

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA CONDIÇÃO DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS URBANOS NA GERAÇÃO DE EMISSÕES VEICULARES

Victor Cardoso Oliveira
Vitor Midauar Gondim Rocha
Verônica Teixeira Franco Castelo Branco

Departamento de Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

Uma boa qualidade do ar é almejada pela sociedade, porém o funcionamento de diversos setores considerados necessários ao estilo de vida atual gera elevadas quantidades de poluentes tóxicos à saúde do planeta e de seus habitantes. Os meios de transportes possuem uma grande parcela de contribuição nos elevados níveis de emissão de poluentes atmosféricos. Além de outros fatores, o comportamento do motorista e a infraestrutura viária contribuem, mesmo que indiretamente, para uma maior ou menor emissão desses gases. Este trabalho se propôs e investigar como acontece essa dinâmica, correlacionando velocidades e qualidade da camada de revestimento com os níveis de emissão veiculares gerados na cidade de Fortaleza-CE. Os gases foram coletados no escapamento do veículo com equipamento embarcado e a irregularidade longitudinal através de aplicativo de *smartphone*. Percebeu-se que o dióxido de carbono é o gás que mais se correlaciona com a qualidade e o ciclo de condução dos veículos nas vias da cidade avaliada.

ABSTRACT

The good air quality is desired by society, but the functioning of several sectors considered necessary for the current lifestyle generates high amounts of pollutants toxic to the health of the planet and its inhabitants. The means of transport have a large contribution to the high levels of air pollutant emissions. In addition to other factors, driver behavior and road infrastructure contribute, even if indirectly, to a greater or lesser emission of these gases. This work proposed and investigated how this dynamic happens, correlating speeds and quality of the coating layer with the vehicle emission levels generated in the city of Fortaleza-CE. The gases were collected in the vehicle's exhaust with on-board equipment and the longitudinal irregularity through a smartphone application. It was noticed that carbon dioxide is the gas that most correlates with the quality and driving cycle of vehicles on the roads of the city evaluated.

1. INTRODUÇÃO

Os pilares da sociedade sustentável são destacados desde a conferência mundial das nações unidas, no Rio de Janeiro, em 1992. Busca-se utilizar os recursos naturais disponíveis de forma ecologicamente correta, economicamente viável e socialmente mais justa, no intuito de permitir a existência das futuras gerações (Boareto, 2008).

Os sistemas de transportes propiciam a movimentação de cargas e pessoas, é evidente sua importância socioeconômica para um país. Porém, o setor se destaca, negativamente, pela sua significativa contribuição aos níveis de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE); nos EU estes correspondem a cerca de 26% das emissões, e, na Europa, o modo rodoviário é responsável por 72% do consumo energético do setor no continente (Ziyadi *et al.*, 2018; EEA, 2017).

Os combustíveis predominantes ainda são de origem fóssil. Este é o fator mais determinante para o destaque negativo do setor. Contudo, outros aspectos têm impacto nos padrões elevados de poluição. Nos grandes centros urbanos, evidencia-se o tráfego e a qualidade da infraestrutura como fatores que potencializam a má qualidade do ar.

A qualidade do revestimento das vias de uma cidade afeta no conforto ao rolamento, na

segurança viária e nas condições de tráfego. Maiores tempos de viagem e elevação nos custos de manutenção dos veículos são transtornos causados aos usuários quando o pavimento não passa por manutenções adequadas. Além dos problemas citados, a qualidade dos revestimentos pode influenciar na elevação dos níveis de emissão atmosférica veicular. O presente trabalho tem como objetivo principal investigar essa relação, isto é: entre as características da superfície do revestimento e os níveis de emissões asfálticas.

Para avaliar como se realiza essa dinâmica na cidade de Fortaleza-CE, foram analisadas algumas vias da cidade. Utilizou-se o Índice Internacional de Irregularidade (do inglês: *International Roughness Index* – IRI) para avaliar a qualidade dos revestimentos e um equipamento embarcado (*on-board*) no escapamento do veículo para a coleta das emissões dos poluentes. O objetivo principal é analisar a relação entre a qualidade do revestimento urbano e o ciclo de condução no padrão de emissão de dióxido de carbono (CO₂) e de óxidos de nitrogênio (NO_x). Este trabalho visa contribuir no refino do plano de ação de manutenções da infraestrutura da cidade, além de promover a logística verde na escolha de rotas urbanas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção, será apresentado o conceito de Irregularidade Longitudinal de pavimentos, realçando sua importância na avaliação da qualidade da via. Pretende-se tratar como os *smartphones* podem ser utilizados na coleta do IRI. Posteriormente, anseia-se proporcionar uma discussão da literatura sobre a emissão de poluentes no setor de transportes e explicar como acontece essa dinâmica nos veículos. Por fim, serão descritos os métodos mais utilizados para a coleta de emissão veiculares.

