

CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

**CETESB - Companhia Ambiental
do Estado de São Paulo**

Biblioteca Profº Drº Lucas Nogueira Garcez
Av. Profº Frederico Hermann Jr., 345 Pinheiros
05459-900 - São Paulo - Brasil
e-mail: biblioteca@cetesbnet.sp.gov.br

UM TRATADO SOBRE VARIABILIDADE EM

ENSAIOS DE EMISSÃO VEICULAR

CETESB - BIBLIOTECA	
CLASS.	8206
AUTOR	S 953 K
NUMERO	041008

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
 Luiz Antonio Fleury Filho
Governador

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
 Édis Milaré
Secretário

CETESB
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
 Nelson Vieira de Vasconcelos
Diretor-Presidente

Antonio Carlos Gomes
Diretor Administrativo e Financeiro

Antonio Martins de Albuquerque
Diretor de Normas e Padrões Ambientais

Carlos Pedro Jens
Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia

José Maria Lopes
Diretor de Treinamento e Transferência de Tecnologia

Lineu Rodrigues Alonso
Diretor de Controle da Poluição de Regiões Metropolitanas

Walter Godoy dos Santos
Diretor de Controle da Poluição do Interior

UM TRATADO SOBRE VARIABILIDADE EM ENSAIOS DE EMISSÃO VEICULAR

Ref.: SAE PAPER 770136 - GM Campo de Provas de Milford/1977

Tradução: Homero Carvalho.

Revisão Técnica: Daniela Maria S. da Cunha.

RESUMO

Neste trabalho são discutidas as principais fontes de variabilidade de um ensaio de emissão veicular pelo escapamento, baseada no Federal Test Procedure 1975. A variabilidade da medição de hidrocarbonetos e monóxido de carbono é afetada significativamente pelo veículo, pelo motorista e condições ambientais do laboratório. Por outro lado, as medições dos óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono são influenciadas mais por diferenças nos ajustes de potência e inércia do veículo no dinamômetro. Contudo, a importância de qualquer outra fonte de variabilidade não pode ser ignorada, especialmente quando é feita uma comparação entre dois ensaios. Este trabalho descreve várias ferramentas de diagnóstico tais como "teste de torque total", "avaliador de motoristas", "correlação com gases de exaustão em saco de amostragem (bag cross check)" e o "veículo padrão", as quais são utilizadas com o propósito de melhorar a correlação entre sistemas de medição estabelecidos em locais diferentes.

Pesquisas foram realizadas sobre veículos cujos níveis de emissão atendem os padrões de 0,41 g/milha (0,26 g/km) para HC; 3,4 g/milha (2,1 g/km) para CO e 2,0 g/milha (1,3 g/km) para NOx. Empregou-se também uma simulação das emissões por computador para determinar as contribuições relativas das diferentes fontes para a variabilidade global. A variabilidade verificada devido a erros de medição e aquela obtida entre veículos é da ordem de $\pm 19\%$ do valor da média para HC, $\pm 33\%$ para CO, $\pm 9\%$ para NOx e $\pm 5\%$ para CO₂. O conceito de variabilidade aqui empregado é definido como 1,96 vezes o coeficiente de variação. A magnitude da variabilidade é variável dependendo das diferenças existentes no sistema global, a qual inclui o veículo, o sistema de medição e as condições operacionais do ensaio.

INTRODUÇÃO

Os ensaios de avaliação de emissões pelo escapamento para a certificação de veículos e o desenvolvimento do sistema de controle de emissão são acompanhados por problemas técnicos muito complexos e interativos. Ao longo dos anos, tanto os procedimentos de ensaio como os padrões de emissão de escapamento, os quais são descritos em detalhes no Federal Register, têm se tornado cada vez mais restritivos e sofreram várias mudanças. Como resultado desta dinâmica, o desenvolvimento dos sistemas de controle de emissões dos veículos para atendimento aos padrões e os sistemas de medição para teste de

campo têm tido desenvolvimento paralelo. De fato, a avaliação do sistema de controle de emissão tem se baseado na credibilidade do sistema de medição. Contudo, nenhuma medição é isenta de alguma variabilidade nos resultados. Os testes de variabilidade nas medições da emissão em massa, é em particular, a área da principal preocupação dos engenheiros de controle de emissões. A variabilidade global é afetada por um número de fontes individuais, às quais contribuem interativamente para sua magnitude. Dependendo deste nível, a variabilidade influencia significativamente a aceitabilidade de um ensaio de emissão.

A incapacidade de reproduzir as medições de emissão pode produzir efeitos de grande abrangência. Por exemplo, os fatores de deterioração da emissão determinados durante o processo de certificação são baseados em ensaios simples de emissão em intervalos de 5.000 milhas, entre a quilometragem de 5.000 e 50.000 milhas.

As retas de mínimos quadrados são ajustadas através destes dados para cada um dos poluentes. A relação entre o valor calculado para 50.000 milhas e o valor de 4.000 milhas fornece o fator de deterioração desejado. A deterioração do sistema estimada desta maneira inclui os efeitos de variabilidade dos ensaios em cada intervalo de quilometragem.

Conhecendo-se os níveis médios de variabilidade para todos os componentes da emissão, a simulação de Monte Carlo de uma amostra de 10 carros demonstrou que uma faixa de fatores de deterioração (por exemplo, 0,699 a 1,687 para CO) pode existir somente devido a variabilidade quando na realidade não houve uma deterioração real do sistema. Portanto, a variabilidade pode mascarar a deterioração real. A análise também indicou que a reta dos mínimos quadrados, através da composição dos dados simulados dos 10 veículos, resultou num fator de deterioração próximo de 1,0.

A variabilidade afeta as estratégias de controle e a seleção de amostras para o programa "Selective Enforcement Audit (SEA)", porque os tamanhos das amostras são funções da magnitude da variabilidade, e dependendo do tamanho da amostra, o desenvolvimento deste programa exigirá elevados recursos.

A variabilidade também afeta os custos de desenvolvimento porque múltiplos ensaios são necessários para definir os méritos de um sistema de controle de emissões. Isto aplica-se tanto ao fabricante quanto ao laboratório de pesquisa. Duas das mais frequentes situações encontradas em ensaios de emissão veicular relacionam-se a:

- a) a incerteza quanto aos níveis de emissão média de um sistema de controle;
- b) a detecção de diferença entre a média das emissões durante a fase de desenvolvimento do sistema.

Ambas situações exigem a realização de muitos ensaios de emissão para garantir um certo grau de confiança nestas avaliações. Sobre as restrições sobre o teste de variabilidade, o número significativo de testes é exigido nos casos acima (figura 1) (7).

Por exemplo, para um nível de confiança de 90% são necessários treze ensaios para determinar o nível de emissão médio dentro de $\pm 5\%$ do seu valor real se a variabilidade ($1,96 \times$ desvio padrão/média) é 20%, tornando este procedimento muito oneroso.

