

Análise das estratégias de mitigação das emissões de gases do efeito estufa no transporte rodoviário com apoio da revisão sistemática

Analysis of greenhouse gas emission mitigation strategies in road transport supported by the systematic review

Mariana Carvalho WOLFF [1](#); Gilson BRITO Lima [2](#); Marco Antonio Farah CALDAS [3](#)

Recibido: 24/11/16 • Aprobado: 08/12/2016

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
 - [2. Revisão da literatura](#)
 - [3. Mitigações das emissões de CO₂](#)
 - [4. Metodologia](#)
 - [5. Resultados e discussões](#)
 - [6. Conclusões e sugestões de novas pesquisas](#)
- [Referência](#)

RESUMO:

O artigo propõe uma revisão sistemática das principais estratégias adotadas para mitigar as emissões de gases do efeito estufa, em especial o CO₂, restrito ao transporte rodoviário. A originalidade encontra-se na estratégia de abordagem bibliométrica, considerando artigos publicados em periódicos de grande relevância (base Scopus e ISI). As medidas são divididas entre políticas públicas e desenvolvimento tecnológico. Algumas são adotadas pela maioria dos autores, a exemplo da substituição do diesel por combustíveis alternativos e melhoria tecnológica dos veículos. Essas análises viabilizam a estruturação de políticas públicas governamentais e incentivam a adoção de medidas simples de mitigação das emissões atmosféricas.
Palavras-chave: Emissões atmosféricas; CO₂; mitigação; transporte rodoviário.

ABSTRACT:

The article proposes a systematic review of the main strategies to mitigate emissions of greenhouse gases effect, especially CO₂, restricted to the road transport. The originality lies in the bibliometric approach strategy that considered experts articles on this subject and published in great relevance journals (Scopus and ISI databases). The measures are divided into public policies and technological development. Some of them are adopted by most authors, such as the replacement of diesel for alternative fuels and technological improvements to vehicles. Since these analyzes, we can facilitate the structuring of new government policies and encourage people to mitigate atmospheric emissions.
Key words: Atmospheric emissions; CO₂; mitigation; road transport.

1. Introdução

O desenvolvimento econômico dos países trás consequências para o meio ambiente em escala global, regional e local. Os efeitos do crescimento são percebidos em todas as instâncias, incluído o aumento do volume de transporte de pessoas e cargas em todos os modais: rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo. O transporte rodoviário é responsável por grande parte das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) no mundo e em 2000, segundo Skeie et al. (2009), foi responsável por 11% do aquecimento.

O tema é de grande relevância porque a emissão de gases é um dos principais responsáveis pelo aquecimento global, tema amplamente discutido em todo mundo. Segundo Uherek et al. (2010) o principal impacto do transporte rodoviário no meio ambiente é a emissão de CO₂, um dos gases do efeito estufa, que chega a ser três vezes maior do que a emissão combinada dos transportes aéreo e marítimo, no mundo.

De acordo com o modelo desenvolvido por Moore e Diaz (2015), a mudança da temperatura global fica estabilizada em menos de 2°C ao eliminar as emissões de gases do efeito estufa em um futuro próximo. Eliminação é uma medida distante nos dias de hoje, porém, é importante buscar sempre a máxima redução possível em cada um dos setores da economia. Dessa forma, mostra-se que o custo social do carbono, ou seja, o custo indireto à população, é potencializado, onde quanto menor for a emissão, melhor para o planeta.

Diversas ferramentas, presentes em todo o mundo, calculam o inventário de emissões de gases do efeito estufa, como, por exemplo, o COPERT e o Programa Brasileiro GHG Protocol. O COPERT é um software desenvolvido pela Agência Europeia de Meio Ambiente (EEA) capaz de calcular o consumo de combustível e as emissões provenientes dos veículos. Essa ferramenta considera como entradas: número de veículos, distância média, velocidade média, característica da via e quilometragem total percorrida. O GHG Protocol foi desenvolvido em 1998 nos Estados Unidos e é uma ferramenta que quantifica as emissões de GEE, amplamente utilizada no Brasil.

Para avaliar a redução das emissões, o modelo TREMOVE foca-se no planejamento do transporte rodoviário, usando como base critérios técnicos (filtros, por exemplo) e não-técnicos, considerando o comportamento dos motoristas e a redução do número de carros.

A simulação das mitigações das emissões é feita através do COMIT, considerando critérios como: percentual de mudança dos modais, redução da quilometragem, decisão de compra de um veículo por uma família e decisões diversas dos transportadores de cargas.

A identificação e quantificação destas emissões ganharam grande importância a partir do Tratado de Kyoto, em 1997, uma vez que todo o mundo passou a ser co-responsável. Neste momento começaram diversos estudos sobre o tema, propondo diferentes estratégias para reduzir os gases de efeito estufa. A partir disso, iniciaram as estratégias de mitigação das emissões para reduzir os impactos à sociedade. Neste contexto, o presente artigo tem por objetivo analisar as principais estratégias de mitigação, discutidas na literatura, sobre o transporte rodoviário. Não é parte deste artigo a quantificação das emissões atmosféricas do transporte de cargas.

Este artigo apresenta-se dividido em cinco partes: na primeira é feita uma contextualização da situação atual, justificando o problema proposto; na segunda aborda-se a revisão de literatura, buscando autores que já discutiram as estratégias de mitigação das emissões de CO₂; a terceira parte faz-se um estudo do estado da arte dos modelos já propostos; na quarta são apresentados os resultados das análises; e a última apresentada as conclusões finais, cotejando os objetivos do estudo e respectivas questões de pesquisa à luz dos resultados obtidos e sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

A originalidade apresentada no artigo se contextualiza na proposta de revisão sistemática para identificação das principais estratégias que contribuem para a mitigação das emissões de CO₂, a partir dos atributos de políticas públicas e desenvolvimento tecnológico, referenciados nos principais periódicos internacionais de 1997 a 2015.

