

Análise de Emissão de Gases NO_x e CO de um Motor Ciclo Diesel em Diferentes Temperaturas e Rotações

Fábio S. Gomes, Marcio J. Dias, Wander L. B. e Sousa, Antônio C. B. Neto & Sueli M. F. Alves

O controle de emissão dos gases expelidos pelos veículos automotores é ponto passivo de preocupação dos governos mundiais nos seus órgãos ambientais. Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar a emissão dos gases de descarga expelidos pelo motor ciclo diesel de um trator agrícola. Para tanto, foram aferidas as medições dos índices dos gases (dióxido de carbono ou gás carbônico – CO₂ e Óxido de Nitrogênio - NO_x), considerando o funcionamento do motor em 5 rotações diferentes e duas temperaturas sendo: abaixo de 60° C e entre 60° a 80° C. Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva, pelo método do delineamento experimental inteiramente casualizado com parcelas subdivididas. Pode-se observar que variação da rotação do motor não influenciou nos níveis de emissão dos gases CO e NO_x, enquanto que a alteração da temperatura de trabalho do motor apenas influenciou o nível de emissão do CO.

Palavras-Chave: *combustão interna; poluição atmosférica; efeito estufa.*

Control of exhaust emissions by motor vehicles is a passive point of interest for world governments in their environmental bodies. Therefore, this study aims to evaluate the emission of exhaust gases driven by the diesel cycle of an agricultural tractor. Measurements of the gas indices (carbon dioxide or carbon dioxide - CO₂ and NO_x) were taken into account, considering the operation of the engine in 5 different rotations and two temperatures being: below 60 ° C and between 60 ° to 80 ° C. The data were analyzed using descriptive statistics, using the completely randomized experimental design method with subdivided plots. It can be observed that the variation of the engine speed did not influence the emission levels of the CO and NO_x gases, while the change in the working temperature of the engine influenced only the emission level of the CO.

Keywords: *internal combustion; atmospheric pollution; greenhouse effect.*

Introdução

A queima de combustíveis fósseis representa grande parte das emissões de gases que contribui para o efeito estufa (dióxido de carbono ou gás carbônico – CO₂ e Óxido de Nitrogênio - NOx), em que a gasolina polui menos que o óleo diesel, devido aos hidrocarbonetos existentes em sua composição serem mais leves que os existentes no diesel. Dos três combustíveis de maior comercialização no Brasil (diesel, gasolina e etanol), o etanol vem sendo considerado o menos prejudicial ao meio ambiente, pois além de ser um combustível de fonte renovável, produz, em média, 25% menos de monóxido de carbono (CO), 35% menos óxido de nitrogênio (NO) quando comparado à gasolina, e ainda emite 70% menos CO₂. Portanto, o diesel é o combustível que mais polui e corresponde por 53% das emissões de CO₂, além de possuir alta concentração de enxofre^{12, 15}.

A frota brasileira, incluindo: carros de passeio, caminhões, ônibus e motocicletas passou de 9,3 milhões de veículos em 1980 para 38,2 milhões em 2009 – aumento de 310,7%. Estima-se, atualmente, que a frota do país já ultrapassou mais de 55 milhões de veículos. As emissões de CO₂ do transporte rodoviário passaram de 65 milhões de toneladas para 167,1 milhões de toneladas (aumento de 156,6 %) ¹².

A normatização de emissões de gases de descarga teve início na década de 1985, com a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores, o (PROCONVE). Este órgão foi constituído com o objetivo de mensurar limites para reduzir os níveis de emissão de gases e partículas nocivos emitidos por veículos automotores, focando assim nos padrões de qualidade do ar atmosférico ⁷.

A proposta para diminuição da poluição é apresentada por diversos pesquisadores sendo a substituição da gasolina pelo álcool, seguindo de investimentos em logística para substituir parte do transporte rodoviário pelo ferroviário e marítimo. No entanto, existe uma crescente busca por equipamentos que utilizam o sistema diesel visto que, o consumo desse combustível em veículos, especialmente de grande porte, é consideravelmente menor quando

comparado aos motores movidos a gasolina e álcool. O fator econômico é levado em consideração pela escolha dos proprietários de veículos, mesmo tendo consciência de que a queima desse combustível emite em maior proporção dos particulados CO e CO₂, que são responsáveis pelo efeito estufa⁴.