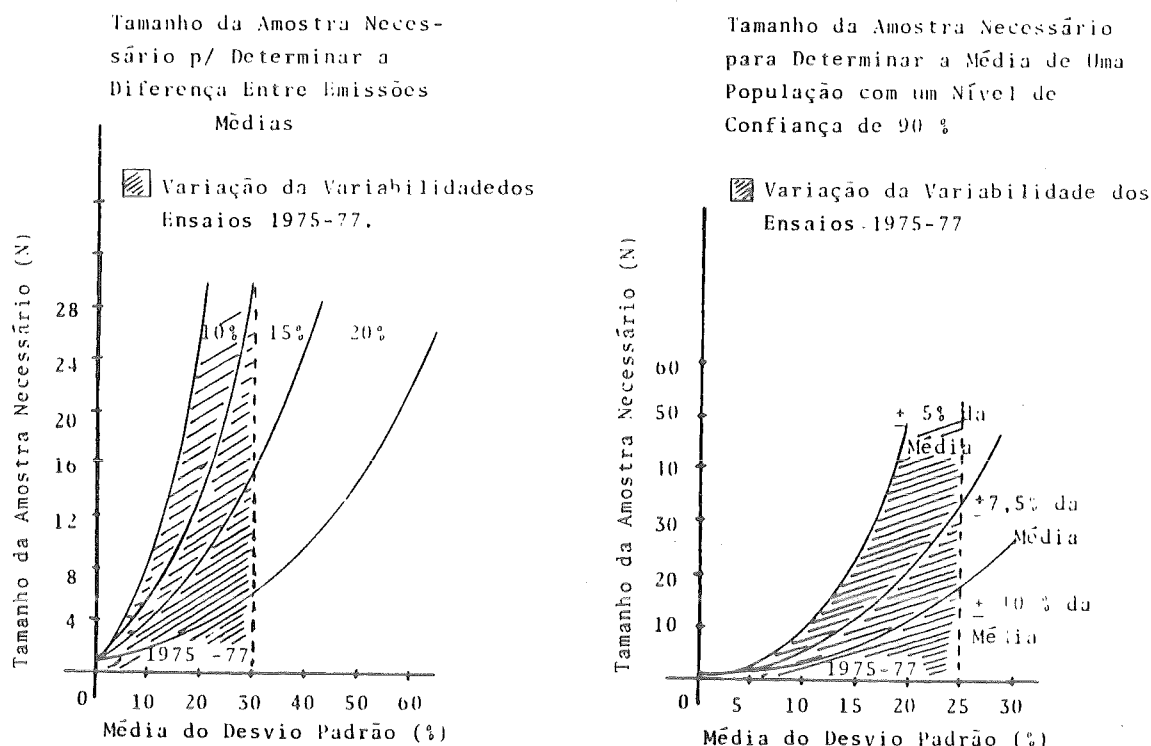


Figura 1. Número de ensaios (tamanho da amostra) necessários para estabelecer as emissões médias e detectar diferenças entre médias de emissões.

O grau de correlação entre laboratórios também é influenciado pela variabilidade e a manutenção de um bom nível de correlação soma custos adicionais.

Klingenberg e outros (3) na sua análise de erros do Federal Test Procedure frisou que o conhecimento das medidas das incertezas é muito importante pois determinam o risco do ensaio de certificação. As incertezas individuais consistem de erros de medição que resultam de erros aleatórios e de erros sistemáticos reconhecidos que, embora não precisamente definidos, podem ser estimados.

Fock e outros (4) concluiu, através de sua análise de probabilidade, que múltiplas medições das quais se obtém uma média tem uma qualidade superior a uma medição simples. Devido a incertezas na medição torna-se necessário o estabelecimento de uma margem de segurança quando se desenvolve um motor. Paulsell e Kruse (5) investigaram a variabilidade devido ao procedimento do Federal Test Procedure 1975 e encontraram os valores de $\pm 6\%$ para HC, $\pm 6\%$ para CO, $\pm 3\%$ para NOx e $\pm 1\%$ para CO₂.

Uma revisão cuidadosa deste trabalho indica que a sua variabilidade estimada é relativa somente ao efeito dos erros no procedimento do ensaio. Em um trabalho baseado no estudo da National Academy of Sciences (NAS), Milks e Matula (6) discutiram a variabilidade estatística de ensaios de emissão veicular pelo escapamento e as magnitudes relativas dos vários fatores indutores de erros encontrados durante os ensaios. Suas conclusões são retiradas dos dados obtidos durante visitas às fábricas dos produtores de automóveis, várias agências locais e federais e um número de outras organizações envolvidas com ensaio de emissão veicular e de economia de combustível.

O laboratório de emissão veicular da General Motors em Milford está envolvido em um estudo para compreender e definir as fontes de variabilidade e suas contribuições relativas a variabilidade global quando se ensaia veículos leves segundo os procedimentos do FTP 75. Tal entendimento é fundamental na realização de qualquer esforço para se reduzir a variabilidade do ensaio. Este trabalho discute os resultados deste longo estudo, sendo organizado em quatro seções principais que incluem uma discussão geral sobre o teste de variabilidade, as fontes de variabilidade, a quantificação destas fontes de variabilidade e sua correlação. O trabalho descreve também várias ferramentas de diagnóstico e técnicas necessárias para manter uma boa correlação entre vários ensaios e laboratórios. Um resumo é apresentado ao final do trabalho.

DISCUSSÃO GERAL SOBRE O TESTE DE VARIABILIDADE

A variabilidade em resultados de ensaios apresenta-se em graus variáveis dependendo do tipo de variabilidade, isto é, de teste para teste num mesmo local de ensaio, em diferentes locais dentro de um laboratório ou a variabilidade de laboratório para laboratório em relação a um determinado veículo.

Outro tipo de variabilidade ocorre em ensaios de emissão de veículos em produção com as mesmas especificações de auditoria de emissão em fim de linha ou em programas SEA. Em todo caso a variabilidade resulta da incapacidade de se reproduzir as emissões, as medições da emissão em massa, e ou condições operacionais de um ensaio para outro.

A variabilidade de qualquer um dos componentes que influenciam sobre a exaustão tem sido expressa de duas maneiras. Se dois ensaios são conduzidos experimentando-se apenas um veículo, a diferença entre os resultados, expressa como uma porcentagem de um dos resultados, tem sido usada como um indicador da variabilidade. A segunda expressão da variabilidade é mais rigorosa. No caso em que múltiplos ensaios são efetuados, a variabilidade é definida pelo coeficiente de variação, ou seja, o desvio padrão da população estimada dividida pela média amostral. Portanto, 1,96 vezes o coeficiente de variação define uma faixa na qual espera-se que caiam 95 % das medições, se não houver variação nos níveis de emissão reais. Esta última definição é usada normalmente neste texto, a menos que se declare ao contrário.

Em estudos prévios realizados (2), uma magnitude de variabilidade média foi estimada através de medições repetidas em quatro veículos ano modelo 1975 com protótipo de sistemas de emissão em três diferentes laboratórios da General Motors, sendo que estes veículos foram equipados com conversores catalíticos e os ensaios foram conduzidos conforme FTP 75 (1). Empregaram-se técnicas estatísticas padrão como a análise de variância para fracionar a variação total existente nos resultados dos ensaios de emissão. A variabilidade entre veículos e qualquer erro sistemático entre laboratórios foram eliminados. Obteve-se então uma estimativa da variabilidade total do ensaio consistindo da variabilidade do erro de medição e a variabilidade entre veículos. Em relação a média geral para os 4 veículos, esta estimativa da variabilidade foi determinada em $\pm 39\%$ para HC, $\pm 50\%$ para CO, $\pm 15\%$ para NOx e $\pm 9\%$ para CO₂. Estes limites estabelecem a faixa na qual esperaria-se que 95% das medições estivessem contidas, se não houver mudança no nível real destes veículos.

Com intenção de se estudar a extensão da variabilidade, uma outra pesquisa foi desenvolvida abrangendo 6 veículos modelo 1975 equipados com sistema de controle de emissão de série, sendo que cada veículo foi submetido a vários ensaios até um limite de 8. Estes ensaios baseados no FTP 75 foram repetidos em três diferentes intervalos de quilometragem, respectivamente 5.000, 10.000 e 15.000 milhas.

Do ponto de vista analítico, em um caso os dados foram reunidos por veículos e por intervalo de quilometragem para determinar a variabilidade do ensaio (variabilidade do erro de medição e variabilidade entre veículos) em qualquer intervalo de quilometragem (Tabelas I a III do anexo).

Em outra análise, a variação total nos resultados de emissão de todos os ensaios foi fracionada. A variabilidade entre veículos e entre quilometragem foi eliminada. Em relação a média geral para os seis veículos, a estimativa da variabilidade considerando a variabilidade do erro de medição a variabilidade entre veículos foi estabelecida em $\pm 19\%$ para HC, $\pm 33\%$ para CO, $\pm 9\%$ para NOx e $\pm 5\%$ para CO₂ (Tabela I). Estes resultados indicaram uma redução significativa da variabilidade se comparada às estimativas

preliminares que foram obtidas de testes realizados sobre veículos protótipos e sistemas de medição (figura 2).