2. Revisão da literatura

A estratégia de abordagem bibliométrica adotada neste artigo considera os principais periódicos de referência no assunto, listados nas bases Scopus e ISI Web of Science. A tabela abaixo resume o estrato de cada um, prioritariamente para engenharias III, seguido de engenharias I e, por fim, interdisciplinar. Dos 121 artigos filtrados 28 são considerados relevantes, no período de 1997 a 2015, tratando das diversas estratégias aplicadas à mitigação das emissões de CO₂ no transporte rodoviário.

Para uma análise mais robusta são utilizados conceitos de revisão sistemática, que segundo Sampaio e Mancini (2007), é uma forma de pesquisa que se baseia em estudos prévios sobre determinado tema e sintetiza as informações de forma qualitativa e quantitativa. Esse método permite uma análise mais completa dos resultados relevantes e não limita as conclusões do estudo.

Quadro 1: Estrato dos periódicos consultados para bibliometria.

Periódico Internacional	Estrato Qualis		
	Engenharias III	Engenharias I	Interdisciplinar
Applied Energy	A1	-	-
Atmospheric Environment	A1	-	-
Energies	-	-	B1
Energy	A1	-	-
Energy Policy	A2	-	-
Environmental Impact Assessment Review	A1	-	-
Habitat International	-	A1	-
Journal of Cleaner Production	A2	-	-
Lancet	-	-	A1
Natural Hazards	-	A1	-
Renewable and Sustainable Energy Reviews	A1	-	-
Science of the Total Environment	A1	-	-
Transport Policy	-	A1	-
Transportation Research Part D	A2	-	-

Fonte: WebQualis.

3. Mitigações das emissões de CO₂

Os primeiros estudos referentes às estratégias de mitigação das emissões de gases do efeito estufa foram realizados em 1997 e 1999, na sequência do Protocolo de Kyoto. A partir de então diversas estratégias vem sendo discutidas, com o objetivo de analisar qual delas trará maiores benefícios para o planeta.

Ong et al. (2011) realizaram um estudo na Malásia sobre estratégias para mitigar as emissões atmosféricas provenientes do transporte rodoviário a partir dos dados obtidos pelo software COPERT4. As maiores reduções foram percebidas através da promoção do transporte público, renovação da frota e incentivo ao aumento dos veículos movidos a gás natural.

Cai et al. (2008) relatam estratégias de mitigação na China em cinco setores da economia até 2020, inclusive no transporte, onde são descritas 6: tecnologia de transmissão, veículos e motores, tecnologia combinada dos três, substituição do combustível dos veículos e linhas

rápidas de ônibus, a exemplo do BRT.

Solís e Sheinbaum (2013) ao descreverem medidas para reduzir as emissões de CO₂ relatam que os veículos do tipo SUV, com crescente aumento de vendas nos últimos anos em diversos países, consomem mais combustível que veículos populares e, por isso, poluem mais. O estudo comprova que os principais emissores são veículos de passeio e veículos leves de transporte de cargas, os quais terão prioridade nas estratégias de mitigação: eliminar viagens desnecessárias, substituir por modais mais sustentáveis (BRT), aumentar a eficiência dos combustíveis e investimento em desenvolvimento urbano (promovendo melhoria na infraestrutura e facilitando a locomoção pela cidade).

Pradhan et al. (2006) analisam a inclusão do ônibus elétrico no transporte público em Kathmandu até 2025. A projeção prevê que o número de veículos de passeio é uma função da população e da receita. A simulação considera uma combinação de cenários em que há substituição de 25 a 100% dos veículos e estabilização no crescimento destes. Essas medidas mostram um impacto positivo nas emissões de GHG e consumo de combustível.

Uherek et al. (2010) mostram que as emissões de CO₂ tem projeção de crescimento nos próximos anos e para isso as estratégias de mitigação vão além da melhoria da eficiência dos veículos e maior utilização de biocombustíveis. O aumento de combustíveis de baixo teor de carbono, maior eficiência dos combustíveis e estagnação do volume absoluto de veículos de transporte são medidas complementares para auxiliar na redução. O artigo ressalta ainda a regulamentação dos países europeus quanto ao limite de emissões de CO₂ para novos veículos, que exige um limite a partir de 2015 e outro, mais restritivo, a partir de 2020.

Liu et al. (2013) avaliam três estratégias para contribuir para um desenvolvimento sustentável na China: trem de alta velocidade, trem urbano e veículos elétricos. A análise é feita para o ano de 2020, através da projeção da população e demanda do transporte rodoviário. A transferência dos passageiros para os outros meios de transporte é feita através de algumas considerações dos autores. Na conclusão são feitas algumas análises de sensibilidade, variando o percentual assumido de transferência para outros modais.

He e Chen (2013) apresentam cinco cenários para a mitigação de emissão de gases do efeito estufa na China, variando entre a utilização de veículos elétricos (carros de passageiro e caminhão leves, ônibus e motos) e híbridos (caminhão pesado). O cenário mais satisfatório mostra uma redução significativa nas emissões, porém, para atingi-lo é necessário melhorar a tecnologia dos veículos elétricos. Lang et al. (2013) também avaliaram os impactos ambientais que os veículos híbridos e elétricos causariam na China de 2010 a 2020. A principal conclusão é que os veículos elétricos devem ser amplamente utilizados em regiões que tenham energia gerada por hidroelétricas, gás natural e fontes limpas de energia; enquanto os híbridos devem ser adotados em regiões que registram altas taxas de queimas de carvão.