2.1. Índice Internacional de Irregularidade

O IRI avalia a qualidade do pavimento longitudinalmente. Conceitualmente, este é o conjunto dos desvios da superfície do pavimento em relação ao plano de referência (DNIT, 2006). Ressalta-se que o índice é estatístico, geralmente expresso em m/km, e, é utilizado como ferramenta de controle de obras e aceitação de serviços de diversos países tais como Japão e Suécia (Bernucci *et al.*, 2007). O IRI, na entrega da obra, deve possuir valores mais baixos e a tendência natural é de aumento do índice com o passar dos anos. Na Figura 1 ilustra-se o padrão de evolução do IRI com o tempo.

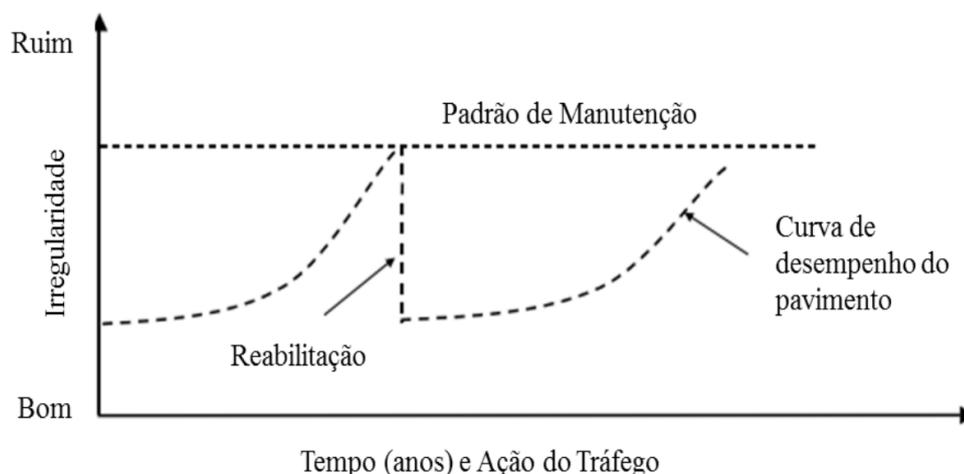


Figura 1 - Variação do IRI com a vida útil do pavimento.
Fonte: Adaptado de Kerali, Odoki e Stannard (2000).

O IRI é o índice mais frequentemente utilizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em substituição a outros índices também utilizados na avaliação da serventia, tais como: Valor de Serventia Atual (VSA), Levantamento Visual Contínuo (LVC), Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE), Índice de Estado da Superfície (IES) e Índice de Condição do Pavimento Flexível (ICPF) (DNIT, 2006).

O DNIT (2011) cita o programa *Highway Development and Maintenance* (HDM-4) ao apresentar os limites para classificação, em termos de qualidade de IRI. Porém, o mesmo trabalho utiliza outras faixas de classificação como referência para a classificação do IRI (Almeida, 2018). A Tabela 1 ressalta essa diferença conceitual.

Tabela 1 – Comparativo HDM-4 e DNIT (2011)

Condições de Trafegabilidade	HDM-4 (m/km)	(DNIT, 2011) (m/km)
Boa	$IRI \leq 2$	$IRI \leq 2,7$
Regular	$2 < IRI \leq 4$	$2,7 < IRI \leq 3,5$
Ruim	$4 \leq IRI \leq 6$	$3,5 < IRI \leq 5,5$
Péssimo	$6 < IRI$	$5,5 < IRI$

Fonte: Almeida (2018)

2.2. Medição do IRI

A irregularidade pode ser medida por meio de levantamentos topográficos, com o uso de equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato com a superfície, ou ainda indiretamente avaliada por equipamentos do tipo resposta, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação a suspensão (Bernucci *et al.*, 2007). Essa terminologia se deve ao fato desses equipamentos medirem mais o efeito da irregularidade sobre os veículos e passageiros do que propriamente a irregularidade da via (Almeida, 2018).