O CO resultante da combustão incompleta dos combustíveis não somente contribui para a poluição atmosférica, como também representa uma perda de energia, sobretudo quando as temperaturas de combustão são muito baixas ou muito altas. Como os investimentos em sistemas alternativos de transporte não estão colocados como prioridade pelos governos federal e estaduais, a solução seria investir em tecnologia na produção dos motores ciclo diesel, proporcionando melhor eficiência na queima desse combustível, conseqüentemente, diminuindo a poluição causada pelos veículos automotores^{4,8}.

A temperatura ideal de funcionamento de um motor ciclo diesel deve estar em torno de 80° C, em todos os regimes de trabalho. Essa temperatura tende a subir rapidamente, sendo necessária interligar na entrada do radiador um circuito de arrefecimento para manter a temperatura de trabalho do motor constante e, essa condição dá ao motor uma otimização da queima do combustível⁴.

A realização de estudos comparando o efeito da temperatura ambiente na combustão comprovaram que não houve relação clara entre as emissões de NOX com a temperatura ambiente. Ainda, pode-se afirmar que, quando o motor está totalmente aquecido, existem pequenas diferenças nos gases: HC, CO e NOX¹.

Também em estudos realizou-se a alteração de rotações do motor com o objetivo de comparar o efeito do tráfico automotivo nas emissões de CO, CO₂ e NOX. Foram consideradas rotações baixas (trânsito lento), e rotações elevadas (trânsito com veículos em alta velocidade), a partir do experimento pode-se notar que houve um incremento de 90 % nas emissões de CO, e de 117% nas de NOX³.

Experimentos comparando duas temperaturas de trabalho do motor também foram testados em pesquisas. A medida foi realizada considerando um monitoramento dos gases nos primeiros 505 segundos (temperatura fria), e de

505 a 867 segundos (temperatura quente). Os resultados mostraram que, nos primeiros 100 segundos, o índice de CO representou de 60% das emissões realizada no experimento, justificando, assim, sua alta emissão com temperaturas de trabalho do motor baixa⁶.

Com o objetivo de avaliar as emissões de CO, em um veículo automotor de ignição por compressão, consideraram-se dois percursos: um para trajeto curto (motor frio), e outro trajeto longo (motor quente). A partir do experimento, foi observado que a emissão dos gases, quando o motor estava freio (trajeto lento), foi bastante alta, e à medida que a temperatura foi aumentando, pode-se observar que o índice do particulado CO foi diminuindo. Dessa forma, pode-se concluir que a formação de óxidos de nitrogênio é relacionada a altas temperaturas na câmara^{9,10,11}.

De maneira análoga, considerando com 5 rotações diferentes e duas temperaturas sendo: uma abaixo de 60° C e a outra entre de 60°-80° C, este trabalho tem por objetivo avaliar a emissão de CO e NOX de um motor diesel em um trator agrícola.

Material e Método

O experimento foi realizado na Universidade Estadual de Goiás, Campus UnUCET, Br 153 nº 3.105 - Fazenda Barreiro do Meio, Anápolis (GO). Como objeto de pesquisa, foi utilizado um trator da marca New Holland modelo TT4030, do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, com tração traseira, motor ciclo Diesel, aspirado, sistema de injeção com bomba injetora rotativa, sistema de arrefecimento a água, com quatro cilindros em linha, com capacidade volumétrica de 3908 cm³, potência nominal segundo a NBR 1585 de 55,1 kW (75 cv), rodados equipados com pneus radiais dianteiros e traseiros².

Para avaliar a emissão de gases, utilizou-se um monitor ambiental de combustão e de emissão da marca Kane, modelo 940 portátil, em que este foi acoplado ao escapamento do trator, permitindo a aquisição dos dados. O equipamento utilizado consegue analisar simultaneamente

oito padrões de gases sendo: (O₂ – Oxigênio; CO – Monóxido de Carbono; CO₂ – Dióxido de Carbono; NO – Nóbélio; SO₂ - Dióxido de Enxofre; NOx – Óxido de Nitrogênio e taxas de CO/CO₂), no entanto, este trabalho objetivou o estudo apenas dos gases CO e o NOX. O delineamento experimental adotado para o estudo foi inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, tendo como parcelas as temperaturas, e as subparcelas as rotações do motor.