Heinrichs et al. (2014) avaliam a inclusão do transporte rodoviário no EU ETS (European Emission Trading System) e para isso simulam dois cenários para as emissões de CO₂ no transporte terrestre na Alemanha, variando o preço do barril de petróleo e a geração de energia elétrica através de fontes renováveis de energia. A conclusão a que se chega é que a melhoria tecnológica dos veículos e maior utilização de veículos elétricos são formas de mitigar as emissões geradas por esse setor fortemente responsável pelas emissões.

Chollacoop et al. (2013) analisaram a redução de gases do efeito estufa na Tailândia através da ampla utilização do etanol em substituição ao diesel nos ônibus, passando os motores a funcionar com ED95 (95% de etanol). Para isso foi necessário investir em tecnologia que possibilitasse a utilização deste substituto. Os estudos comprovaram uma redução significativa das emissões.

Foram analisadas as emissões provenientes do transporte rodoviário em 30 províncias da China e uma análise complementar foi feita de forma regional: central, leste e oeste. Guo et al. (2014) realizaram o estudo de 1997 a 2012, apresentando um aumento significativo das

emissões, principalmente quando se avaliam as emissões per capita, resultado do rápido desenvolvimento do país desde a década de 90. Como estratégias de mitigação são sugeridas: maior conscientização da população através de incentivo na utilização do transporte público, maior utilização de outros modais que emitam menos CO₂ (ferroviário e aquaviário) e melhoria da infraestrutura que permita maior utilização de outros modais.

Pinheiro (2012) estima a redução nas emissões de CO₂ a partir da mudança da matriz de transportes no setor sucroenergético, levando em consideração o custo dos transportes. O cenário simula a safra de 2020/2021 e considera todas as obras de infraestrutura do país em plena operação, com ampla utilização dos modais ferroviário e rodoviário, e redução no rodoviário.

Chavez-Baeza e Sheinbaum-Pardo (2014) avaliam as emissões de gases de veículos de passageiros na região metropolitana da Cidade do México a fim de construir dois cenários de mitigação para o ano de 2028. O primeiro considera melhoria da eficiência dos combustíveis e novas tecnologias para controle de emissões dos veículos. O segundo substitui os carros particulares por BRT. Ambos cenários apresentam reduções significativas nas emissões de CO₂.

Nygrén et al. (2012) estudaram na Finlândia, em 2008, a partir da definição do governo de que a taxa anual de crescimento de veículos deve ser estagnada proporcionalmente às emissões de carbono. Para isso as montadoras devem aprimorar as tecnologias presentes nos veículos para reduzir suas emissões.

O estudo de Kolosz e Grant-Muller (2015) analisa o custo benefício de três estratégias de mitigação de emissão de CO₂ na rodovia: gerenciamento ativo do tráfego de veículos, adaptação inteligente da velocidade e sistema automotivo da via.

Liu et al. (2015) analisam as emissões de CO₂ por modal de transporte, onde o rodoviário é o principal emissor. Em relação aos resultados, as principais medidas de mitigação são: melhoria da performance dos veículos, maior utilização de fontes limpas de energia e do transporte urbano.

McCollum e Yang (2009) investigam, através de cenários, o potencial de redução dos gases de efeito estufa do transporte nos Estados Unidos. A projeção de redução é de 50-80% no longo prazo. São analisados três cenários para 2050, sendo o primeiro base, o segundo com algumas estratégias de mitigação separadamente (avanço tecnológico dos veículos, combustível alternativo ou gerenciamento da demanda de viagens) e o último considera ampla utilização de biocombustíveis e veículo elétrico. O segundo não se mostrou eficiente para o objetivo a ser alcançado e o terceiro, a partir de estratégias combinadas, se mostrou eficiente, alcançando uma redução de 76%, em relação a 1990.

Dulal et al. (2011) avaliam a importância do planejamento urbano na redução das emissões de gases onde uma área mista residencial e empresarial influencia menores deslocamentos da população e menor utilização de veículos particulares, preferindo transporte público, bicicletas ou deslocamentos a pé.

El-Fadel e Bou-Zeid (1999) estudaram as emissões de gases do efeito estufa no Líbano, país em desenvolvimento. A partir do inventário, desenvolveram cenários considerando duas estratégias de mitigação, projetando para 2020: idade da frota e aplicação de novas tecnologias nos veículos, e planejamento do transporte e da demanda.

Gilpin et al. (2014) provam que a substituição do diesel por biodiesel reduz as emissões de gases do efeito estufa porém, a utilização de escapamentos mais aprimorados e filtros de diesel promovem um aumento ligeiro nestas emissões.

Yan e Crookes (2009) concluíram que um dos principais fatores de emissões atmosféricas na China é o transporte de cargas e passageiros. Para mitigar essas emissões, projetadas até 2030, as estratégias sugeridas são: controle do número de veículos privados (sofre influência de uma série de fatores, como a oferta de transporte público, infraestrutura disponível, renda, etc), regulamentação do consumo de combustível através de motores mais eficientes, taxaço

de impostos maiores sobre combustíveis, promover ampla utilização de veículos movidos a gás e biocombustível. Todas essas medidas aplicadas projetam uma redução de 40% nas emissões de CO₂ em relação ao cenário base, sem nenhuma estratégia de mitigação.