2.2.1 Smartphones e sensores móveis como ferramentas na avaliação de pavimentos.

Pesquisadores têm estudado o uso de *smartphones* para avaliação funcional de pavimentos, principalmente na determinação da irregularidade longitudinal, pois esses equipamentos possuem baixo custo, fácil operação e alta produtividade (Bisconsini, 2016). A técnica utiliza um sistema de medição do tipo resposta, aferindo as acelerações verticais sofridas pelo *smartphone*. Apesar de não ser um sistema convencional que mede a acumulação dos deslocamentos entre a carroceria e o eixo traseiro dos veículos, a técnica é mais eficaz quando se procura uma maior acurácia e conveniência no levantamento. Esta é classificada como Classe III, como indicado na Figura 2 (Tomiyama *et al.*, 2012).

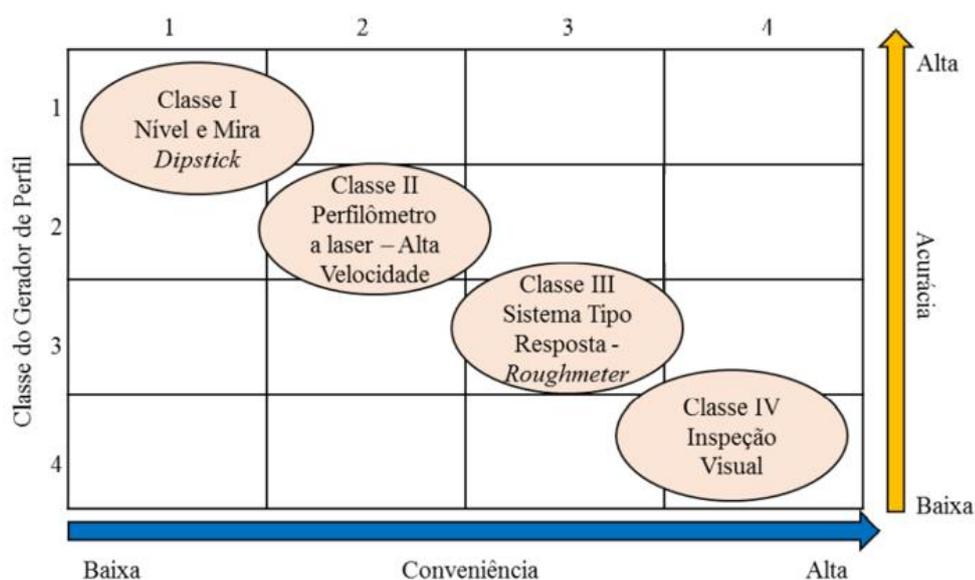


Figura 2 – Classes de medição de IRI.
Fonte: Tomiyama *et al.* (2012).

Neste trabalho, utilizou-se o aplicativo comercial *Total Pave* (2019). A Figura 3 exibe a interface do aplicativo bem como a etapa inicial de calibração. O aplicativo fornece ao usuário um mapa com cores mostrando os trechos de acordo com sua classificação de qualidade e planilha de dados brutos.



Figura 3 – Interface e calibração do aplicativo
Fonte: Manual demonstrativo *Total Pave* (2018)

2.3. Emissão de Poluentes Atmosféricos Veiculares e Seus Efeitos na Saúde e no Meio Ambiente.

Os congestionamentos, nos centros urbanos, são causados devido as grandes concentrações de veículos nesses locais. Contudo, além dos contratempos como maiores tempos de viagem, este tipo de condução, leva a emissão de poluentes oriundos de queima incompleta dos combustíveis. Os principais poluentes encontrados em centros urbanos são monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HPA), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), aldeídos e Material Particulado (MP) (Drumm *et al.*, 2014).

A saúde das pessoas é ameaçada por compostos tóxicos presentes no ar. A fumaça fotoquímica oxidante (*smog*) está mais presente nesse tipo de ambiente, pois esta é formada por reações químicas com hidrocarbonetos, radicais livres e luz solar (Vallero, 2008). O Material Particulado (MP) é resultado da combustão incompleta dos combustíveis, produzido em maior proporção em motores a diesel, sendo pouco expressivo em motores a gasolina (Quintanilha, 2017). Na Tabela 2 pode-se observar as consequências na saúde e no meio ambiente desses poluentes gerados pelo setor de transportes.