Consideraram-se para as medições duas temperaturas: T1 e T2, sendo a primeira abaixo de 60° C (T1), e a segunda acima de 60° C (T2). Foram casualizadas, por sorteio, cinco rotações do motor, sendo R1, R2, R3, R4 e R5 com 600, 900, 1200, 1500 e 1800 Rotações Por Minuto (RPM), respectivamente.

A estatística descritiva, por meio da análise exploratória dos dados, foi aplicada tendo como objetivo o conhecimento e a visualização do comportamento das variáveis em estudo a partir dos dados originais. Sendo assim, foi realizada a interpretação gráfica (Box plot), e o teste de normalidade com p-value < 0,05 conforme proposto por Shapiro e Wilk¹⁴.

Para identificação dos Outliers, foi usada a ferramenta ou a técnica Box Plot utilizando o programa R® e a ferramenta suplementar do Excel® (Action – análise estatística descritiva). Após a identificação dos pontos/valores dentro do intervalo dos outliers, foi realizada análise das discrepâncias desta seleção⁵.

Para o conhecimento do comportamento das variáveis em estudo por meio do estudo, foi utilizada a técnica de Shapiro e Wilk, teste de normalidade da distribuição¹⁴.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises das comparações entre as variáveis temperaturas correlacionando-as com gases CO e NOX. Para estudos, foi realizado o teste de significância a 5% a partir dos dados não transformados. Ao realizar o teste de Tukey (dados coletados ou não transformados), pôde-se perceber que as mudanças das temperaturas T1 e T2 influenciaram apenas a emissão do CO portanto, os níveis de emissão do NOX não

Tabela 1. Médias de emissão dos gases CO e NOX sob efeito das duas temperaturas.

Temperaturas	Médias	
	CO	NOX
T 1 (abaixo de 60° C)	738.73 a	100.67 a
T 2 (entre 60° - 80° C)	366.13 b	99.00 a

* As médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. # Médias dos dados não transformados

foram influenciados pela variação das temperaturas.

Os dados originais foram submetidos ao teste de normalidade, conforme proposto por SHAPI-WILK, e pôde ser observado que esses dados não estavam distribuídos conforme a curva de distribuição normal. A fim de estabilizar ou reduzir a variabilidade existentes e normalizar os resíduos, foi realizada a transformação Box-Cox na condição de $1/\sqrt{x}$.

A Tabela 2 apresenta os resultados, a partir dos dados transformados, das análises das comparações entre as variáveis temperatura e rotação para verificação dos gases CO e NOX.

Ao realizar a Análise de Variância dos dados transformados, pôde ser observado que os valores continuavam apresentando diferenças significativas apenas para o gás monóxido de carbono (CO). Ainda, a variável temperatura foi o único fator

que influenciou nos níveis de emissão, sendo que em baixas temperaturas permaneceram maiores médias de emissão do gás CO. Os resultados alcançados foram semelhantes com o trabalho realizado pelos pesquisadores Andrews e colaboradores, em que os estudos relacionaram o efeito da temperatura ambiente (frio) de um motor até o alcance da temperatura de trabalho (quente) ¹.

Com relação ao efeito das rotações por minuto (RPM), os valores observados eram esperados índices significantes para ambos os gases, pois se partia do pressuposto que em altas rotações o índice de emissão reduziria na proporção de aumento das rotações. Provavelmente, possa ser justificado, em parte, que com aumento gradual das rotações a temperatura do motor também subia proporcionalmente, prevalecendo-a como fator predominante. Portanto, sugere-se que em estudos posteriores que sejam trabalhadas maiores variações das rotações com

Tabela 2. Quadro resumo da (ANAVA) - Análise de Variância

FV	G1	Quadrado Médio	
		CO	NOX
TEMP	1	0.001686*	0.0000000901
ERRO 1	4	0.000050	0.000163
ROT	4	0.000022	0.000056
TEMP X ROT	4	0.000026	0.000059
ERRO 2		0.000016	0.000049
TOTAL	29		
CV 1 (%)		15.66	12.67
CV 2 (%)		8.72	6.96
Média geral:		0.045	0.100

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F # Dados transformados pelo método de

$1/\sqrt{x}$

intuito de tirar conclusões mais apuradas.

Conclusões

A temperatura de trabalho do motor mostrou como fator de influência apenas no nível de emissão do gás monóxido de carbono (CO), contudo para o gás oxido de nitrogênio (NOX) não sofreu influência deste fator.