Michaelis (1997) propôs algumas medidas de mitigação para reduzir até 40% das emissões de gases do efeito estufa até 2020: maior utilização de combustíveis alternativos, melhoria na tecnologia dos veículos e melhoria da dinâmica no transporte de cargas e passageiros. Um ponto negativo levantado pelo autor é que todas essas estratégias dependem do comportamento e preferências da população, que deve ser encorajada pelos governantes.

Nesamani (2010) estuda estratégias de controle das emissões em Chennai, Índia, no ano de 2005. As três principais medidas a serem adotadas são: redução da quilometragem percorrida pelos moradores através da promoção do transporte público e do planejamento urbano, desenvolvimento de novas tecnologias para motores (reduzindo consumo de combustível e emissões, veículos elétricos e ônibus movidos a células de hidrogênio) e o gerenciamento do transporte.

Woodcock et al. (2009) analisam estratégias de redução dos gases de efeito estufa em território urbano: Londres (Reino Unido) e Deli (Índia), projetando até 2030. São duas estratégias previstas: melhoria da tecnologia dos veículos para reduzir suas emissões e gerenciamento ativo do tráfego de veículos, promovendo maior utilização de bicicletas, caminhadas e redução dos veículos. O artigo visa a qualidade de vida da população envolvida.

Georgopoulou et al. (2015) relatam que, para os países Balcãs entrarem na União Europeia, devem adotar uma série de medidas para mitigar as emissões de gases do efeito estufa. O estudo prevê as reduções no transporte rodoviário até 2030, através das estratégias: renovação da frota, promoção do transporte público, aumento da velocidade média de circulação dos ônibus (através de corredores específicos), aumento do percentual de biodiesel e incentivo ao consumo de combustíveis alternativos.

Streimikiene et al. (2013) propõe a redução das emissões de CO₂ para cada tecnologia e tipo de combustível disponível. Para cada um analisa-se o impacto nas emissões ao: substituir por biodiesel, uso racional dos veículos por parte dos motoristas, manutenção constante das rodovias e o sistema de gerenciamento do tráfego.

Lu et al. (2007) quantificam e comparam as emissões de CO₂ em quatro países: Taiwan, Alemanha, Japão e Coreia do Sul. Para Taiwan, que tem como principal tipo de transporte de pessoal e cargas o modal rodoviário, as estratégias de mitigação sugeridas são: aumentar a ocupação dos veículos de passageiros, gerenciamento da demanda do transporte, controle do aumento da quantidade de veículos de passageiros através da taxa maior do combustível, melhoria tecnológica dos novos veículos (maximização da eficiência dos combustíveis) e planejamento urbano.

Xue et al. (2015) analisam estratégias de mitigação na cidade de Xiamen, na China, através de um modelo que estima os impactos dessas emissões na saúde pública. O cenário até 2025 prevê controle do número de veículos particulares e melhoria da infraestrutura de transporte, políticas de controle do consumo de combustível, promover maior utilização de combustíveis alternativos, aumento dos impostos sobre combustíveis e aumentar a utilização de biocombustível.

4. Metodologia

A comparação dos artigos permite a criação de um quadro com as principais estratégias de mitigação das emissões de CO₂, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa, no transporte rodoviário. São analisados 28 estudos, de 1997 a 2015, que tratam das diversas estratégias aplicadas.

A fim de facilitar a análise das medidas, dividiu-se em dois grupos, sendo o primeiro referente às políticas públicas, ou seja, medidas que devem ser tomadas pelos governantes dos países,

estados ou cidades, e o segundo ao desenvolvimento tecnológico, ou seja, quais avanços da tecnologia permitem reduzir emissões de CO₂ à atmosfera.

Quadro 2: Principais estudos relativos às estratégias de mitigação de emissão de CO₂.

Bibliografia Consultada	Estratégias de Mitigação das emissões de CO ₂																				
	Políticas Públicas													Tecnologia							
	Maior utilização de combustíveis alternativos	Investimento em desenvolvimento urbano / Planejamento urbano	Promover o transporte público	Gerenciamento ativo do tráfego de veículos na rodovia e demanda de transportes	Estagnação do volume absoluto de veículos de transporte	Linhas rápidas de ônibus (BRT)	Aumento dos impostos sobre combustível	Renovação da Frota	Substituição por modais que emitam menos	Reduzir viagens desnecessárias (melhoria logística)	Regulamentação dos países quanto à emissão	Incentivo às bicicletas e caminhadas	Uso racional dos veículos (eco-driving)	Aumentar a ocupação dos veículos de passageiros	Política de controle de consumo de combustíveis	Melhoria tecnológica dos veículos e motores	Aumentar a eficiência dos combustíveis	Investimento em trens de alta velocidade	Trem urbano	Adaptação inteligente da velocidade	Sistema automotivo da via
Michaelis (1997)	x			x												x					
El-Fadel e Bou-Zeid (1999)		x					x									x					
Pradhan et al. (2006)	x				x																
Lu et al. (2007)		x		x	x		x						x		x	x					
Cai et al. (2008)	x					x										x					
McCollum e Yang (2009)	x			x												x					
Yan e Crookes (2009)	x				x		x									x					
Woodcock et al. (2009)				x												x					
Uherek et al. (2010)	x	x			x						x					x	x				
Nesamani (2010)	x	x	x													x					
Dulal et al. (2011)		x	x									x									
Ong et al. (2011)	x		x					x													
Pinheiro (2012)									x												
Nygrén et al. (2012)																x					
Liu et al. (2013)	x																	x	x		
Solis e Sheinbaum (2013)		x					x			x							x				
He e Chen (2013)	x																				
Chollacoop et al. (2013)	x															x					
Lang et al. (2013)	x																				
Streimikiene et al. (2013)	x			x									x			x					
Heinrichs et al. (2014)	x															x					
Guo et al. (2014)		x	x							x											
Chavez-Baeza e Sheinbaum-Pardo (2014)	x		x				x									x	x				
Gilpin et al. (2014)	x																				
Kolosz e Grant-Muller (2015)				x															x	x	
Liu et al. (2015)	x		x													x					
Georgopoulou et al. (2015)	x	x	x				x		x												
Xue et al. (2015)	x	x			x		x							x							
TOTAL	19	9	7	6	5	4	3	3	2	1	1	1	1	1	1	15	4	1	1	1	1

Fonte: Os autores.