A análise também indicou que a variabilidade é variável. A faixa da variabilidade como uma função da quilometragem percorrida e dos veículos amostrados é mostrada na figura 3. Esta natureza da variabilidade é devida principalmente a contribuição interativa das fontes de variabilidade. Ela também pode ser influenciada pela extensão da variação dos parâmetros que afetam a variabilidade em qualquer experimento particular. Tal observação assegura um entendimento melhor das fontes de variabilidade de modo a torná-las previsíveis.

FONTES DE VARIABILIDADE

A variação nos resultados de ensaio dentro de um dado laboratório pode ser atribuída a duas fontes genéricas:

- a) a variabilidade do veículo;
- b) as incertezas das medições (figura 4).

Empregando-se uma abordagem que consiste de planejamento de experimentos e uma simulação por computador de ensaios de emissão, estas duas principais fontes de variabilidade foram estudadas para se determinar a contribuição de cada fonte na variabilidade total do ensaio. Cada fonte principal foi subdividida, quando possível, em parâmetros individuais que são descritos na próxima seção. Cada parâmetro estabelece uma contribuição à variabilidade, independentemente ou através de interação com outros parâmetros. As condições ambientais do laboratório afetam as duas principais fontes de variabilidade. A variabilidade total de qualquer veículo quando ensaiado é acrescida com as contribuições relativas aos erros sistemáticos e aleatórios associados a variabilidade do veículo, as incertezas das medições e as condições ambientais do ensaio.

TABELA I

ANÁLISE DA VARIABILIDADE DOS RESULTADOS DE ENSAIOS

Emissão [g/milha]										
		CO		HC		NOx		CO ₂		
Veic. Mil. #	N. #	Média Arit.	Desvio Pad.	Média Arit.	Desvio Pad.	Média Arit.	Desvio Pad.	Média Arit.	Desvio Pad.	
01	5000	8	1,69	0,30	0,35	0,038	1,80	0,064	888,5	20,6
02	5000	8	5,32	0,90	0,42	0,032	1,88	0,213	756,7	39,3
03	5000	8	7,92	1,71	0,58	0,068	2,49	0,077	701,3	19,0
04	5000	8	3,00	0,38	0,29	0,038	1,45	0,066	689,3	14,5
05	5000	8	3,26	0,47	0,35	0,040	1,83	0,193	647,2	27,5
06	5000	7	6,23	0,58	0,48	0,043	2,84	0,062	617,0	14,2
01	10000	8	1,95	0,37	0,40	0,079	1,52	0,059	862,9	19,6
02	10000	8	5,57	0,70	0,46	0,031	2,00	0,048	726,4	20,0
03	10000	8	7,51	0,52	0,63	0,040	2,56	0,045	650,3	14,0
04	10000	8	3,81	0,72	0,40	0,047	1,61	0,080	764,7	16,1
05	10000	8	2,92	0,80	0,37	0,048	1,88	0,067	655,8	20,3
06	10000	8	5,83	0,71	0,53	0,049	2,77	0,118	614,0	13,2
01	15000	8	1,82	0,25	0,58	0,031	1,42	0,045	857,8	8,4
02	15000	8	5,52	1,00	0,47	0,034	2,05	0,046	746,2	16,3
03	15000	8	7,41	0,83	0,64	0,028	2,44	0,047	657,4	8,4
04	15000	8	3,50	0,49	0,38	0,047	1,38	0,054	671,9	11,3
05	15000	8	4,01	1,04	0,49	0,038	2,22	0,046	607,3	17,4
06	15000	8	5,38	0,90	0,53	0,051	3,01	0,150	602,8	16,2

RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

ERRO DE MEDIÇÃO - VARIABILIDADE ENTRE VEÍCULOS

Emissão [g/milha]				
Pol.	Média Arit. 6 Veículos [x̄]	Desvio Padrão [σ]	Faixa ± 1,96 σ	Faixa como % da média ± 1,96 σ / x̄
HC	0,48	0,045	± 0,088	± 19
CO	4,58	0,782	± 1,533	± 33
NOx	2,07	0,096	± 0,182	± 09
CO ₂	707,20	18,927	± 37,097	± 05

Variação da Variabilidade Total (Erro de Medição + Variabilidade do Veículo)

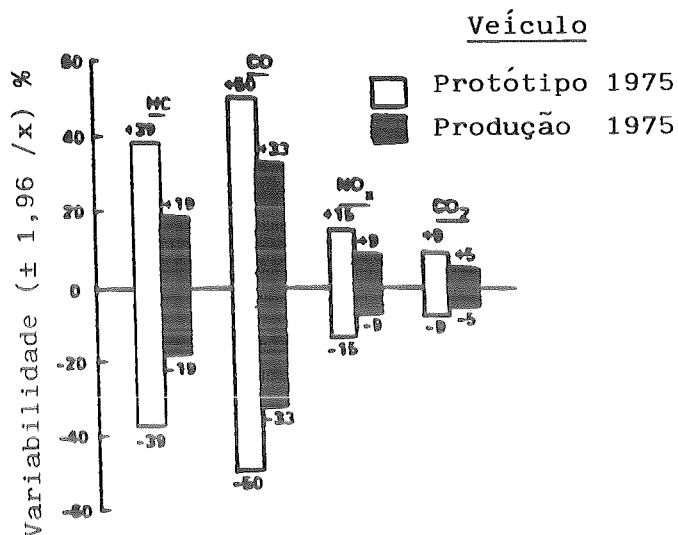


Figura 2 - Os cálculos indicam uma redução da variabilidade quando comparada aos cálculos anteriores sobre os veículos protótipos e os sistemas de medição.

VARIABILIDADE VERSUS ACUMULAÇÃO DE MILHAS FTP 75

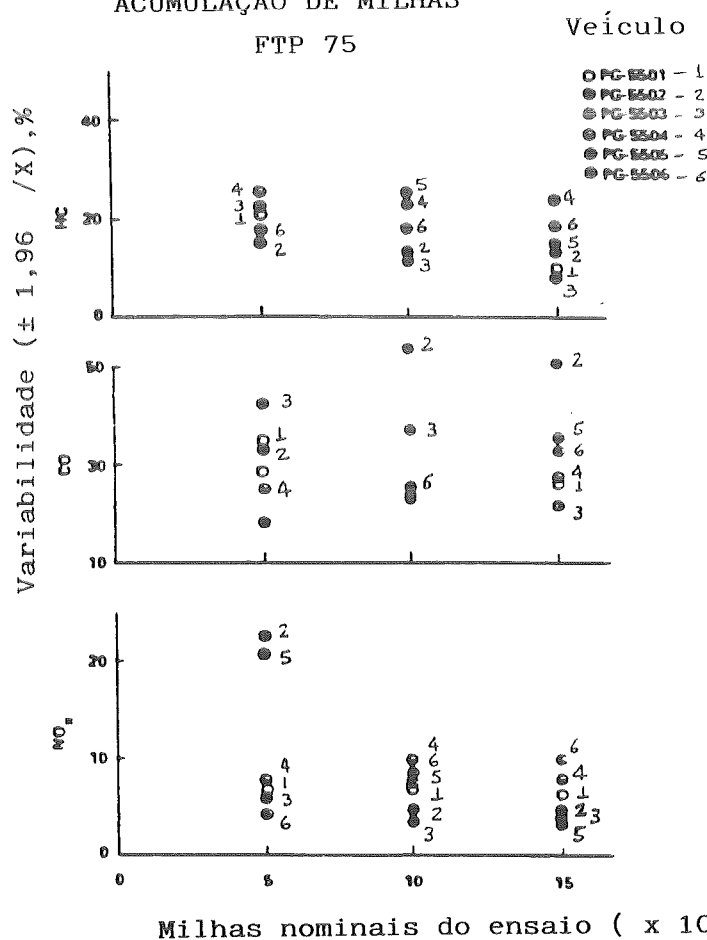


Figura 3 - A variabilidade é variável.