A variação da rotação do motor não mostrou alteração nos níveis de emissão dos gases CO e NOX.

Sugere-se que em estudos posteriores que sejam trabalhadas maiores variações das rotações, a fim de testar a influência dessa variável na emissão de gases expelidos pelos escapamentos de motores ciclo diesel, bem como o efeito dessa variável sobre o aumento da temperatura do motor.

Referências Bibliográficas

1. Andrews, G.E., Zhu, G., Li, H., Simpsom, A., Wylie, J.a., Bell, M. and Tate, J. The Effect of Ambient Temperature on Cold Start Urban Traffic Emissions for a Real World SI Car - Proceedings of SAE 2004 Powertrain & Fluid Systems Conference and Exhibition, Tampa, FL, USA, **2004**.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 1585: Veículos rodoviários – Código de ensaio de motores – Potência líquida efetiva. Rio de Janeiro, **1996**.
3. Basil Daham.; Gordon E. Andrews.; HU LI and Partridge, Mark. Quantifying the Effects of Traffic Calming on Emissions Using On-road Measurements Energy & Resources Research Institute. University of Leeds Margaret C. Bell and James Tate Institute of Transport Studies, University of Leeds Copyright © **2005** SAE International.
4. Carvalho Junior, J.; Lacava, P. Teixeira.; Andrade, João.; Emissões em processos de combustão. São Paulo: Editora UNESP, **2003**. Apostila de Motores de Combustão Interna. Piracicaba, fevereiro de 1997.
5. Estatcamp. Action 2.4.163.322. São Carlos – SP, maio/**2012**. Suplementos do Excel.
6. Holanda, R. Araújo de. Análise das emissões gasosas de um veículo flex funcionando com diferentes combustíveis. Dissertação de mestrado proposto a banca da Universidade Federal do Rio Grande do Norte para obtenção do título de Mestre. Centro de Tecnologia – CT centro de ciências exatas e da terra – ccet programa de pós-graduação em ciência e engenharia de petróleo – ppgcep Natal, dezembro de **2010**.
7. IBAMA. Programa de controle de emissões veiculares (Preconve): Ibama - Ministério do Meio Ambiente: [http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-](http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve)
8. Knapp, M. B. Análise de emissões de gases em motor Diesel comparando com Diesel e Biodiesel. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico. Porto Alegre, **2010**.
9. Koike, G. H. Azevedo.; Lopes, Afonso.; Passarini, L. Carlos.; Camara, L. Tomaz. Emissão dos gases de combustão em motor de ignição por compressão: ensaio comparativo entre diesel, biodiesel e biodiesel com injeção de etanol. José Bonifácio. Minerva, 7(1): 11-18.
10. Manzoli, Anderson. A emissão de CO e HC em trajetos curtos com motor frio. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP Faculdade de Engenharia Civil de Bauru – FEB Instituto de Ensino Superior COC – Ribeirão Preto, **2008**.
11. Miranda, G. Rodrigues.; Lisboa, H. De Melo.; Bazzo, Edson. Avaliação da emissão de CO, NO e NOx na exaustão de motor diesel abastecido com combustível aditivado. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, JUN. **2011**. TECNO-LÓGICA, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 1, p. 05-10, jan./jun. 2011.
12. Petrobrás. Biocombustíveis: 50 perguntas e respostas sobre este mercado. Rio de Janeiro, RJ: Setprint Gráfica e Editora, **2007**.
13. R Development Core Team, R Foundation for Statistic Computing 2010. Conjunto de Programas. 1 CD-ROM.
14. Shapiro, S.s.; Wilk, M.B. Na analysis of variance test for normality (complete sample). Biometrika, London, v.52, n. 3/4, p. 591-611, **1965**.
15. Souza, Líria Alves de. Álcool, Gasolina ou Diesel: qual é o maior poluente? Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/alcool-gasolina-ou-diesel-qual-maior-poluente.htm>>. Acesso em: 14 abr. **2017**.

Fábio S. Gomes¹, Marcio J. Dias^{1*}, Wander L. B. e Sousa¹, Antônio C. B. Neto² & Sueli M. F. Alves²

¹Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, Av. Universitária, km 3,5, Cidade Universitária, Anápolis GO.

² Ciências Exatas & Tecnológicas, UEG. BR 153, Km 98, Anápolis, GO.

*E-mail: marcio.dias@unievangolica.edu.br;