

## **ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS EMISSÕES DE CO E HC PRODUZIDAS POR VEÍCULOS COM MOTORIZAÇÃO A GASOLINA, GNV E MISTURA FLEX**

**FERNANDES, Céilton de Souza, celitonn@hotmail.com<sup>1</sup>**  
**FONTES, Francisco de Assis Oliveira, francisfontes@uol.com.br<sup>2</sup>**  
**BARBOSA, Cleiton Rubens Formiga, cleiton@ufrnet.br<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Marinha do Brasil, Base Naval de Natal, rua Silvío Pélico S/N Alecrim, Natal-RN

<sup>2</sup>UFRN, Campus Universitário S/N, Lagoa Nova, Natal-RN

<sup>3</sup>UFRN, Campus Universitário S/N, Lagoa Nova, Natal-RN

**Resumo:** *O estudo consistiu de uma análise estatística das emissões de CO e HC de uma amostra de veículos com motorização a Gasolina/GNV ou Álcool/Gasolina/GNV do município de Natal-RN com o propósito de avaliar a influência da rotação do motor e do tempo de uso dos veículos sobre essas emissões. Os testes foram realizados em veículos submetidos a inspeção veicular utilizando-se um analisador parcial de gases o qual forneceu os dados para posterior análise estatística com auxílio de software. Essa análise revelou que há uma sensível redução na eficiência dos conversores catalíticos após 6 anos de uso. O resultado de um Teste-T de Student sugere fortemente que a média das emissões de HC (152 ppm), a 900 rpm, é 40% maior que a 2500 rpm, para o motor sem carga. Esse resultado revela que a eficiência da conversão catalítica é limitada cineticamente em baixas rotações. O estudo conclui também que ao comparar as emissões de CO e HC, considerando a influência dos combustíveis, verificou-se que embora as emissões de CO a partir do GNV sejam 62% menores do que a partir da gasolina, não há diferenças significativa entre as emissões de HC oriundas do GNV e da gasolina. Em síntese, os resultados colocam os atuais critérios de inspeção veicular, para gases da exaustão, em dúvida, conduzindo a criação de limites de emissão de poluentes mais rigorosos, visto que a eficiência dos conversores catalíticos é sensivelmente reduzida a partir de 6 anos de uso. Suscita-se também a possibilidade de modificações nas condições de teste adotadas pelas normas atuais, especificamente na rotação do motor, haja vista que na condição sem carga os maiores índices de emissão foram registrados em marcha lenta. Diante disso, sugere-se a dispensa dos testes em altas rotações, reduzindo à metade o tempo de inspeção e gerando economia de combustível.*

**Palavras-chave:** *Análise estatística, Motores, Monóxido de carbon, Hidrocarbonetos, Emissões*

## **2. INTRODUÇÃO**

Atualmente, a literatura é bastante vasta quando se aborda estudos sobre as emissões de gases da exaustão de motores do ciclo Otto a gasolina. Porém, estudos de emissões originadas de motores alimentados com GNV, são um tanto escassos, até mesmo no Brasil que é um dos líderes mundiais no uso desse combustível em sua frota de veículos. Mais incomuns, são as pesquisas que abordam o tema de forma mais quantitativa, ou seja, aquelas que utilizam métodos estatísticos em suas análises exploratórias de dados.

Em face dessa escassez e de publicações que apresentam valores típicos de emissões que desconsideram a natureza da distribuição amostral dos dados, é relevante a elaboração de estudos através de métodos estatísticos que permitam avaliar, de forma mais eficaz, um pacote de dados. De antemão, a análise exploratória de dados realizada neste estudo permitiu, por exemplo, definir quando o motor emitiu mais HC, se na alta ou na baixa rotação.

A abordagem estatística deste trabalho, além de descrever adequadamente os valores típicos das emissões veiculares, permitiu sugerir modificações nos atuais limites de emissões adotados no Brasil, bem como efetuar alterações nas condições de testes a fim de torná-los mais eficientes e rápidos.