FONTES DE VARIABILIDADE

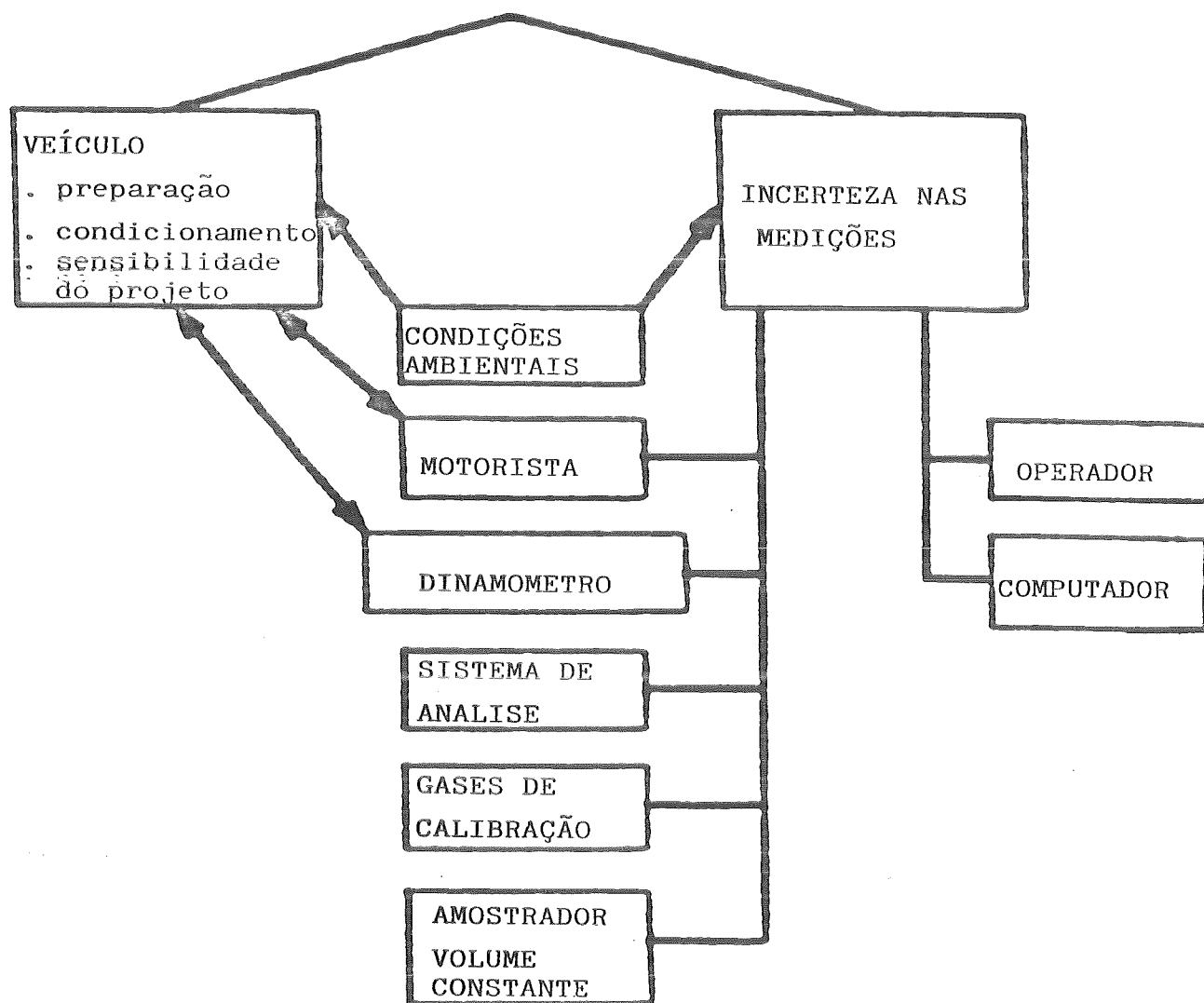


Figura 4 - Fontes de variabilidade em ensaios de emissão e as interações existentes entre as fontes.

A VARIABILIDADE DO VEÍCULO

As contribuições à variabilidade total devidas ao veículo, podem resultar das seguintes variáveis:

- a) **preparação do veículo:** este estágio de preparação que antecede um ensaio de emissão envolve um passo n_1 - n_2 - n_3 de procedimento em tempo que exige o manuseio físico de componentes nos sistemas de combustível e de indução.

Uma mudança na condição destes componentes poderá afetar os resultados de emissão. Uma preparação diferente poderá também afetar o carregamento do canister, provavelmente influenciando a interação do sistema evaporativo durante o ensaio de emissão e, portanto alterando os resultados.

- b) **condição do veículo no início do ensaio:** as variações no período de condicionamento do veículo podem influenciar as condições internas das paredes do coletor de admissão do motor e do leito do catalisador no interior do conversor catalítico, do mesmo modo, qualquer diferença na temperatura ambiente do condicionamento pode afetar a condição dos componentes do veículo. O afogador automático, cuja atividade inicial depende do coletor de admissão ou da temperatura ambiente, provavelmente irá operar de modo diferente em função de diferentes temperaturas de condicionamento e tais diferenças influenciam nos resultados de emissão.

- c) **sensibilidade inerente ao projeto do veículo:** os veículos apresentam diferenças significativas quanto ao tipo de carburador, sistemas de recirculação de gases de exaustão (EGR) e calibrações do afogador do carburador e configurações de sistemas de indução e evaporativa. Portanto, dependendo do tipo de sistema envolvido a sensibilidade do parâmetro de ensaio que afeta as emissões poderá ser grande ou pequeno. Por exemplo, se a calibração do motor para relações ar-combustível está muito próxima da estequiométrica, então, o motorista com um pé "nervoso" atuando sobre o pedal do acelerador poderá contribuir com uma variação significativa no resultado de emissão de CO. Da mesma forma, pequenas diferenças na contrapressão devido a conexão do sistema de amostragem por volume constante (CVS) ao sistema de escape do veículo durante um ensaio também pode causar variabilidade. Isto pode ser devido a alta sensibilidade da válvula de controle de contrapressão do sistema EGR à contrapressão total do sistema de escapamento.

INCERTEZAS NAS MEDIÇÕES

Os seguintes parâmetros de importância estão incluídos nesta categoria:

- a) **motorista:** o motorista procura minimizar o erro existente entre a velocidade real do veículo e aquela determinada pelo ciclo padrão com auxílio do acionamento do acelerador ou do freio. Uma rápida modulação da borboleta de aceleração através do pedal do acelerador introduz um estado dinâmico que induz a um incremento das emissões. Por exemplo, um aumento da frequência de operação do sistema de enriquecimento do carburador durante o ensaio EPA poderá resultar em maiores emissões de CO. Portanto, as diferenças de habilidade entre motoristas em reproduzir exatamente as intensidades de aceleração, velocidade e frenagem entre ciclos ou as diferenças entre motoristas "nervosos" e "calmos", transformam os motoristas em importante fonte de variabilidade.
- b) **dinamômetro de chassi:** o dinamômetro de chassi procura simular as resistências ao rolamento que as rodas motrizes do veículo experimentam quando se deslocam por uma via plana. Esta resistência ao rolamento consiste basicamente de uma força de atrito independente da velocidade, na resistência de rolamento do pneu que é aproximadamente uma função linear da velocidade, e a resistência aerodinâmica ao deslocamento, ao qual é uma função quadrática da velocidade. Além disso, a força líquida devido a inércia, isto é, massa $\times$ aceleração ou desaceleração, é também simulada. Nos laboratórios de emissão veicular encontramos diferentes tipos de dinamômetros, tais como os elétricos, de acionamento direto, de acionamento por correias. O dinamômetro elétrico usa o motor de absorção de corrente contínua acoplado a um regulador de torque que fornece torque disponível no eixo do motor, já compensado as perdas por atrito, arraste aerodinâmico e inércia.

Os dinamômetros de acionamento direto ou por correias, empregam um absorvedor hidráulico e um conjunto de volantes de inércia, sendo que a resistência total ao rolamento é simulada através do atrito do dinamômetro, a resistência do rolamento do pneu sobre os rolos do dinamômetro, a potência dissipada no absorvedor hidráulico (turbina) e a inércia equivalente nos volantes.