Tabela 2 – Efeitos dos poluentes atmosféricos na saúde e no meio ambiente

<i>Poluente</i>	<i>Efeitos na Saúde</i>	<i>Efeitos no Meio Ambiente</i>
CO ₂	Asma e bronquite, aumento das crises de asma e dor precordial (desconforto torácico), limitação funcional, doenças cardiovasculares	Poluição do ar, chuva ácida, intensificação do efeito estufa.
CO	Dor de cabeça leve, perda de consciência e, quando em altas concentrações, óbito.	-
NO _x	Ardência nos olhos e mucosas, além de atingir o sistema respiratório. Em casos mais graves, a inalação do gás pode causar hemorragia, insuficiência respiratória e levar ao óbito.	Formação de chuva ácida e <i>smog</i> fotoquímico, e destruição da camada de ozônio.
SO _x	Irritação nos olhos, problemas cardiovasculares, respiratórios e óbito.	Formação de chuva ácida.
MP	Acúmulo nas vias respiratórias, e complicação de quadros de asma e doenças cardiovasculares.	Danos a vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo.
HC	Anemia, náuseas, vômito, distúrbios de consciência, convulsões, letargia e câncer.	Formação do ozônio troposférico e intensificação do efeito estufa.

Fonte: Quintanilha (2017)

2.4. Métodos de Coleta dos Poluentes

Para avaliar os impactos das emissões veiculares, é preciso quantificar os poluentes. Os métodos de coleta mais usuais são: teste de bancada (dinamômetro); sensoriamento remoto e testes com uso de instrumento embarcado (*on-board*) (Cassiano, 2016).

2.4.1. Dinamômetro

No dinamômetro as medidas são extraídas a partir de ciclos de condução, em ambiente controlado (laboratório), logo sua principal limitação é desconsiderar os efeitos do tráfego e da via na condução. Outro entrave deste método é o modo de coleta dos gases de forma contínua ao longo do escapamento, alguns autores criticam a agregação dos dados, que fornece resultados de concentração totais e impossibilita a obtenção de emissões instantâneas (Bosch, 2005; Grieshop *et al.*, 2012; Li; Chen; Yan, 2013; Franco *et al.*, 2013; Cassiano, 2016). Além disso, a diluição dos gases ocorre em uma proporção que pode variar entre 1:5 e 1:10, com um sistema de bombas que garante que o fluxo volumétrico formado pelos gases do escapamento e pelo ar seja constante (Quintanilha, 2017).

2.4.2. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto permite a leitura massiva, pois mede a proporção de poluentes nos gases do escapamento através de ondas de infravermelho ou espectrometria em ultravioleta (Quintanilha, 2017). Apesar de conseguir resultados mais numerosos, o sensoriamento remoto é sensível às mudanças meteorológicas, além disso é mais eficiente para locais específicos, perdendo a eficácia em locais próximos a interseções e vias com várias faixas de tráfego (Frey *et al.*, 2003; Goncarslaw e Rhys-Tyler, 2013).

2.4.3. Instrumento embarcado

O equipamento embarcado (*on-board*) elimina as limitações dos métodos anteriormente citados, haja vista que as condições reais de operação dos veículos são consideradas sob quaisquer condições meteorológicas e de tráfego (Cassiano, 2016). Equipamentos para medições *on-board* são chamados de PEMS (*Portable Emissions Measurement System*). Os PEMS consistem de analisadores de gases portáteis, GPS, medidores e controladores de fluxo e o *On-Board Diagnostic* (OBD), tudo isso garante a coleta dos dados necessários para a determinação dos níveis de poluição dos veículos testados (Gonçalves e Farias, 2005; Rubino *et al.*, 2007; Kousoulidou *et al.*, 2013).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho desenvolveu-se na cidade de Fortaleza-CE e as 6 vias analisadas estão expostas e numeradas na Tabela 3. Buscou-se escolher algumas vias coincidindo com o trabalho de Quintanilha (2017). A autora realizou as coletas de emissão dos gases CO₂ e NO_x em diversas vias da cidade com o objetivo de analisar os impactos do uso do solo.

Tabela 3 – Vias estudadas e suas respectivas classificações.

VIA	CLASSIFICAÇÃO
(1) Av. 13 de Maio	Arterial
(2) Av. Virgílio Távora	Arterial
(3) Av. Jovita Feitosa	Coletora
(4) Rua Tibúrcio Cavalcante	Coletora
(5) Rua Érico Mota	Local
(6) Rua Vicente Linhares	Local

Fonte: Autores

3.1. Coleta dos poluentes

O método escolhido para realizar a coleta dos poluentes foi através do sistema portátil de emissão, PEMS. O fluxo de funcionamento é iniciado após a partida no carro. Após o processo de combustão, os gases do escapamento são redirecionados para o analisador de gases e a sonda Pitot. O término do processo é realizado quando os gases são liberados para o meio ambiente. Simultaneamente a este processo são obtidos dados mecânicos do veículo e a localização do mesmo através da entrada OBD (Cassiano, 2016; Quintanilha, 2017). A Figura 4 mostra esquematicamente o processo mencionado.