### **1.1. Objetivos**

Esse estudo analisou estatisticamente as emissões de Hidrocarbonetos não queimados (HC) e Monóxido de carbono (CO) gerados por uma amostra composta por 384 veículos de passeio, registrados na cidade de Natal-RN, a partir da

análise de gases realizadas no INSPETRANS – Instituto de Pesquisa, Engenharia e Transporte Ltda. As análises foram executadas em veículos bi e tri-combustíveis nas modalidades Gasolina/GNV e Flex/GNV. Na prática efetuou-se a associação da idade dos veículos (Ano-modelo) com as emissões de CO, bem como se comparou as emissões de HC considerando dois níveis de rotação do motor – 900 rpm e 2500 rpm, na condição sem carga.

## 2. METODOLOGIA

As medidas das concentrações dos gases foram obtidas através de um analisador de gases de fluxo parcial com tecnologia de infravermelho não dispersivo da marca Sun; modelo CGS-5500 mostrado na Fig. (1). Ao final de cada análise é gerado um relatório que contém o resultado das medições das concentrações de HC e CO.



Figura 1. Analisador de gases CGS-5500PC

A Figura (2) mostra os principais sensores que são instalados nos veículos para execução das análises de gases. À esquerda o sensor de rotação do motor instalado em um dos cabos de vela e a direita a sonda coletora de gases instalada no escapamento do veículo.

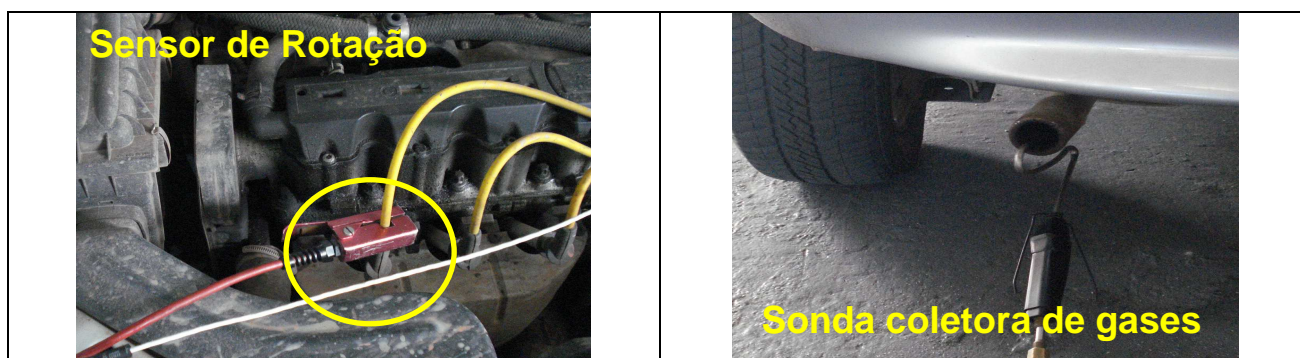


Figura 2. Sensores utilizados na execução dos testes

A Figura (3) resume as etapas do procedimento experimental das análises. Detalhadamente, o procedimento consiste em funcionar o motor do veículo primeiramente usando gasolina ou mistura álcool/gasolina se o veículo for detentor da tecnologia *flexfuel*, inicialmente acelera-se o motor até 2500 rpm por 30 segundos e então é efetuada a análise dos gases oriundos da queima desses combustíveis, neste intervalo de tempo. Em seguida, ainda funcionando com 1º combustível é efetuada uma segunda análise com o motor a 900 rpm. Para finalizar o procedimento, as duas etapas anteriores são realizadas com o motor funcionando com GNV (2º combustível). O processo de aquisição de dados consistiu em digitar os resultados dos relatórios em uma planilha Excel e em seguida exportá-los para o software STATISTICA. Finalmente com o auxílio deste software executou-se uma análise estatística do conjunto de dados extraídos.