A variabilidade dos ensaios de emissão pode resultar de diferenças na resistência total (carga) observada de ensaio para ensaio. A variabilidade na carga do dinamômetro pode ser causada por diferenças em:

- 1) ajuste dos parâmetros de inércia e potência;
- 2) característica de absorção de potência e de atrito do dinamômetro;
- 3) característica de escorregamento e de atrito na interface pneu-rolô;
- 4) espaçamento e tamanho dos rolos do dinamômetro de chassi;
- 5) amplitude, tipo de manutenção e método de calibração do dinamômetro de chassi.

c) amostrador de volume constante (CVS): a maioria das células de ensaio da General Motors empregam amostradores de volume constante para obter as amostras condicionadas de gás de emissão diluído. Este sistema apresenta vários setores-problema quando empregado na medição de veículos projetados para atender padrões de emissão restritivos. Os erros devidos a estes setores precisam ser minimizados para se manter uma integridade global. As principais áreas de atenção em um amostrador de volume constante são as seguintes:

- 1) as flutuações na temperatura e pressão após o ventilador são funções da dinâmica do fluxo de exaustão durante o ensaio EPA. Os transientes observados na temperatura e pressão da mistura amostra-ar de diluição entrando no trocador de calor contribui para as flutuações na temperatura e pressão na entrada do ventilador. Estes transientes não podem ser apropriadamente ponderados por simples média temporal;
- 2) uma amostragem não proporcional no interior dos sacos de amostras pode ser causada de flutuações na pressão e temperatura após a bomba de amostragem introduzindo portanto, erros na coleta da amostra;
- 3) variação nas características de fluxo no ventilador podem ser causadas por depósitos nas pás do rotor causando um fluxo de ar substancialmente diferente através do ventilador;
- 4) a existência de vazamentos para o interior ou exterior do sistema resultará em concentrações de poluentes que não são representativas daquelas produzidas pelo veículo ensaiado;
- 5) a ocorrência de condensação no trocador de calor resultará de um ar de diluição altamente úmido, em conjugação com baixas razões de diluição associadas a altas vazões de gás de exaustão. Isto poderá alterar as características do trocador de calor, isto é, a perda de pressão ao longo do trocador de calor;

6) erros na calibração do CVS ocorreram quando os equipamentos empregados na sua calibração (tal como o elemento de fluxo laminar) estão defeituosos;

7) interface CVS-tubo de escapamento do veículo: a pressão do gás de escapamento, homogeneidade do fluxo de diluição e vazamentos são funções do tipo e condição desta interface, a qual poderá introduzir erros na medição.

Alguma variabilidade de ensaios de emissão, associada aos amostradores de volume constante, pode ser esperada em estágios transientes tais como os modos de aceleração e desaceleração. Devido a existência de uma variedade de amostradores de volume constante nos diferentes laboratórios, a magnitude de incerteza da medição de emissão pode ser substancialmente diferente.

d) sistema de análise: de um modo geral, a evolução da tecnologia da instrumentação tem acompanhado as novas exigências em medir concentrações muito baixas de poluentes. Contudo, os erros devido a algumas das áreas problema básicas no sistema de análise se acentuam quando baixas concentrações precisam ser medidas. Algumas das áreas problema incluem a estabilidade e o desvio do analisador, interferências devido a presença de vapor de água e outros gases no gás de exaustão, influências da condição ambiental, erros da vazão e coleta da amostra. Cada analisador, contudo, apresenta seu próprio conjunto de parâmetros que necessitam ser otimizados e controlados para um desempenho adequado (13). Por exemplo, no analisador por ionização de chama (FID), a resposta relativa (13), pressão da amostra e tipo de combustível são parâmetros importantes que podem afetar a medição de HC. Além destes, dependendo do número de gases empregados, a calibração do instrumento poderá introduzir algum erro aleatório. A grande variedade do mesmo tipo de analisadores e de sistemas de análise em diferentes laboratórios pode introduzir erros aleatórios ou sistemáticos nas medições de emissão, tornando o sistema de análise uma possível fonte de variabilidade.

e) gases de calibração: a precisão e estabilidade dos gases de calibração são os principais responsáveis por qualquer variabilidade de ensaio associada aos mesmos. A precisão é função da qualidade do gás (padrão primário etc) usado para calibração dos analisadores do laboratório. Por exemplo, os erros podem se propagar sequencialmente do gás padrão fornecido pelo National Bureau of Standards (NBS/NIST) para o gás de referência do fornecedor, para os seus clientes, para a referência do laboratório de emissão e para os gases de calibração diária.

A capacidade de dois laboratórios em medir os mesmos valores é função direta dos seus padrões de referência internos. Padrões de reconhecimento nacional, tais como as misturas NBS/NIST, são necessárias para reduzir a variabilidade entre laboratórios no que concerne a padrões de referência.

A estabilidade dos gases, por outro lado, é uma função da afinidade dos gases puros em relação as misturas empregadas, e a adsorção de suas moléculas sobre as paredes internas do cilindro. Dos quatro gases usados para calibração, o NO e o CO são os mais instáveis do que os outros dois.

- f) operadores da bancada de analisadores: a probabilidade de ocorrência de erros aleatórios nas áreas de calibração de analisadores e de ajuste de outros equipamentos de ensaio é uma função do nível de treinamento e educação dos operadores. Os laboratórios que empregam computadores para aquisição de dados também empregam operadores para ajuste do equipamento e entrada de dados. Erros podem ocorrer quando o procedimento de ensaio não é seguido rigorosamente, transformando o operador em uma fonte de variabilidade.
- g) computador: erros sistemáticos devido ao computador são geralmente causados por erros na rotina de cálculo dos resultados de emissão e diferenças no estabelecimento das curvas de regressão dos analisadores. Erros aleatórios podem ser causados pela interface computador-analisador e a resolução do conversor análogo/digital. Se um único computador é empregado para o tratamento dos dados de todos os testes no interior de um laboratório, a contribuição deste computador para a variabilidade dos resultados é consequência somente entre laboratórios.

CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A pressão barométrica, umidade relativa, temperatura e circulação de ar no local do ensaio afeta a emissão do veículo ensaiado e portanto qualquer variação nestes parâmetros introduz variabilidade. Por exemplo, em um veículo equipado com um carburador convencional, um decréscimo na pressão barométrica causará enriquecimento da mistura ar-combustível. Dependendo da calibração isto poderá resultar em maiores emissões de CO. A extensão do enriquecimento é dependente do grau de compensação de altitude, caso exista, estabelecida no carburador. A variação na umidade do ar de admissão afeta a relação ar-combustível e os picos de temperatura de ciclo dentro do motor e por extensão as emissões (8).

A temperatura ambiente e o padrão de circulação de ar ao redor do veículo pode afetar a temperatura do combustível no interior do tanque e no carburador, afetando a interação do sistema evaporativo e a razão ar-combustível. Embora o teste FTP 75 estabeleça um fator de correção de unidade para o cálculo da concentração de NOx (1), a dependência da sensibilidade do HC e do CO sobre a calibração do sistema de emissão evitam a possibilidade do desenvolvimento de fatores de correção universais para a pressão barométrica, unidade e temperatura. As condições ambientais de ensaio são portanto, importantes fontes de variabilidade em ensaios de emissão.

QUANTIFICAÇÃO DAS FONTES DE VARIABILIDADE

A determinação da contribuição relativa das diferentes fontes à variabilidade total é prevista através do estabelecimento das relações de sensibilidade entre as variáveis e os resultados de emissão. Este problema é complexo à medida que envolve uma gama enorme de veículos de ensaio dotados de diferentes sistemas de controle de emissão, além da interação entre várias variáveis.

A contribuição à variabilidade devida a variáveis tais como gás de calibração e computadores, podem ser avaliadas independentemente. Por outro lado, a quantificação das fontes é difícil e é peculiar ao sistema particular de cada veículo. Além disso, a extensão da variabilidade propriamente dita é variável.

Contudo, um bom entendimento das fontes de variabilidade torna-a previsível em termos gerais. Este entendimento pode prover os meios para controlar algumas das fontes que afetam a variabilidade ou então compensá-las através de fatores de correção, ou então simplesmente reconhecer seus efeitos.