3.3. Correlação das variáveis

A partir dos dados de emissões e do veículo (mecânicos) fornecidos, elaboraram-se gráficos e traçaram-se correlações com as variáveis: CO₂, NO_x e velocidade, no intuito de simular o comportamento do veículo no tempo, e no espaço, ao longo da via. Acrescentou-se o IRI para buscar identificar se os trechos com maiores irregularidades têm correlação positiva com os padrões de emissão. A Figura 6 ilustra as etapas metodológicas seguidas neste trabalho.

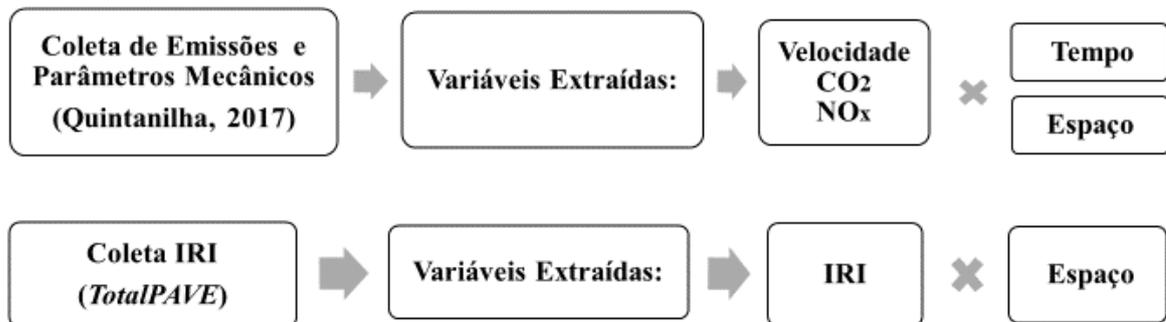


Figura 6 – Etapas metodológicas.
Fonte: Autores.

4. RESULTADOS

Inicialmente, incluiu-se a variável CO₂ (g/s) no ciclo de condução (velocidade x tempo), a Figura 7 mostra o resultado gráfico para (1) Av. 13 de Maio – Ida. Na Tabela 3 mostram-se as correlações entre a taxa de emissão de CO₂ (g/s) e velocidade instantânea (m/s) para todas as vias avaliadas no presente estudo. Visualmente, percebe-se que existe uma correlação positiva entre as variáveis.

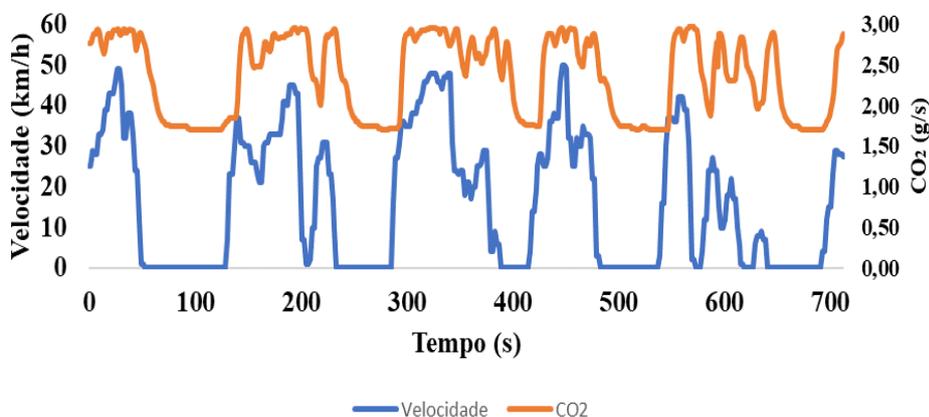


Tabela 4 - Correlações
Velocidade x CO₂

Vias	(R)	(R ²)
1Ida	0,78	0,61
1Volta	0,79	0,62
2	0,84	0,72
3Ida	0,83	0,68
3Volta	0,81	0,67
4	0,91	0,83
5	0,93	0,87
6	0,79	0,62

Fonte: Autores

Figura 7 – Ciclo de Condução e Taxa de Emissão de CO₂ na Av. 13 de Maio – Ida

Fez-se o mesmo para a emissão de NO_x (g/s) como ilustrado na Figura 8. Contudo, diferente do comportamento encontrado para a via anterior, foram encontrados picos de emissão em locais com diferentes velocidades. Na Tabela 5, mostram-se as correlações para todas as vias analisadas.