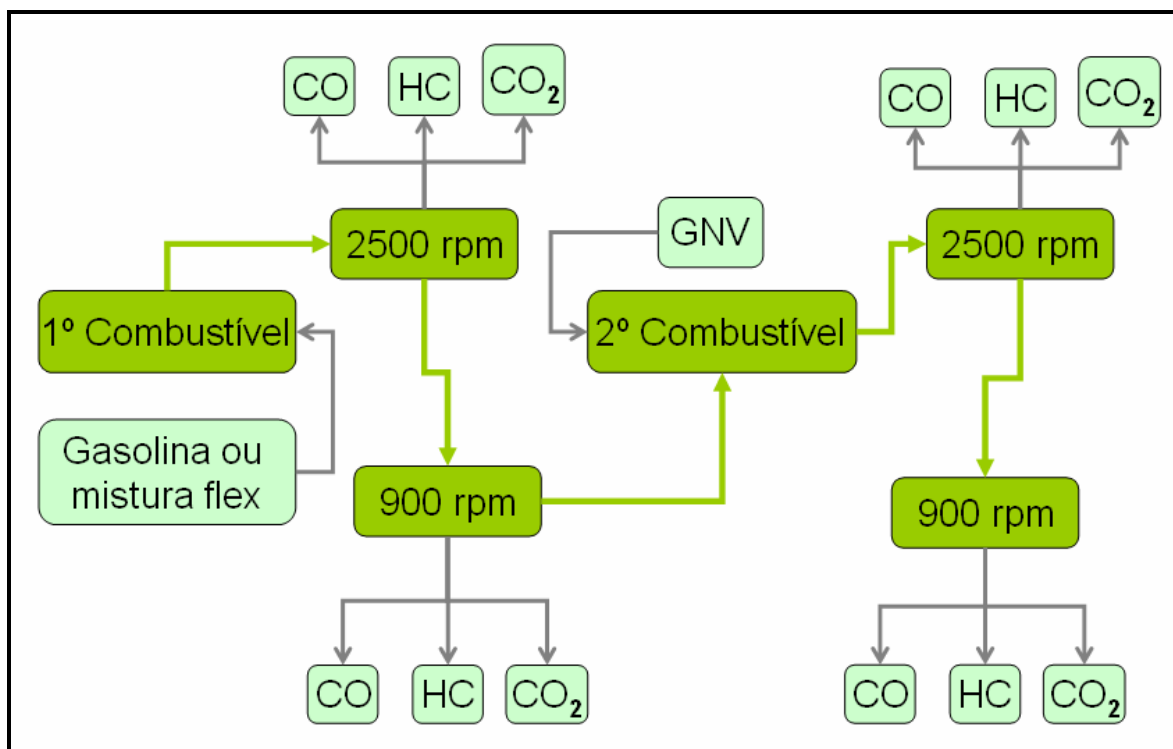
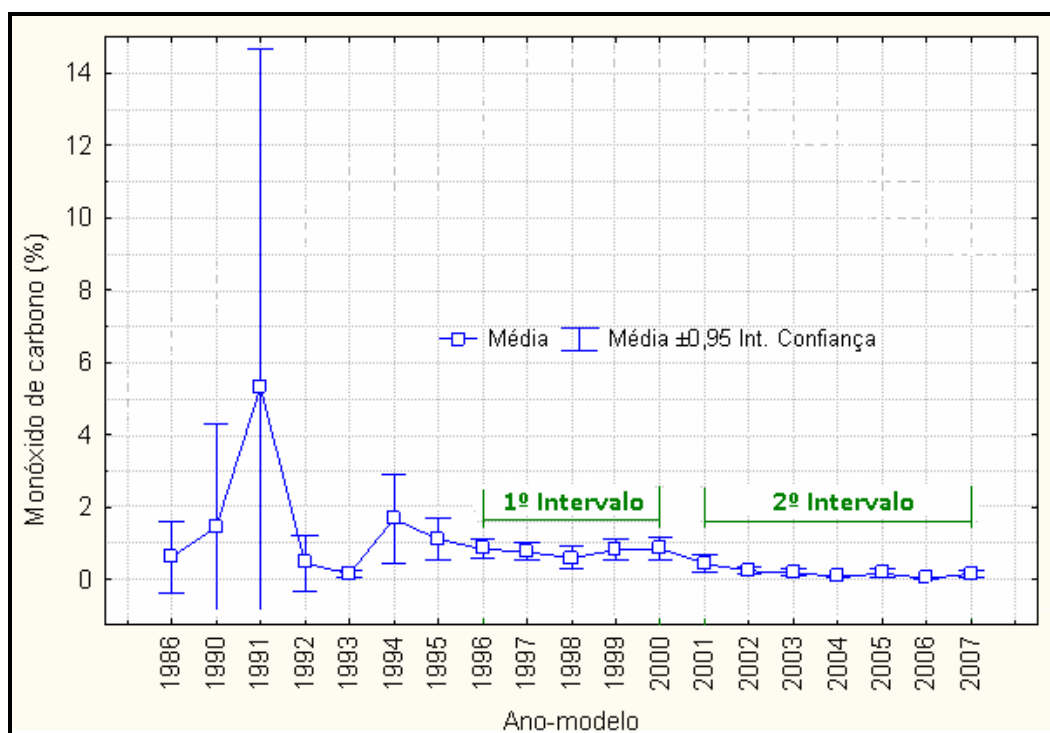


