada multiplicando-se o consumo final pelo poder calorífico inferior do combustível (PCI). A unidade comum de energia adotada pelo IPCC (2006) é o terajoule (TJ) baseado no PCI, enquanto no BEN o conteúdo energético tem como base o PCS. O uso do PCI do combustível, ao invés do seu poder calorífico superior (PCS), é necessário, pois os fatores de emissão de carbono recomendados pelo IPCC, em quantidade de carbono por unidade de energia, são definidos com base na energia efetivamente aproveitável do combustível (CETESB, 2010).

(3) Transformação do consumo de cada combustível em conteúdo de carbono:

A quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser calculada multiplicando-se o consumo de energia pelo fator de emissão do combustível, conforme equação 2:

$$QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3}$$

Onde,

- QC = conteúdo de carbono expresso em Gg C²¹;
- CC = consumo de energia em TJ;
- Femiss = fator de emissão de carbono (tC/TJ). Os valores do IPCC, 1996 e MCT, 1999 dos Femiss são: gasolina (18,9 tC/TJ); etanol anidro (14,81 tC/TJ); etanol hidratado (14,81 tC/TJ); diesel (20,2 tC/TJ);

(4) Conversão da quantidade de carbono em emissões de CO₂:

As emissões de CO₂ devem ser calculadas de acordo com a equação 3. Em função dos respectivos pesos moleculares: 44 t CO₂ corresponde a 12 t de C ou 1t CO₂ é igual a 0,2727 t C.

$$ECO_2 = QC \times 44/12$$

Onde,

- ECO₂ = emissão de CO₂ expressa em Gg de CO₂;

²¹1 Gg C (gigagrama de carbono) = 10⁹ gramas de carbono = 10³ toneladas = 10⁻³ Mt C

Análise dos dados

A Figura D1 sintetiza o quadro geral das ACP's brasileiras, confirmando a hipótese que quanto maior a proporção de coletivos no total da frota de veículos, menor a emissão de CO₂ pela população. A unidade de análise são as 41 ACP's de 2001 a 2009, ou seja, são um total de 369 pontos indicados no gráfico. A linha de tendência logarítmica indica nitidamente a redução de emissão, *per capita*, quando há um aumento da proporção da frota de coletivos na frota de veículos do município.

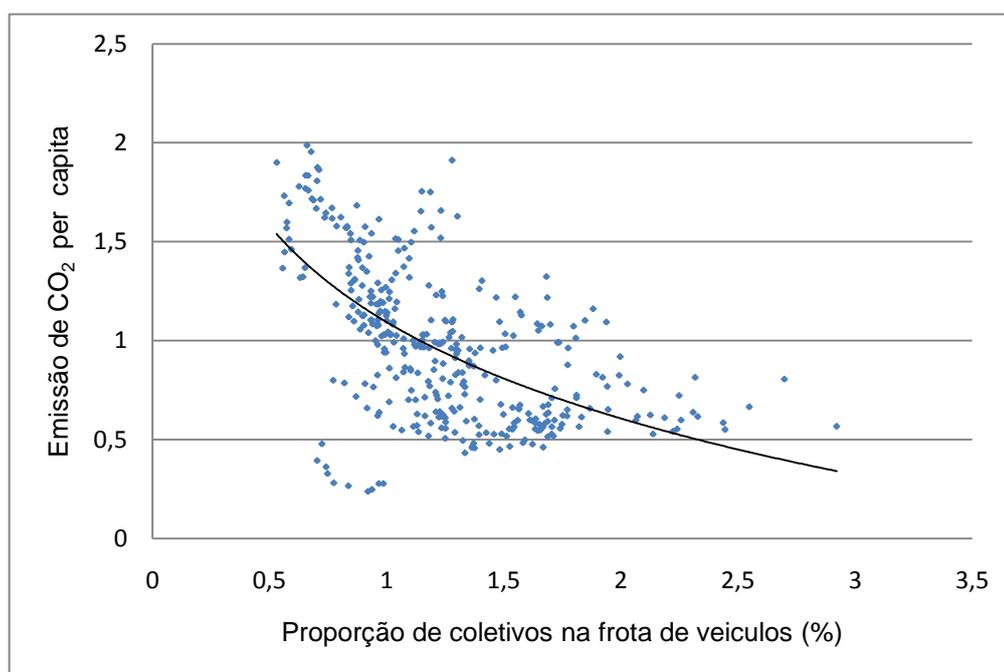


Figura D1 – Emissão de CO₂, em Mg, *per capita* pela proporção de coletivos na frota de veículos (%)

Fonte: Adaptado de ANP (2010b) e BRASIL (2010).