Tendo isto em mente, empregou-se uma abordagem modular para a quantificação das fontes de variabilidade, através de ensaios em veículos dotados de conversores catalíticos e uma simulação de emissões em computador. O projeto experimental foi dimensionado para o entendimento das fontes de variabilidade e para determinar as relações de sensibilidade entre algumas variáveis controladas e os resultados de emissão. Por outro lado, a simulação em computador foi projetada para permitir a análise independente de parâmetros de sensibilidade de variáveis que são difíceis de controlar em um teste real ou requereriam extensivos ensaios experimentais. Os objetivos específicos, descrição e resultados são apresentados na próxima seção.

ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM VEÍCULOS COM CONVERSOR CATALÍTICO

Os seguintes experimentos foram desenvolvidos para avaliar as fontes de variabilidade.

a. Estudo de Repetibilidade

O veículo PG-73275 (vide anexos), foi submetido a dezesseis ensaios FTP 75 na Câmara Ambiental do laboratório de emissão veicular de Milford (M-VEL), sob condições ambientais constantes.(9).

A câmara propicia o controle da pressão barométrica com precisão de $\pm 0,01$ pol. de Hg, a temperatura ambiente com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{F}$, e a umidade absoluta com precisão de $\pm 3,0$ grains de água por libra de ar seco. Outros procedimentos de controle adicionais foram o emprego de mesmo motorista, mesmo operador de bancada e a não realização de pré-condicionamento no veículo de ensaio.

Este experimento visou:

- (1) determinar a extensão da variabilidade de ensaio para ensaio, sob condições controladas;
- (2) determinar as fontes significativas de variabilidade no veículo;
- (3) estimar a faixa de erro associada a elementos diferentes do sistema de medição de um local de ensaio.

a.1 Resultado e Discussão

Para o veículo PG-73275, a sua variabilidade, expressa como o desvio padrão dividido pela média, em %, foi 27% para o HC, 17% para o CO, 3,4% para o NOx, 1,2% para o CO₂ e 1,3% para a economia de combustível (Tabela II). Sob as condições deste experimento, a variabilidade é significante somente para HC e para CO, pois a variabilidade para o CO₂ mostrou-se muito próxima da economia de combustível, visto ser esta calculada através de balanço de carbono e o CO₂ ser um parâmetro vital na elaboração deste cálculo (vide anexos).

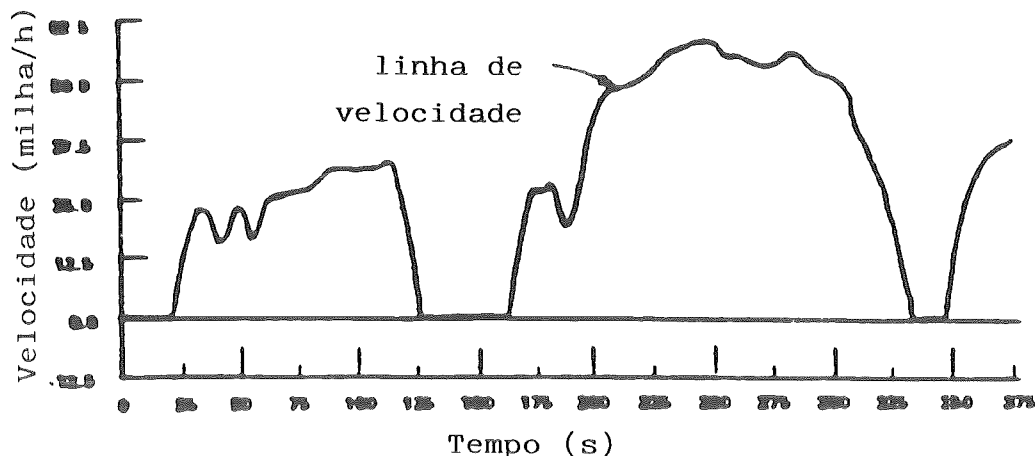
TABELA II

 RESULTADOS DO ESTUDO DE REPETIBILIDADE
 VEÍCULO PG 73275 - CICLO FTP-75

Emissão [g/milha]				
	HC	CO	NOx	CO ₂
Valores médios	0,37	4,44	2,32	162,1
Porcentagem				
Resultado	HC	CO	NOx	CO ₂
Média do desvio padrão da variabilidade do ensaio [%]	27	17	3,4	1,2
Contribuição a emissão total devida a fase transiente fria [%]	87	94	33	37
Contribuição à variabilidade global a partir da variação da massa de poluentes na fase transiente fria [%]	99	99	25	42

A maior contribuição ao total de gramas emitidas no ensaio, assim como a variabilidade global para HC e CO deste veículo vem da fase transiente fria. Portanto, para veículos com sistemas de controle de emissão e calibrações similares ao veículo ensaiado, a fase transiente fria é a primeira principal área em relação a variabilidade. As variáveis de importância relativas ao veículo incluem todos os parâmetros que afetam as características de aquecimento do motor e do catalisador e a atividade do afogador do carburador.

Em cada ensaio, o veículo foi monitorado através do registro contínuo de alguns parâmetros de diagnóstico, tais como a posição da borboleta do carburador, o vácuo no coletor de admissão, ângulo do afogador do carburador, vácuo no sistema de recirculação de gases de escapamento, temperatura do catalisador etc., em uma fita cassete. Os dados armazenados neste cassete foram transferidos a uma fita digital para facilitar a análise dos dados usando-se um programa geral para redução de emissões em um computador IBM/370. O tratamento dos dados forneceram gráficos de variações de tempo, níveis médios, variância estatísticas, correlação entre sinais, distribuição de frequência e derivadas de vários sinais. (10) além disso as diferenças entre sinais similares para ensaios de emissão consecutivos também foram computados (fig. 5).



EXPERIMENTO 1

Diferença de ângulo de borboleta entre ensaios 1 & 3

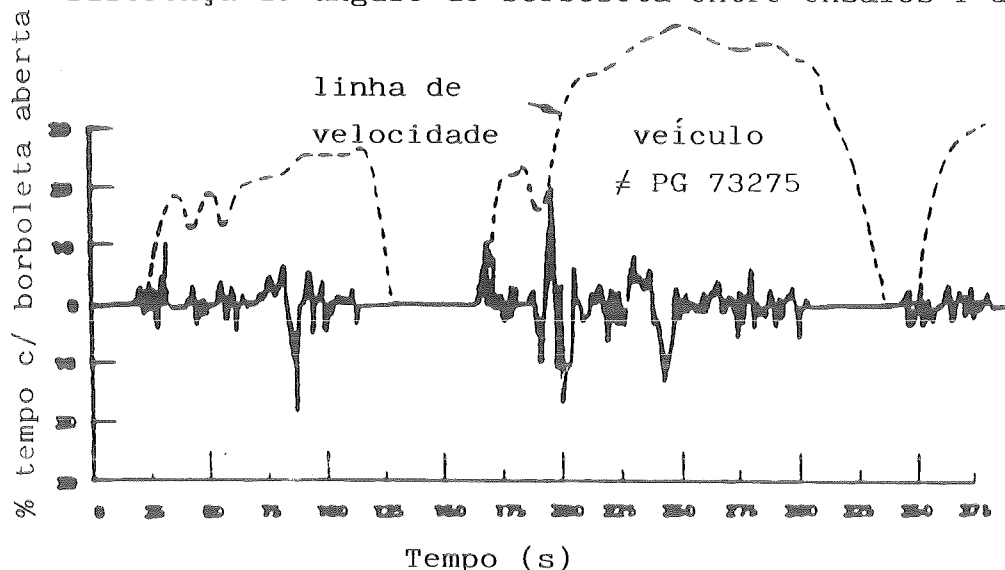


Figura 5 - Diferenças entre ensaios devido a variações na atuação sobre a borboleta do carburador.

Os resultados mostram que diferenças substanciais podem existir entre ensaios quando se consideram esses parâmetros. Estas grandes diferenças podem resultar de mudanças na condição do veículo antes de cada ensaio. Como resultado, o motorista poderá ser forçado a modular o ato de acelerar de uma maneira substancialmente diferente para manter o padrão de velocidade. Estas diferenças podem ser devidas a falta de perícia do motorista em repetir a atuação sobre o acelerador e o freio, necessária para atingir/manter a velocidade desejada.