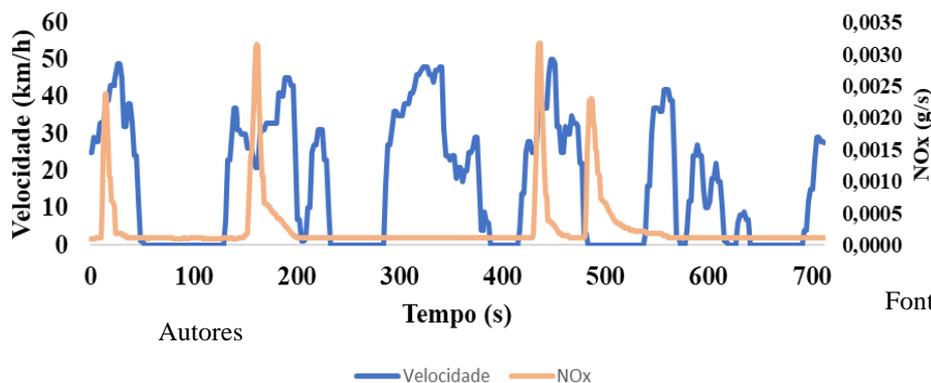


Tabela 5 – Correlações Velocidade x NOx

Vias	(R)	(R ²)
1 Ida	0,43	0,19
1 Volta	0,47	0,22
2	0,66	0,43
3 Ida	0,28	0,08
3 Volta	0,60	0,37
4	0,42	0,18
5	0,63	0,39
6	0,61	0,38

Fonte:

Fonte: Autores

Figura 8 – Ciclo de Condução e Taxa de Emissão de NO_x na Av. 13 de Maio – Ida

No intuito de analisar a correlação entre as variáveis de emissão, comparou-se a taxa de emissão de ambas no tempo como exibido na Figura 9. Nota-se visualmente que não há uma relação entre ambas, pois o NO_x tem seus picos em pontos específicos como já mencionado. Nestes pontos provavelmente ocorreu a combustão incompleta do combustível utilizado. A Tabela 6 traz os resultados de correlação para todas as vias estudadas.

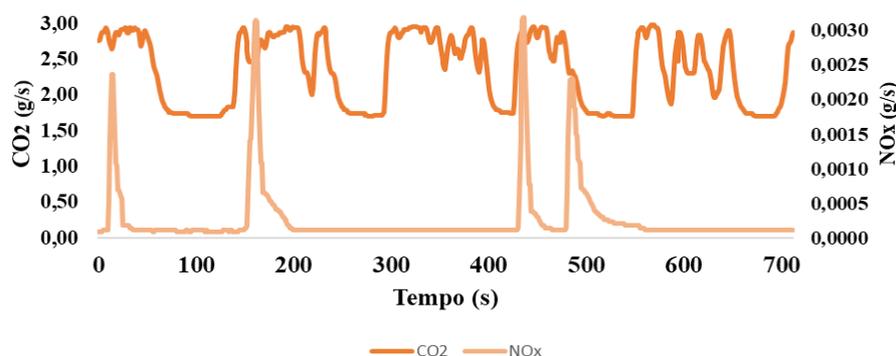


Tabela 6 – Correlações CO₂ x NOx

Vias	(R)	(R ²)
1 Ida	0,51	0,26
1 Volta	0,53	0,28
2	0,73	0,53
3 Ida	0,43	0,18
3 Volta	0,64	0,41
4	0,49	0,24
5	0,64	0,40
6	0,70	0,48

Fonte: Autores

Figura 9 – Taxa de CO₂ e NO_x emitida na Av. 13 de Maio - Ida

O IRI é um parâmetro obtido em trechos, e, no aplicativo *TotalPAVE*, há uma variação nos tamanhos dos seguimentos analisados. Eliminaram-se os trechos mais discrepantes em termos de extensão, conservando aqueles com aproximadamente 100m. Equiparou-se com o total de CO₂ e NO_x emitido em cada trecho. As Figuras 10a e 10b exibem os resultados do IRI comparados aos gases CO₂ e NO_x, respectivamente. Na Tabela 7, os resultados para todas as vias estudadas são apresentados, nota-se novamente que a emissão de CO₂ possui uma correlação mais forte, chegando a R²=0,90 (via 3-ida), com a irregularidade longitudinal da via.