A Tabela D2 e a Figura D2 apontam as dez maiores emissoras de CO₂, em termos absolutos. Verifica-se que no período em análise, entre 2001 a 2009, houve um crescimento de 16,45% das emissões de CO₂ pelas dez maiores ACP's brasileiras.

Tabela D2 - Maiores emissoras de CO₂, em Gg, de 2001 a 2009

ACP's	2001	2002	2003	2004	2005
Sub-ACP de São Paulo (SP1)	16.146,42	15.721,71	14.547,26	15.194,02	15.625,85
ACP do Rio de Janeiro	6.514,11	6.981,38	6.519,44	6.459,69	6.507,80
ACP de Belo Horizonte	4.402,60	4.456,80	4.428,56	4.691,41	4.819,94
ACP de Curitiba	3.546,26	3.530,69	3.508,46	3.736,30	3.998,47
Sub-ACP de Campinas (SP2)	3.514,33	3.989,49	3.837,63	3.741,13	3.478,38
ACP de Brasília	2.808,91	2.910,65	2.793,73	2.926,94	2.966,44
Sub-ACP Porto Alegre (RS1)	2.897,07	2.931,84	2.824,91	2.959,87	2.802,11
ACP de Salvador	2.563,46	2.038,77	1.943,46	2.046,96	2.130,71
ACP de Goiânia	1.626,91	1.744,65	1.679,03	1.829,86	1.841,48
ACP de Recife	1.759,06	1.765,07	1.600,47	1.693,98	1.674,90
Total geral	45.779,14	46.071,05	43.682,95	45.280,16	45.846,07
ACP's	2006	2007	2008	2009	Média
Sub-ACP de São Paulo (SP1)	15.986,20	17.551,63	19.244,72	19.487,33	16.611,68
ACP do Rio de Janeiro	6.304,01	6.753,61	7.137,75	7.503,55	6.742,37
ACP de Belo Horizonte	5.097,15	5.279,30	5.717,73	5.792,83	4.965,15
ACP de Curitiba	4.055,48	4.302,93	4.272,34	4.393,36	3.927,14
Sub-ACP de Campinas (SP2)	3.374,40	3.578,16	3.848,29	3.912,60	3.697,15
ACP de Brasília	2.925,90	3.144,80	3.316,43	3.379,55	3.019,26
Sub-ACP Porto Alegre (RS1)	2.881,36	3.016,60	3.073,47	1.915,10	2.811,37
ACP de Salvador	2.108,49	2.188,85	2.931,05	2.490,45	2.271,35
ACP de Goiânia	1.939,51	2.098,20	2.286,10	2.290,39	1.926,24
ACP de Recife	1.617,91	1.757,15	1.991,93	2.144,14	1.778,29
Total geral	46.290,40	49.671,22	53.819,81	53.309,29	4.775,00