Figura 3. Variáveis de interesse coletadas em cada veículo testado

### 3. RESULTADOS E DISSCUSÃO

#### 3.1. Associação entre idade dos veículos e emissão de CO

Buscando-se uma noção gráfica das médias de emissões em função da idade dos veículos a Fig. (4) apresenta um gráfico de médias das emissões de CO, para todos os veículos em análise, juntamente com a precisão (margem de erro) para um intervalo de 95% de confiança.



**Figura 4. Média de CO em função da idade dos veículos**

Observa-se que para faixa de modelos entre 1996 e 2007 tem-se uma margem de erro muito pequena, isso se deve ao fato de haver um maior número de observações para veículos nesta faixa, visto que a margem de erro depende do número de observações da amostra. Para faixa entre 1986 e 1996, a precisão fica prejudicada pelo baixo número de observações, e muito embora se tenha o intervalo de confiança de 95% não se podem considerar médias com margens de erros acentuados (MOORE, 2002). Adicionalmente, faz-se mister ressaltar que os veículos contidos no intervalo entre 1986 e 1995 na grande maioria são equipados com carburador e sem a presença de catalisador, configurando-se como um viés para análise da amostra global.

Analisando a faixa mais precisa (1996 a 2007) verifica-se a partir da Fig. 4 que há um acréscimo sensível nas médias das emissões entre 1996 e 2001. Com o auxílio de uma análise de variância múltipla de um critério (ANOVA) foi possível confirmar essa evidência. Essa análise constatou uma diferença estatística significativa entre as médias das emissões de CO entre dois intervalos de idade dos veículos: 1º intervalo (1996 a 2000), com emissão média de CO  $\bar{x}=0,77$  e o 2º intervalo (2001 a 2007), com média  $\bar{x}=0,18$ . Em outras palavras, verificou-se que veículos a partir de seis anos de uso emitem um pouco mais de quatro vezes a quantidade de monóxido de carbono que os demais com menos tempo de uso. Esse fato está associado à previsão de vida útil do conversor catalítico que é em torno de 5 anos ou 80000 km (BLUMRICH, 2005).

### 3.2. Emissão de HC e rotação do motor

Esta seção se dedica à investigação da influência da rotação do motor nas emissões de HC. Inicialmente elaborou-se um gráfico de média/erro a fim de se visualizar os níveis de HC versus rotação do motor.

De acordo com a Fig. (5) verifica-se uma média maior para emissões de HC em baixa rotação, os dados evidenciam uma média maior para emissões em baixa rotação, fato que será analisado em seguida por meio do Teste-T de Student para duas amostras dependentes.