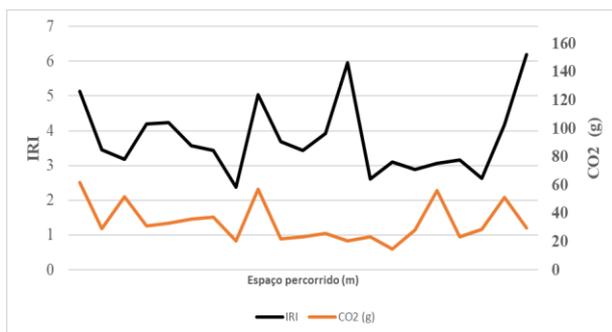


Figura 10a – IRI x CO₂ – Via 1 ida

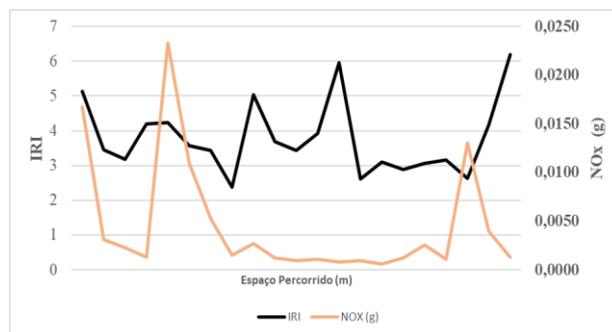


Figura 10b – IRI x NO_x – Via 1 ida

Tabela 7 – Correlações IRI x CO₂ e NO_x

Vias	IRI x CO ₂		IRI x NO _x	
	R	R ²	R	R ²
1 Ida	0,91	0,84	0,55	0,31
1 Volta	0,59	0,35	0,69	0,48
2	0,81	0,66	0,71	0,50
3 Ida	0,95	0,90	0,90	0,82
3 Volta	0,90	0,80	0,69	0,47
4	0,80	0,64	0,51	0,26
5	0,86	0,74	0,58	0,34
6	0,88	0,78	0,79	0,62

Fonte: Autores

5. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou analisar se a condição de superfície, através do IRI, possui influência no padrão de emissão de gases veiculares. Além disso, procurou-se verificar se o ciclo de condução contribui nesse fenômeno de poluição.

Quando se analisou o ciclo de condução com o padrão de emissão, percebeu-se, para os dados de CO₂, uma maior dependência da velocidade desenvolvida pelo veículo, ou seja, velocidades maiores tendem a maiores níveis de emissão deste poluente. O mesmo comportamento citado não se pode afirmar para o NO_x, o poluente apresentou correlações baixas com o ciclo de condução em todas as vias analisadas. É necessária uma análise mais pontual para precisar o(s) motivo(s) dos picos de emissão, em pontos específicos, para o NO_x. Segundo Cassiano (2016) o principal mecanismo formador de NO_x é o térmico, neste trabalho não foram realizadas medidas de temperatura do moto.

É interessante evidenciar que mesmo quando o veículo possui velocidade estática os gases continuam sendo emitidos ao meio ambiente, como esperado, haja vista que o motor continua realizando trabalho. Ressalta-se que o CO₂ existe no ar atmosférico como um componente natural e não se enquadra como poluente, em relação a emissões oriundas de veículos automotores, porém sabe-se que este contribui para o efeito estufa pois absorve a radiação infravermelha (Cassiano, 2016).

Com relação à irregularidade longitudinal do pavimento, nota-se que as correlações com o CO₂ são fortes, com exceção de uma via, as demais obtiveram R entre 0,8-0,9. Visualmente, percebe-se uma tendência semelhante nos gráficos do IRI x CO₂. Novamente, as correlações com o poluente NO_x foram fracas na maioria dos trechos analisados.

Deve-se ressaltar a limitação na coleta de dados, pois a coleta da qualidade do revestimento fez-se em meses posteriores a de emissão realizada por Quintanilha (2017). Neste caso as ruas estavam sujeitas a alterações no seu revestimento.