Alguns autores sugerem um maior grupo de estratégias, como Lu et al. (2007) com 7

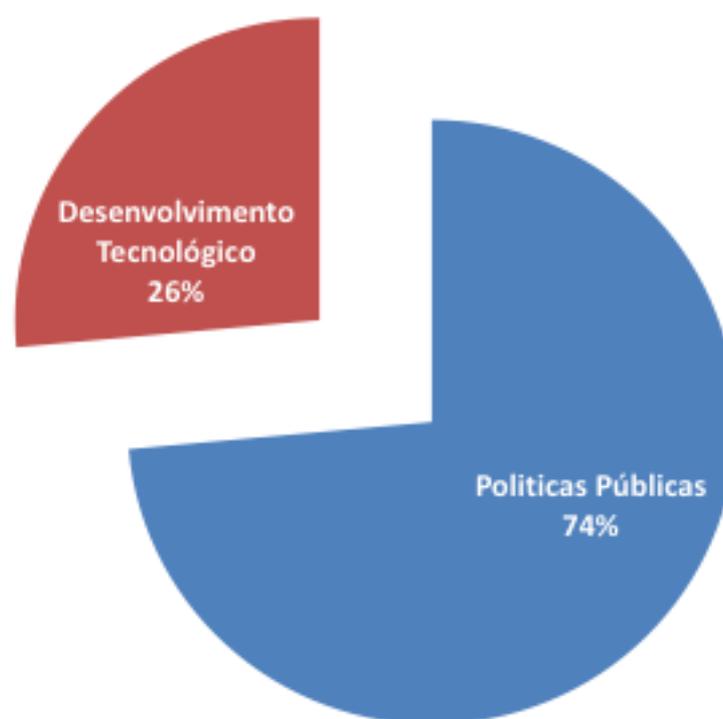
sugestões, seguido de Uherek et al. (2010) com 6 e Chavez-Baeza e Sheinbaum-Pardo (2014), Georgopoulou et al. (2015) e Xue et al. (2015) com 5. Desses autores, a maioria das estratégias são relativas ao grupo de políticas públicas. Os demais artigos propõem 4 ou menos medidas.

5. Resultados e discussões

5.1. Resultados

O quadro referencial, apresentado no Quadro 1, permite concluir que os 28 estudos propuseram 21 estratégias distintas, sendo 15 relativas às políticas públicas e 6 ao desenvolvimento tecnológico. O primeiro grupo apresenta o maior número de citações, no total de 64, enquanto o segundo apresenta pouco mais de um terço dessas citações, 23.

Gráfico 1 – Citações dos estudos divididas por grupos.



Fonte: Os autores.

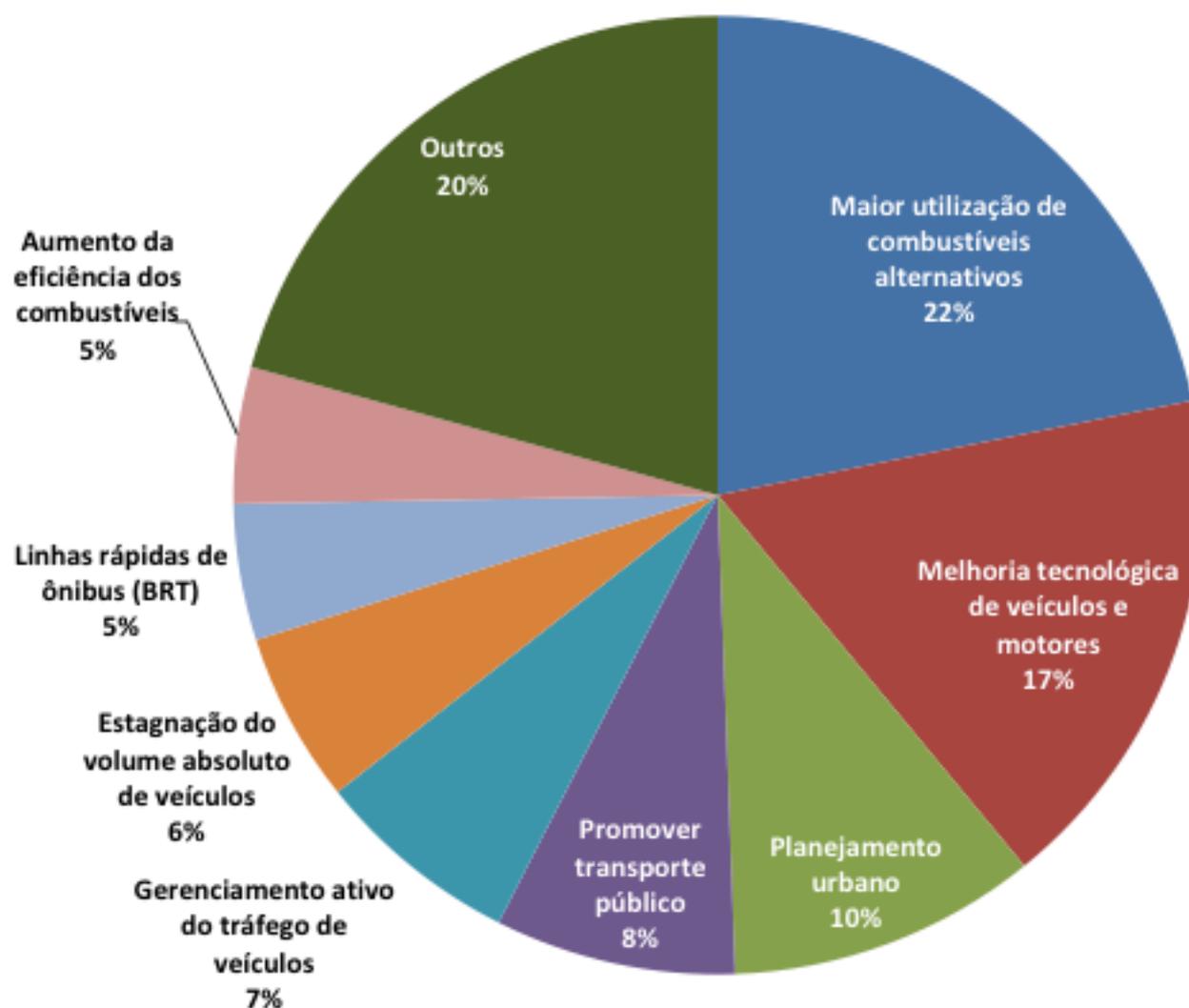
Em relação ao primeiro grupo, três estratégias se destacam pela indicação dos autores: aumentar a utilização de combustíveis alternativos (19 citações), investir em planejamento urbano (9 citações) e promover maior utilização do transporte público (7 citações). As duas primeiras mostram-se presentes em todo o período analisado, enquanto a última está mais concentrada nos últimos 5 anos. Seis estratégias foram citadas apenas uma vez, sendo apenas uma nos últimos dois anos (política de controle de consumo de combustíveis), o que pode demonstrar inovação em sua aplicação.