Também foram monitoradas variáveis tais como a duração da partida do motor no início do ensaio, o período de condicionamento anterior ao ensaio e o período de condicionamento entre as fases fria e quente do ensaio. Foi realizada uma análise de regressão linear usando-se HC, CO, NOx, CO₂ como variáveis dependentes e alguns dos parâmetros de diagnósticos como variáveis independentes. (11)

Os sinais contínuos foram representados por sua média e variância sobre os primeiros 505 segundos do ciclo FTP. Sob as condições deste experimento, uma porção significativa da variabilidade total é explicada pelos parâmetros sobre consideração. Considerando que a variabilidade do HC é explicada pelas variações na operação da borboleta e do afogador do carburador, a duração da partida do motor; a variabilidade do CO resulta das diferenças no condicionamento entre ensaios, somadas as variações da borboleta e do afogador do carburador. Os efeitos associados às características de aquecimento do catalisador causaram uma grande variabilidade na fase transiente fria. O aquecimento do catalisador é influenciado principalmente pelos níveis de concentração dos gases admitidos. As diferenças na operação do acelerador e do afogador entre ensaios podem modificar a concentração e o volume dos gases chegando ao catalisador, afetando portanto o tempo de aquecimento do catalisador e sua eficiência de conversão durante este período crítico.

A tabela III mostra uma distribuição típica de massa e concentração em diferentes sacos de amostragem para o veículo PG-73275. Para estes baixos níveis de emissão, pequenos erros na medição de cada constituinte pode introduzir erros significantes no resultado global.

TABELA III

RESULTADOS TÍPICOS DE EMISSÃO
VEÍCULO PG-73275 - CICLO FTP-75

Fase do ensaio	HC	CO	NOx	CO ₂
Transiente fria [g]	4,460	71,59	7,913	3092,2
Fase estabilizada [g]	0,321	1,04	7,714	3518,2
Transiente quente [g]	0,438	4,07	9,820	2771,1
Transiente fria [ppm]	34,3	823,0	62,0	22600
Fase estabilizada [ppm]	1,3	7,0	35,3	15000
Transiente quente [ppm]	3,2	47,0	77,2	20300
Ponderação [g/milha]	0,332	4,55	2,23	857,0

Por exemplo, um erro mínimo de 1 ppm na medição de HC, CO e NOx em todos os tres sacos de amostragem, pode afetar o valor de emissão em massa deste veículo em 18% para HC, 1% para CO e 2% para NOx (tabela IV).

Vários elementos do sistema de medição, tais como a bancada de analisadores, os gases de calibração e o sistema de amostragem também foram monitorados durante o transcorrer do experimento.

TABELA IV

EFEITO DE 1 PPM DE ERRO NA MEDIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES
 DA AMOSTRA SOBRE OS RESULTADOS PONDERADOS
 VEÍCULO PG-73275 - CICLO FTP-75

Local do erro de 1 ppm	Efeito sobre a emissão ponderada [g/milha] em porcentagem da mudança.		
	HC	CO	NOx
Fase transiente fria	2,1	0,18	0,31
Fase estabilizada	0,9	0,44	1,29
Fase transiente quente	3,0	0,20	0,41
Todas as 3 fases	18,3	0,90	2,06

As verificações de calibração não indicaram nenhum erro sistemático. As estimativas dos erros de medições esperadas foram derivadas da caracterização independente destes subsistemas. Por exemplo, o erro no CVS foi calculado através de análise da equação de fluxo. Os erros esperados foram delegados a cada parâmetro tais como temperatura, pressão, etc. na equação de fluxo e seu efeito sobre o fluxo total foi então calculado.

Da mesma forma, os erros devidos aos analisadores foram estimados combinando-se os erros devidos a parâmetros tais como vazão dos gases, interferências de gases diferentes dos que estão sendo medidos, pressão e concentração da amostra etc. O erro total devido aos gases de calibração foi estimado combinando-se os erros devidos à estabilidade e precisão dos gases. Empregou-se a lei de propagação de erros através da soma dos quadrados para se determinar o erro associado a cada componente principal da variabilidade.

Os resultados indicaram que para qualquer um dos constituintes da exaustão, erros de até $\pm 4,5\%$; $\pm 6,0\%$ e $\pm 4,5\%$ podem ser causados pelo sistema de análise, os gases de calibração e o sistema CVS, respectivamente. Estes erros poderão ser maiores caso estes sistemas não sejam cuidadosamente mantidos e calibrados.

EFEITO DA PRESSÃO BAROMÉTRICA E DA UMIDADE SOBRE AS EMISSÕES EM VEÍCULOS EQUIPADOS COM CATALISADOR

A sensibilidade do resultado de ensaio de emissão em relação às condições ambientais, mais precisamente, a pressão barométrica e a umidade durante o ensaio, foi pesquisada no passado e uma massa de dados foi relatada, contudo referindo-se a protótipos 1975 ou veículos anteriores a 1974, sem controle.

Para verificar a influência sobre veículos catalisados, foi realizada uma pesquisa abrangendo 5 veículos ano-modelo 1975, identificados pelos códigos PG-5502, PG-5503, PG-5504, PG-5505 e PG-5506 (vide Apêndice), visando estabelecer a sensibilidade das emissões em relação a pressão barométrica e a umidade relativa, durante a realização de um ensaio de emissão adotando o ciclo FTP 75.

As matrizes de ensaio incluíram três condições de pressão barométrica (26,0 ; 28,0 ; 29,0 polegadas de Hg.) e duas condições de umidade (30 e 60 grains de água por libra de ar seco). A temperatura ambiente foi mantida em 72 °F. A sequência de ensaios foi aleatória para prevenir a possibilidade de erros sistemáticos devido a ordem dos ensaios.

Outra sequência de ensaio foi realizada em outro veículo, código B-8392, considerando-se seis valores para a pressão barométrica (de 25 a 30 pol. Hg.), em intervalos de 1 pol. Hg., uma umidade constante de 60 grains de água por libra de ar seco e uma temperatura ambiente constante de 73 °F.

Após esta primeira série de ensaios, retirou-se o dispositivo de compensação de altitude do carburador do veículo e a sequência de ensaios foi repetida. O veículo foi pré-condicionado a 50 milhas por hora durante 5 minutos antes do início de cada ensaio. Por outro lado, os veículos PG-5502/03/04/05/06, acumularam um total de 130 ensaios com partida a frio, no qual cada ensaio anterior foi considerado como pré-condicionamento do seguinte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emissão de HC e CO aumenta substancialmente com a queda da pressão barométrica (figuras 6 a 9). Em geral, um aumento na umidade relativa estabelece efeito similar. A sensibilidade das emissões às variações de pressão barométrica e de umidade são diferentes para veículos diferentes (Tabelas V e VI). Isto pode ser explicado pelo fenômeno básico que descreve a relação entre emissões de escapamento e condições ambientais.

Uma queda na pressão barométrica é acompanhada de uma diminuição da densidade do ar. Além disso, as características de dosagem do combustível no carburador também variam, tendo como resultado o enriquecimento da mistura. Este desvio no ponto de operação do carburador influencia a interação com o motorista, pois uma ligeira diferença na modulação de acionamento da borboleta do

carburador pelo motorista, resulta na operação em regiões em que a declividade das linhas de concentração de HC e de CO são mais acentuadas, em um gráfico emissão versus relação ar-combustível.

Um aumento no teor de umidade contida no ar, isto é, uma umidade absoluta maior, também promove o enriquecimento da mistura pois o vapor da água substitue uma quantidade equivalente de ar seco. A concentração de vapor de água também afeta a formação de NO pela redução dos picos de temperatura no interior dos cilindros do motor, reduzindo a emissão deste poluente.

Desde de que a mudança na relação de mistura é a principal fonte de sensibilidade da pressão barométrica, o grau desta sensibilidade seria dependente basicamente da calibração específica do carburador. Esse fato pode ser concluído a partir da relação clássica entre as concentrações de emissão e a relação ar-combustível (8). Como resultado, fica muito difícil desenvolver fatores de correção universais, particularmente para HC e CO.