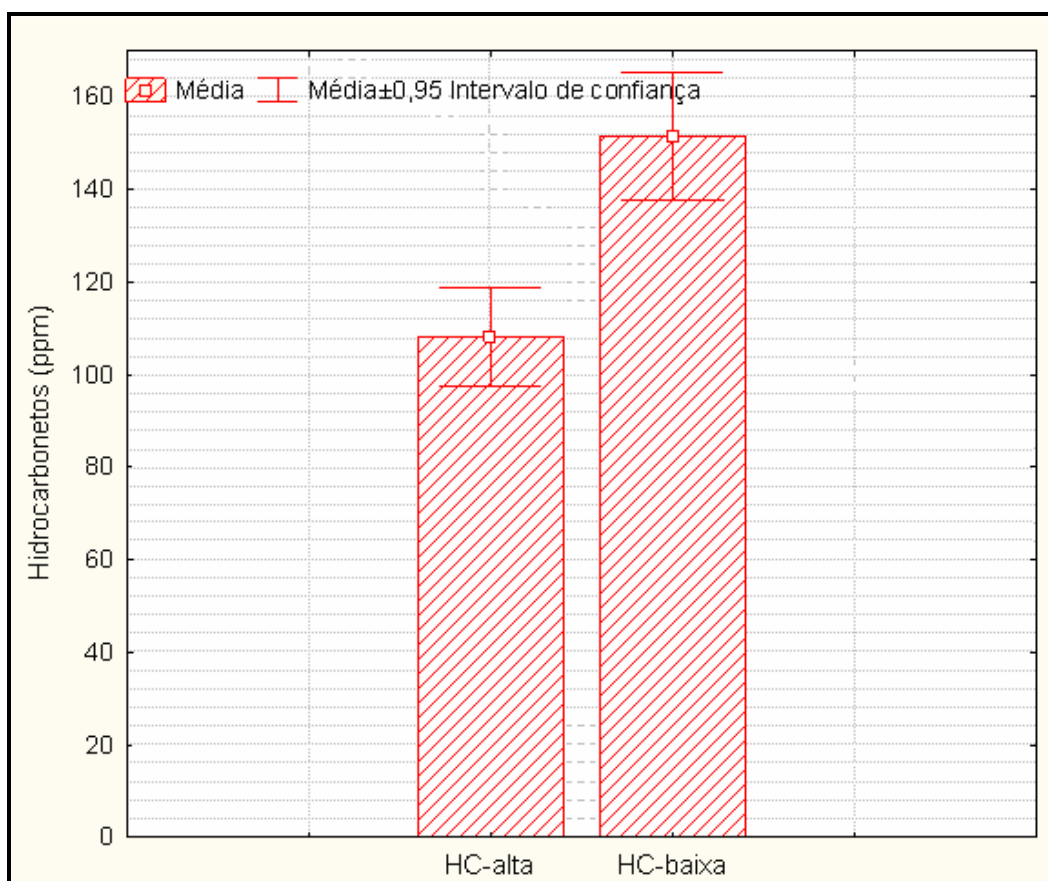


Figura 5. Gráfico de média e margem de erro para CO sob dois níveis de rotação

O resultado de um Teste-T de Student representado pela Tab. (1) sugere fortemente que as emissões de HC em baixa rotação são, em média, aproximadamente 40% maiores do que em alta rotação.

Tabela 1: O resultado do Teste-T de Student para as emissões de HC

<i>Teste T para amostras dependentes – Diferenças são significativas para valores <math>p &lt; 0,05</math></i>								
	Média	DesvPad	N <sup>1</sup>	Diferença	Dif. DesvPad	t <sup>2</sup>	GL <sup>3</sup>	Valor p <sup>4</sup>
<b>HC-alta</b>	108,2107	148,3657						
<b>HC-baixa</b>	151,4791	193,6599	764	-43,2683	217,3819	-5,50166	763	0,000000

<sup>1</sup>Tamanho da amostra; <sup>2</sup>Média amostral padronizada ou estatística  $t$ ; <sup>3</sup>Grau de Liberdade; <sup>4</sup>Probabilidade que evidencia ou não a diferença estatística entre os dados.

Este resultado vem reforçar o que COSTA e SANTOS (2007) afirmam ao dizerem que a conversão catalítica de HC é limitada cineticamente quando o fluxo de massa é reduzido.

### 3.3. Emissão de HC a partir de gasolina, GNV e mistura flex

Em 2008 WINKLER estudou as emissões originadas do GNV e concluiu que as emissões de HC quase exclusivamente se compõem de metano. Nesse sentido foram analisadas as emissões de HC também com o auxílio do gráfico de média/erro Fig. (6) do qual se pode inferir que as médias das emissões de gasolina e GNV se confundem e são em torno de seis vezes a média das emissões provenientes da mistura flex (28 ppm).