O planejamento urbano, também conhecido por *city logistics*, é um processo de planejamento integrado para distribuição de carga urbana, baseado em um sistema de aproximações (integração), que promovem esquemas inovadores e reduzem o custo total (econômicos, sociais e ambientais) das movimentações dentro das cidades. Para essa redução são estabelecidas parcerias entre os setores público e privado, objetivando menores deslocamentos e menor número de viagens (Thompson, 2003).

No segundo grupo uma estratégia se destaca com 15 citações, sendo acompanhando por outras menos representativas: melhoria tecnológica dos motores dos veículos, que significa reduzir suas emissões e aumentar sua eficiência. Desde 1997 a estratégia tem se mostrado presente nos estudos analisados. Neste grupo quatro estratégias foram citadas uma única vez, sendo duas delas em 2015 (adaptação inteligente da velocidade e sistema automotivo da via).

De forma global não foi possível notar, em nenhum dos dois grupos, uma concentração das estratégias em determinado período de tempo. A maioria delas está distribuída por todo o período analisado, o que demonstra que são medidas recorrentes no passar do tempo.

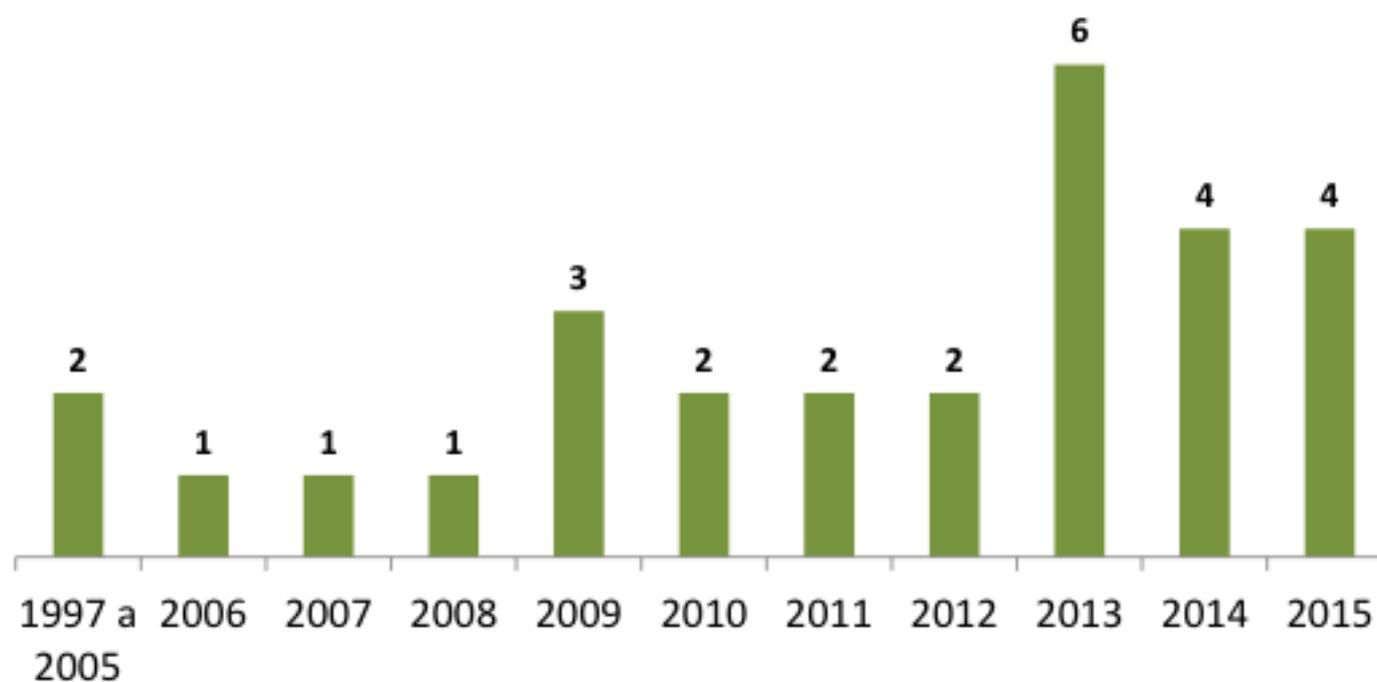
Gráfico 2 – Estratégias de mitigação mais utilizadas.