Fonte: Elaboração própria

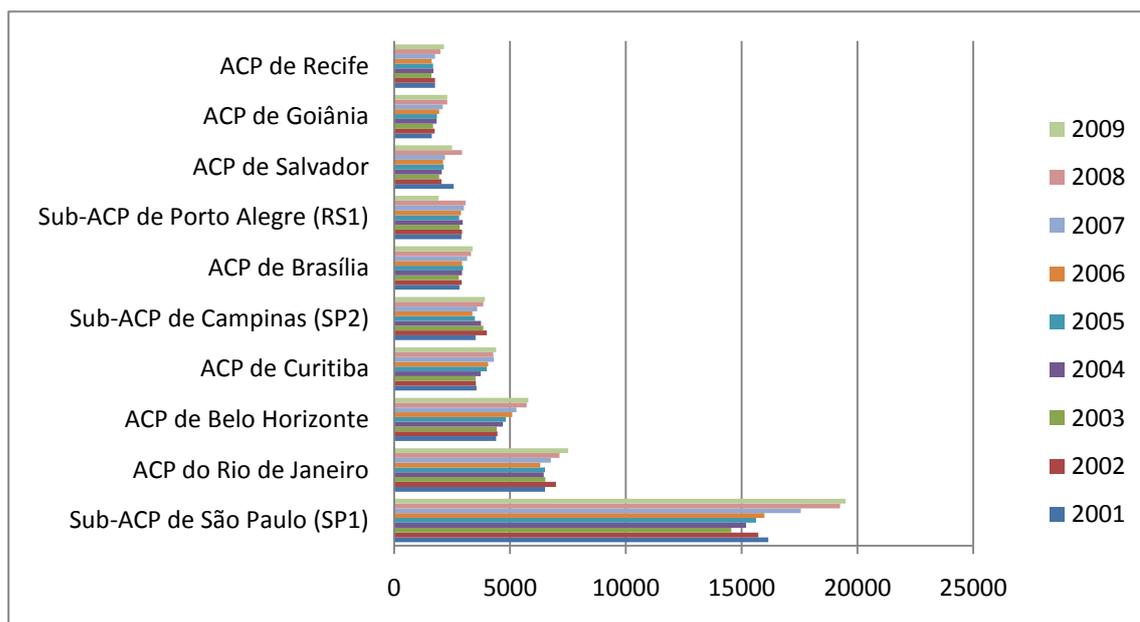


Figura D2 - Emissão absoluta de CO₂, em Gg, ao longo dos anos

Fonte: Elaboração própria.

A classificação das ACP's se altera quando se obtêm as emissões *per capita* das ACP's (Figura D3). A Sub-ACP de São Paulo (SP1), por exemplo, desce para 24ª posição no *ranking* das maiores emissoras, enquanto a ACP de São José do Rio Preto (20ª posição na classificação geral) sobe para a 1ª colocação. Como era de se esperar, esses resultados são bastante similares aos relacionados ao consumo de combustível.

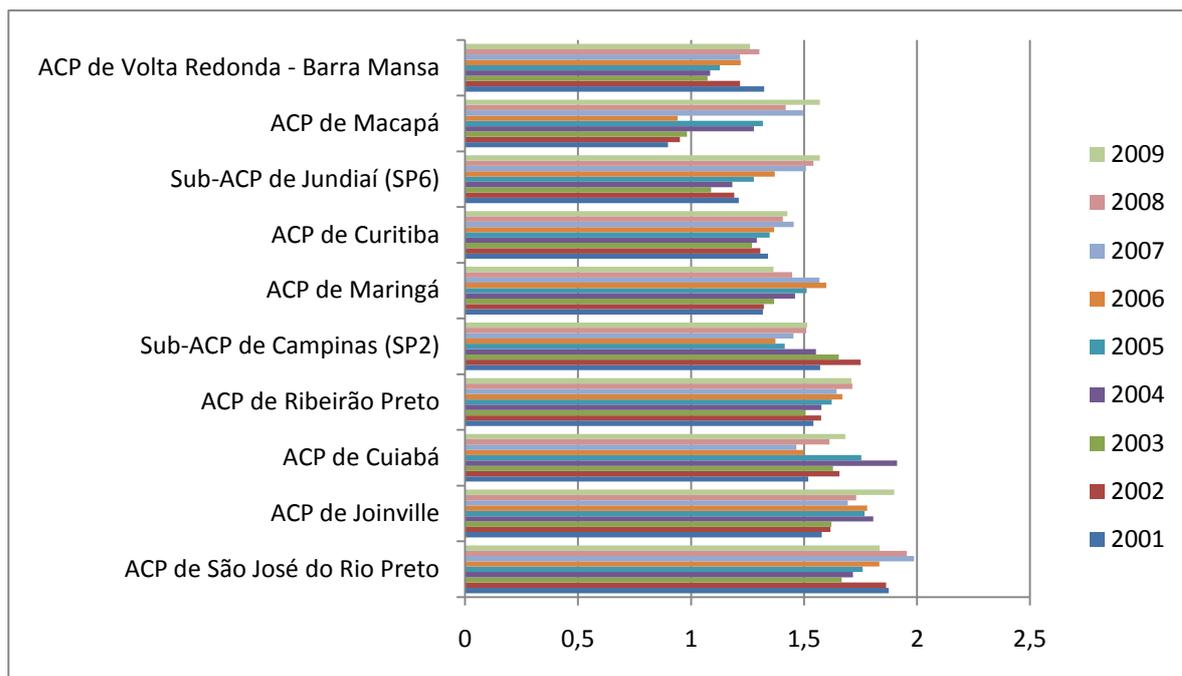


Figura D3 – Emissão per capita de CO₂, em Mg

Fonte: Elaboração própria.