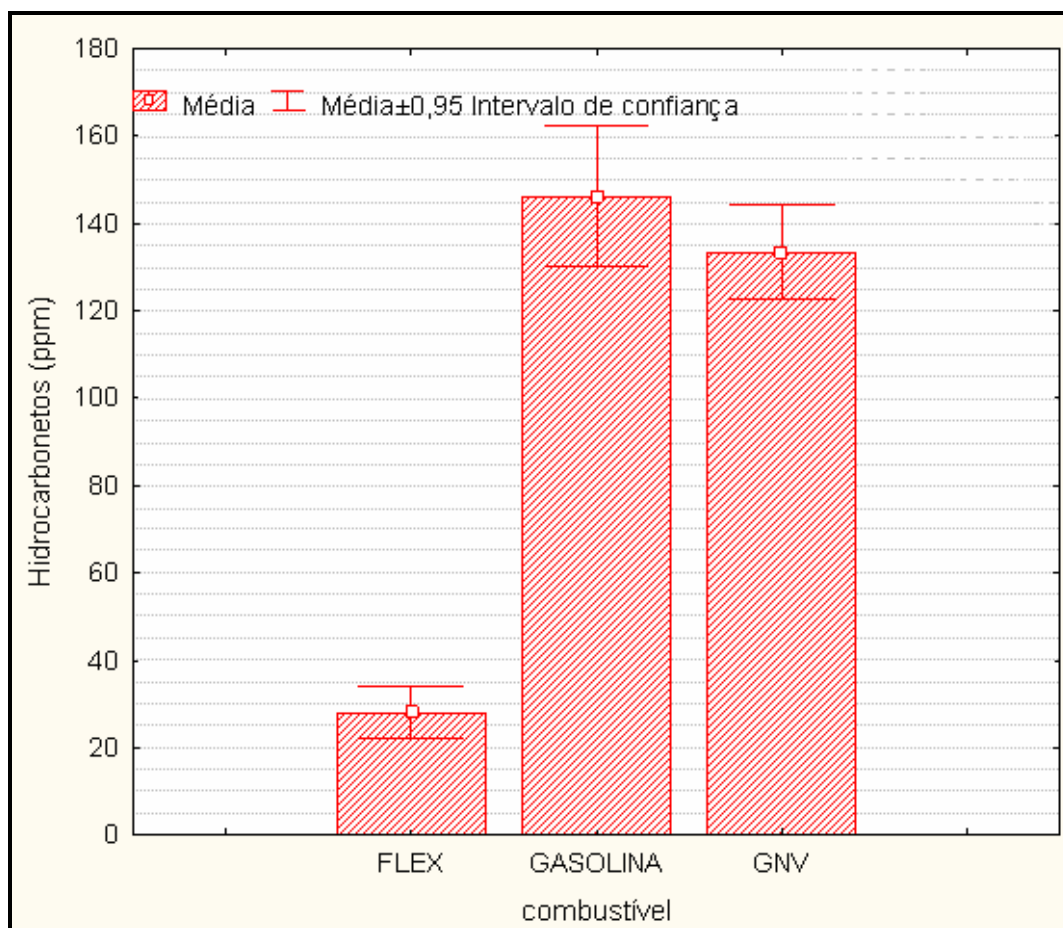


Figura 6. Gráfico de média e margem de erro para HC a partir dos três combustíveis

Ainda com o uso da ANOVA pôde-se concluir que não há diferença estatística significativa entre as médias das emissões de HC tanto para gasolina quanto para o GNV. Isso se explica devido ao fato de o metano – principal componente do GNV – ser um dos hidrocarbonetos mais difíceis para se oxidar cataliticamente. Somando-se a isso o fato das temperaturas dos gases de exaustão de motores a GNV serem mais baixas em comparação a veículos a gasolina, desfavorecendo mais adiante a conversão catalítica (WINKLER, 2008).

#### 4. CONCLUSÕES

As principais conclusões do estudo podem ser assim sumarizadas:

- O resultado do Test-T de Student revelou que há diferença estatística significativa das emissões de HC com o motor entre 900 e 2500 rpm. Em outras palavras, foi constatado que os veículos emitem em torno de 40% a mais de HC a 900 rpm do que a 2500.
- Esse resultado configura uma justificativa para se extinguir a análise de gases em alta rotação, visto que em média o veículo polui 40% a mais em baixa rotação. Em consequência dessa mudança nos procedimentos de análise de gases ocorreria uma economia de combustível, bem como uma redução no tempo de inspeção.
- Ao associar as emissões de CO à idade dos veículos, uma análise de variância múltipla (ANOVA) mostrou que veículos com seis anos de uso em diante emitem um pouco mais de 4 (quatro) vezes a quantidade de CO em comparação com os veículos mais novos.
- O resultado da ANOVA permite suscitar a possibilidade de mudança nos critérios de inspeção veicular no sentido de se tornarem mais rigorosos para veículos a partir de 6 (seis) anos de uso, por causa da sensível redução da eficiência catalítica.
- Muito embora comprovada uma sensível redução na emissão de CO a partir do GNV, o mesmo não ocorre para a emissão de HC. Ao comparar as emissões de Gasolina com as de GNV, a análise de variância (ANOVA) revelou que não há diferença significativa entre as emissões de HC originadas por esses combustíveis.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, bem como ao INSPETRANS – Instituto de Pesquisa, Engenharia e Transporte Ltda. por todo apoio e incentivo no desenvolvimento desse trabalho.

## 8. REFERÊNCIAS

- BLUMRICH, Stephan. Gerente de Tecnologia de Aplicação e Industrial da OMG, principal fabricante de catalisadores automotivos. Catalisador. Entrevista concedida ao site AutoZ.[2005] Disponível em:<http://www.autoz.com.br>
- BOUBEL, Richard W, et al. Fundamentals of Air Pollution. 3ª Edition. San Diego. Califórnia: Elsevier. 1994.
- COSTA, M.; SANTOS, H. Evaluation of the conversion efficiency of ceramic and metallic three way catalytic converters. Energy Conversion & Management. Portugal. 2007
- MOORE, David S; McCABE, George P. Introdução a prática da estatística. 3ª Edição. Rio de Janeiro-RJ. 2002
- WINKLER, Alexander et al. Catalytic activity and aging phenomena of three-way catalysts in a compressed natural gas/gasoline powered passenger car. Applied Catalysis B: Environmental. Switzerland. 2008.

## STATISTICAL ANALYSIS OF CO AND HC FROM GASOLINE ENGINES, CNG AND GASOLINE/ALCOHOL BLEND

FERNANDES, Céilton de Souza, [celitonn@ufrnet.br](mailto:celitonn@ufrnet.br)<sup>1</sup>

FONTES, Francisco de Assis Oliveira, [franciscofontes@uol.com.br](mailto:franciscofontes@uol.com.br)<sup>2</sup>

BARBOSA, Cleiton Rubens Formiga, [cleiton@ufrnet.br](mailto:cleiton@ufrnet.br)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Navy of Brazil, Naval Base of Natal, Silvio Pélico street Alecrim, Natal-RN

<sup>2</sup>Federal University of Rio Grande do Norte, Academical Campus, Lagoa Nova, Natal-RN

<sup>3</sup>Federal University of Rio Grande do Norte, Academical Campus S/N, Lagoa Nova, Natal-RN

**Abstract.** *The study consisted of a statistical analysis of CO and HC FROM A sample of vehicles with Gasoline engine / CNG or Alcohol / Gasoline in the city of Natal-RN in order to evaluate the influence of engine speed and use time of vehicles on such issues. The tests were conducted on vehicles subject to vehicle inspection using a partial gas analyzer which provides data for statistical analysis with the aid of software. This analysis revealed that there is a significant reduction in the efficiency of catalytic converters after 6 years of use. The result of a T-test of Student strongly suggests that the average emissions of HC (152 ppm) at 900 rpm, is 40% higher than 2500 rpm for the engine at idle. This result shows that the efficiency of catalytic conversion is kinetically limited at low speeds. The study also concludes that when comparing the CO and HC, considering the influence of fuel, it was found that although the CO from CNG is 62% lower than from gasoline, no difference was found between the HC emissions come from the CNG and gasoline. In summary, the results put the current criteria for vehicle inspection, to exhaust gases in doubt, leading to establishment of emission limits of pollutants more stringent, since the efficiency of catalytic converters is greatly reduced from 6 years of use. This raises the possibility of changes in test conditions adopted by current standards, specifically in speed engine, considering that in the unloaded condition the highest rates of emission were recorded at slow speed. So, it is suggested that the exemption of tests at high speeds, reducing by half the inspection time and saving money on fuel.*

**Keywords:** *Statistical Analysis, Emissions, Carbon Monoxide, Hydrocarbons, engines*

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos neste trabalho.