Fonte: Os autores.

Os artigos selecionados estão concentrados nos últimos sete anos, sendo 82% deles de 2009 até 2015. Dessa forma é possível notar como o assunto ganha representatividade a cada ano, tornando-se foco para os autores da área, sendo 4 artigos já publicados no ano de 2015.

Gráfico 3 – Número de artigos publicados por ano.



5.2. Discussões

Uma questão conflitante quanto às emissões do transporte rodoviário é que o desenvolvimento econômico de um país e o conseqüente aumento do poder aquisitivo da população, implica em maior emissão de CO₂. Isso ocorre porque são comprados carros mais potentes que consomem mais combustível, há maior transporte de bens de consumo, aumenta o deslocamento de pessoas, dentre outros fatores (Pradhan et al., 2006).

Em linha com o crescente aumento de veículos e, conseqüentemente, do consumo de combustível, a substituição por combustíveis alternativos é uma estratégia de grande importância, reduzindo as emissões de CO₂. Outra medida muito citada nos estudos é a melhoria tecnológica destes veículos, que, através de investimento em P&D, viabiliza maior eficiência e menor consumo.

Outro ponto que deve ser levado em consideração quando se trata de aplicar estratégias para mitigar as emissões são as barreiras para implementá-las. Dois entraves principais são analisados (Yan e Crookes, 2009): o país, politicamente, deve estar de acordo com a intenção de reduzir as emissões e os alto custo de P&D para melhoria de performance dos motores de veículos. A necessidade de grandes investimentos ao se adotar algumas estratégias, como a melhoria da infraestrutura já construída na região, também é um assunto de grande relevância (Georgopoulou et al., 2015).

6. Conclusões e sugestões de novas pesquisas

6.1. Conclusões

A aplicação de estratégias para mitigar as emissões de gases do efeito estufa é de grande importância para a melhoria da qualidade de vida da população e, por isso, é um tema muito relevante nos dias atuais. De todas as alternativas analisadas neste estudo algumas chamam a atenção pelo grau de dificuldade em serem adotadas e outras pelo custo. Uma questão importante é avaliar a custo-benefício que cada uma trará para o local, no menor período, priorizando as de maior benefício, menor custo e possíveis de serem aplicadas no curto prazo.

Estas análises podem viabilizar a estruturação de novas políticas públicas governamentais como os limites de emissão de CO₂ para veículos novos a partir de determinado ano de fabricação. Além disso, os resultados podem incentivar a população a adotar medidas simples de controle como, por exemplo, a maior utilização do transporte público em detrimento do veículo particular ocupado por apenas um passageiro, ou mesmo carona solidária, o que já permite reduzir um ou mais veículos.

6.2. Estudos futuros

Para estudos futuros a sugestão é construir e aplicar, para um determinado contexto geográfico (município, estado, dentre outros) uma ferramenta que consolide todas as estratégias de mitigação, analisando sempre sua relação custo-benefício e as medidas que trarão resultados em menor prazo. A segunda etapa é analisar as reduções de CO₂ através de três cenários possíveis: provável, otimista e pessimista. O artigo proposto por Solís e Sheinbaum (2013) sugere o cálculo da redução das emissões de forma desagregada, dividindo entre transporte de passageiros e cargas.

Para a análise dos custos de cada solução de redução de emissões, os estudos de McKinsey and Co e Borken-Kleefeld et al., apud Uherek (2010) promovem uma estimativa nas reduções com base no custo do barril de petróleo. Quanto maior for esse custo, mais rápido é o retorno nos