Este trabalho se ateve a investigar o padrão de emissão em vias urbanas, para trabalhos futuros seria interessante eliminar a variável relativa ao tráfego, desenvolvendo o estudo em zonas de trânsito livre. Neste cenário, será possível avaliar a influência mais direta da irregularidade longitudinal no padrão de emissão dos veículos, com o desenvolvimento de velocidades constantes ao longo do percurso.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Professor Bruno Bertoncini, Demostenis Cassiano e Wendy Quintanilha pelo fornecimento dos dados de emissão e sugestões. A agência FUNCAP pelo apoio através de bolsa concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernucci, L. B. *et al.* (2007). *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro, v. 504.
- Bisconsini, D. R. (2016). *Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2016.
- Boareto, R (2008). *A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis*. revista dos transportes públicos - ANTP - ano 30/31 – 2008. Campus universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal, 2008.
- Bosch, R (2005). *Manual de tecnologia automotiva*. 25 ed. São Paulo: edgard blücher. 1232p., 2005.
- Goncarslaw, D. C. e Rhys-Tyler, G. (2013). *New insights from comprehensive on-road measurements of nox, no2 and nh3 from vehicle emission remote sensing in London, UK*. Atmospheric environment, v. 81, n. 2, p. 339–347, 2013.
- Cassiano, D. R. (2016). *Avaliação das emissões poluentes de um veículo flex em percurso real urbano e rodoviário no Ceará*. 2016. 143 f. Dissertação (mestrado acadêmico em ciências físicas aplicadas) – universidade estadual do Ceará, Fortaleza, 2016.
- DNIT (2006). *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2006.
- DNIT (2011). *Manual de Gerência de Pavimentos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2011.
- Drumm, F. C.; Gerhardt, A. E.; Fernandes, G. D.; Chagas, P; Sucolotti, M. S. e Kemerich, P. D. C. (2014) *Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores*. Reget, v. 18, p. 66–78, 2014
- EEA (2017). *Final energy consumption by sector and fuel*. European environment agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-final-energy-consumption-by-mode/assessment-10> acesso em 24-07-20
- Franco, V.; Kousoulidou, M.; Muntean, M.; Ntziachristos, L; Hausberger, S. e Dilara, P (2013). *Road vehicle emission factors development: a review*. Atmospheric environment, v. 70, p. 84–97, 2013.
- Frey, H. C.; Unal, A.; Roupail, N. M. e Colyar, J. D (2003). *On-road measurement of vehicle tailpipe emissions using a portable instrument*. Journal of the air & waste management association (1995), v. 53, n. 8, p. 992–1002, 2003.
- Gonçalves, G e Farias, T(2005). *On-road measurements of emissions and fuel consumption of gasoline light duty vehicles*. Clean air 2005, Lisboa, Portugal, 2005.
- Grieshop, A. P.; Boland, D.; Reynolds, C. C. O.; Gouge, B.; Apte, J. S.; Rogak, S. N. e Kandlikar, M (2012). *Modeling air pollutant emissions from Indian autorickshaws: model development and implications for fleet emission rate estimates*. Atmospheric Environment, v. 50, p. 148–156, 2012.

- Kousoulidou, M.; Fontaras, G.; Ntziachristos, L.; Bonnel, P. Samaras, Z. e Dilara, P(2013). *Use of portable emissions measurement system (pems) for the development and validation of passenger car emission factors*. Atmospheric Environment, v. 64, n. X, p. 329–338, 2013.
- Li, T.; Chen, X. e Yan, Z (2013). *Comparison of fine particles emissions of light-duty gasoline vehicles from chassis dynamometer tests and on-road measurements*. Atmospheric Environment, v. 68, p. 82–91, 2013.
- Quintanilha, W. F. L (2017). *Análise de consumo de combustível e emissão de poluentes de veículos flex fuel em diferentes tipos de via na cidade de Fortaleza – Ceará*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2017.
- Rocha, V. M. G (2019). *Influência da qualidade do revestimento asfáltico na emissão de poluentes de um veículo leve em Fortaleza – CE*. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.
- Rubino, L.; Bonnel, P.; Hummel, R.; Krasenbrink, A e Manfredi, U (2007). *Mobile measurement of pollutant emissions and fuel consumption of road vehicles in real-world driving situations using portable emission measurement systems (PEMS)*. December 2007.
- Tomiyama, K.; Kawamura, A.; Nakajima, S.; Ishida, T. e Jomoto, M. (2012). *A Mobile Profilometer for Road Surface Monitoring by Use of Accelerometers*. Japan. 2012.
- Total Pavé (2019). *Pavement Management for the 21st Century*. University of New Brunswick. CA.
- Vallero, D. A (2008). *Fundamentals of air pollution*. 4. Ed. San Diego: Elsevier inc., 2008.
- Ziyadi, M.; Hasan Ozer; Seunggu Kang e Imad Al-Qadi (2018). *Vehicle energy consumption and an environmental impact calculation model for the transportation infrastructure systems*. Department of civil and environmental engineering, University of Illinois at urbana-champaign. Journal of Cleaner Production. US, 2018.

Victor Cardoso Oliveira (victoroliveira@det.ufc.br)

Vitor Midauar Gondim Rocha (midauar@gmail.com)

Verônica Teixeira Franco Castelo Branco (veronica@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará

Av. Mister Hull, s/n – Pici. Campus do Pici, Bloco 703 - Fortaleza – CE, Brasil