Referência

- Cai, W., Wang, C., Chen, J., Wang, K., Zhang, Y. & Lu, X. (2008). Comparison of CO₂ emission scenarios and mitigation opportunities in China's five sectors in 2020. *Energy Policy*, 36, 1181-1194.
- Chavez-Baeza, C. & Sheinbaum-Pardo, C. (2014). Sustainable passenger road transport scenarios to reduce fuel consumption, air pollutants and GHG (greenhouse gas) emissions in the Mexico City Metropolitan Area. *Energy*, 66, 624-634.
- Chollacoop, N., Saisirirat, P., Sukkasi, S., Tongroon, M., Fukuda, T., Fukuda, A. & Nivitchanyong, S. (2013). Potential of greenhouse gas emission reduction in Thai road transport by ethanol bus technology. *Applied Energy*, 102, 112-123.
- Dulal, H. B., Brodnig, G. & Onoriose, C. G. (2011). Climate change mitigation in the transport sector through urban planning: A review. *Habitat International*, 35, 494-500.
- El-Fadel, M. & Bou-Zeid, E. (1999). Transportation GHG emissions in developing countries. The case of Lebanon. *Transportation Research Part D*, 4, 251-264.
- Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Gakis, N., Hontou, V., Lalas, D. P., Steiner, D., Tuerk, A., Fruhmann, C. & Pucker, J. (2015). Lessons learnt from a sectoral analysis of greenhouse gas mitigation potential in the Balkans. *Energy*, 1-15.
- Gilpin, G., Hanssen, O. J. & Czerwinski, J. (2014). Biodiesel's and advanced exhaust aftertreatment's combined effect on global warming and air pollution in EU road-freight transport. *Journal of Cleaner Production*, 78, 84-93.
- Guo, B., Geng, Y., Franke, B. Hao, H., Liu, Y. & Chiu, A. (2014). Uncovering China's transport CO₂ emission patterns at the regional level. *Energy Policy*, 74, 134-146.
- He, L. Y. & Chen, Y. (2013). Thou shalt drive electric and hybrid vehicles: Scenario analysis on energy saving and emission mitigation for road transportation sector in China. *Transport Policy*, 25, 30-40.
- Heinrichs, H., Jochem, P. & Fichtner, W. (2014). Including road transport in the EU ETS (European Emissions Trading System): A model-based analysis of the German electricity and transport sector. *Energy*, 69, 708-720.
- Kolosz, B. & Grant-Muller, S. (2015). Extending cost-benefit analysis for the sustainability impact of inter-urban Intelligent Transport Systems. *Environmental Impact Assessment Review*, 50, 167-177.
- Lang, J., Cheng, S., Zhou, Y., Zhao, B., Wang, H. & Zhang, S. (2013). Energy and Environmental Implications of Hybrid and Electric Vehicles in China. *Energies*, 6, 2663-2685.
- Liu, W., Lund, H. & Mathiesen, B. V. (2013). Modelling the transport system in China and evaluating the current strategies towards the sustainable transport development. *Energy Policy*, 58, 347-357.
- Liu, Z., Li, L. & Zhang, Y. J. (2015). Investigating the CO₂ emission differences among China's transport sectors and their influencing factors. *Natural Hazards*, 77, 1323-1343.
- Mccollum, D. & Yang, C. (2009). Achieving deep reductions in US transport greenhouse gas emissions: Scenario analysis and policy implications. *Energy Policy*, 37, 5580-5596.
- Michaelis, L. (1997). Transport sector-strategies markets, technology and innovation. *Energy Policy*, 25, 1163-1171.
- Moore, F.C. & Diaz, D.B. (2015). Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Climate Change*. V. 5 (feb), 127-131.
- Nesamani, K. S. (2010). Estimation of automobile emissions and control strategies in India.

Science of the Total Environment. V. 408, 1800-1811.

Nygrén, N. A., Lyytimäki, J. & Tapio, P. (2012). A small step toward environmentally sustainable transport? The media debate over the Finnish carbon dioxide-based car tax reform. *Transport Policy*. V. 24, 159-167.

Ong, H. C., Mahlia, T. M. I. & Masjuki, H. H. (2011). A review on emissions and mitigation strategies for road transport in Malaysia. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. V. 15, 3516-3522.

Pinheiro, M. A. (2012). *Estimativa da redução das emissões gases de efeito estufa através da intermodalidade no setor sucroenergético: uma aplicação de programação linear*. Tese de Doutorado, USP, Piracicaba.

Pradhan, S., Ale, B. B. & Amatya, V. B. (2006). Mitigation potential of greenhouse gas emission and implications on fuel consumption due to clean energy vehicles as public passenger transport in Kathmandu Valley of Nepal: A case study of trolley buses in Ring Road. *Energy*. V. 31, 1748-1760.

Sampaio, R. F. & Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. V. 11(1), 83-89.

Skeie, R. B., Fuglestvedt, J., Berntsen, T., Lund, M. T., Myhre, G. & Rypdal, K. (2009). Global temperature change from the transport sectors: Historical development and future scenarios. *Atmospheric Environment*. V. 43, 6260-6270.

Solís, J. C. & Sheinbaum, C. (2013). Energy consumption and greenhouse gas emission trends in Mexico road transport. *Energy for Sustainable Development*. V. 17, 280-287.

Streimikiene, D., Balezentis, T. & Balezentien, L. (2013). Comparative assessment of road transport Technologies. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. V. 20, 611-618.

Thompson, R. G. (2003). *AusLink green paper submission, Freight and Logistics Group*, Department of Civil and Environmental Engineering. The University of Melbourne.

Uherek, E., Halenka, T., Borken-Kleefeld, J., Balkanski, Y., Berntsen, T., Borrego, C., Gauss, M., Hoor, P., Juda-Rezler, K., Lelieveld, J., Melas, D., Rypdal, K. & Schmid, S. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport. *Atmospheric Environment*. V. 44, 4772-4816.

Woodcock, J., Edwards, P., Tonne, C., Armstrong, B. G., Ashiru, O., Banister, D., Beevers, S., Chalabi, Z., Chowdhury, Z., Cohen, A., Franco, O. H., Haines, A., Hickman, R., Lindsay, G., Mittal, I., Mohan, D., Tiwari, G., Woodward, A. & Roberts, I. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet*. V. 374, 1930-1943.

Xue, X., Ren, Y., Cui, S., Lin, J., Huang, W. & Zhou, J. (2015). Integrated analysis of GHGs and public health damage mitigation for developing urban road transportation strategies. *Transportation Research Part D*. V. 35, 84-103.

Yan, X. & Crookes, R. J. (2009). Reduction potentials of energy demand and GHG emissions in China's road transport sector. *Energy Policy*. V. 37, 658-668.

1. Universidade Federal Fluminense, carvalho.mariana@ymail.com

2. Universidade Federal Fluminense, glima@id.uff.br

3. Universidade Federal Fluminense, mafcaldas@gmail.com