Devido a sua grande sensibilidade, a pressão barométrica e a umidade podem contribuir significativamente para a variabilidade total do ensaio de emissão. Mudanças na pressão barométrica da ordem de $\pm 0,5$ pol. Hg. não são difíceis de ocorrer em um laboratório. Laboratórios localizados em altitudes diferentes estabelecerão diferenças sistemáticas na média da pressão barométrica. Para se reduzir a variabilidade, os laboratórios deverão exercer controle rotineiro sobre as variações de pressão barométrica e umidade.

EFEITO DA PRESSÃO BAROMÉTRICA E DA UMIDADE SOBRE AS EMISSÕES E O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

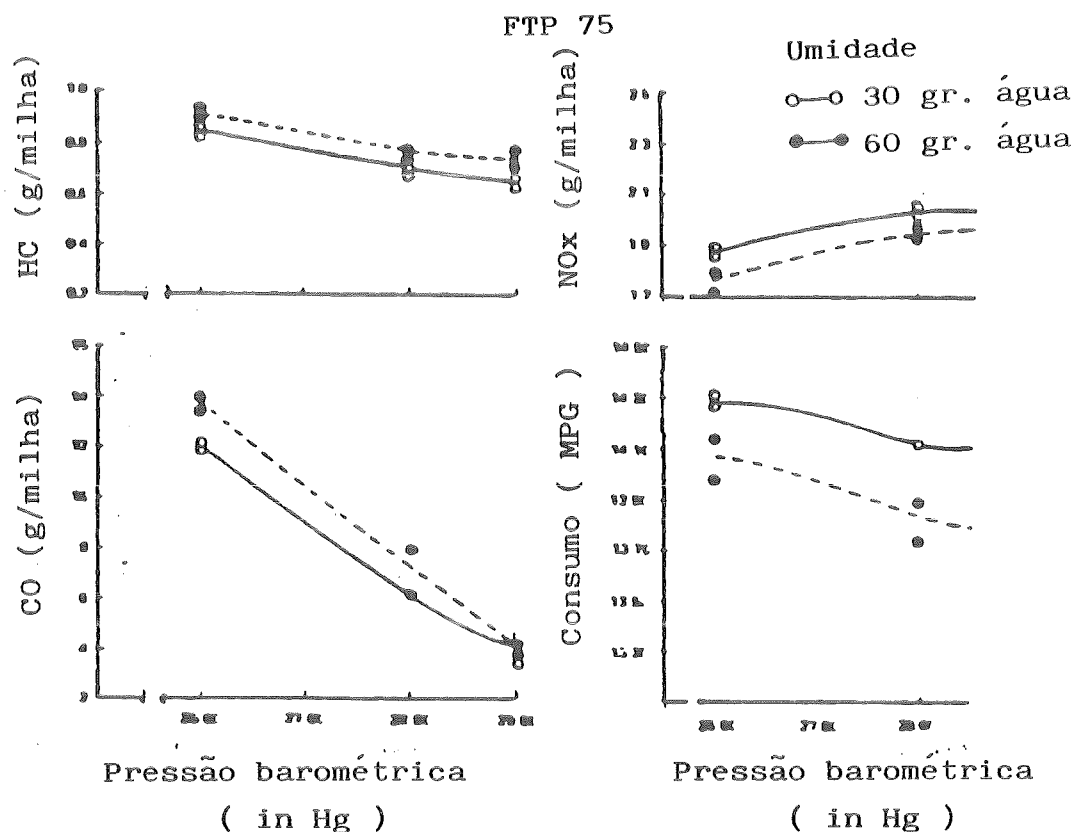


Figura 6 - Na faixa de variação da pressão barométrica e da umidade normalmente encontradas em ensaios de emissão, as concentrações de HC e de CO apresentam uma sensibilidade significativa.

EFEITO DA PRESSÃO BAROMETRICA E DA UMIDADE SOBRE AS EMISSÕES

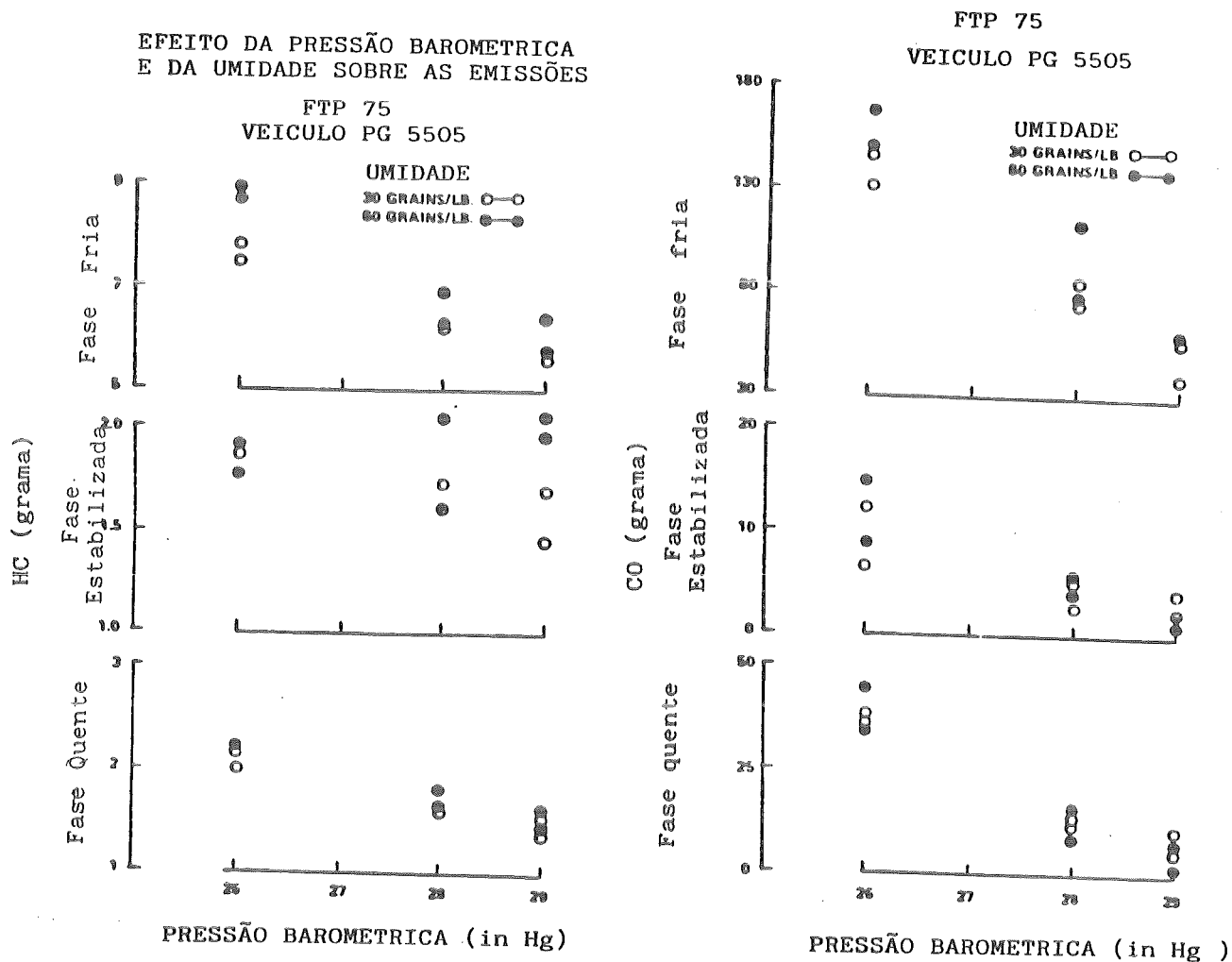


Figura 7/8 - As sensibilidades do HC e do CO manifestam-se em todas as fases do ensaio FTP 75, sendo que a fase fria contribui com a maior parte da sensibilidade global.

SENSIBILIDADE DA PRESSÃO BAROMÉTRICA

PARTIDA A QUENTE - FTP 75

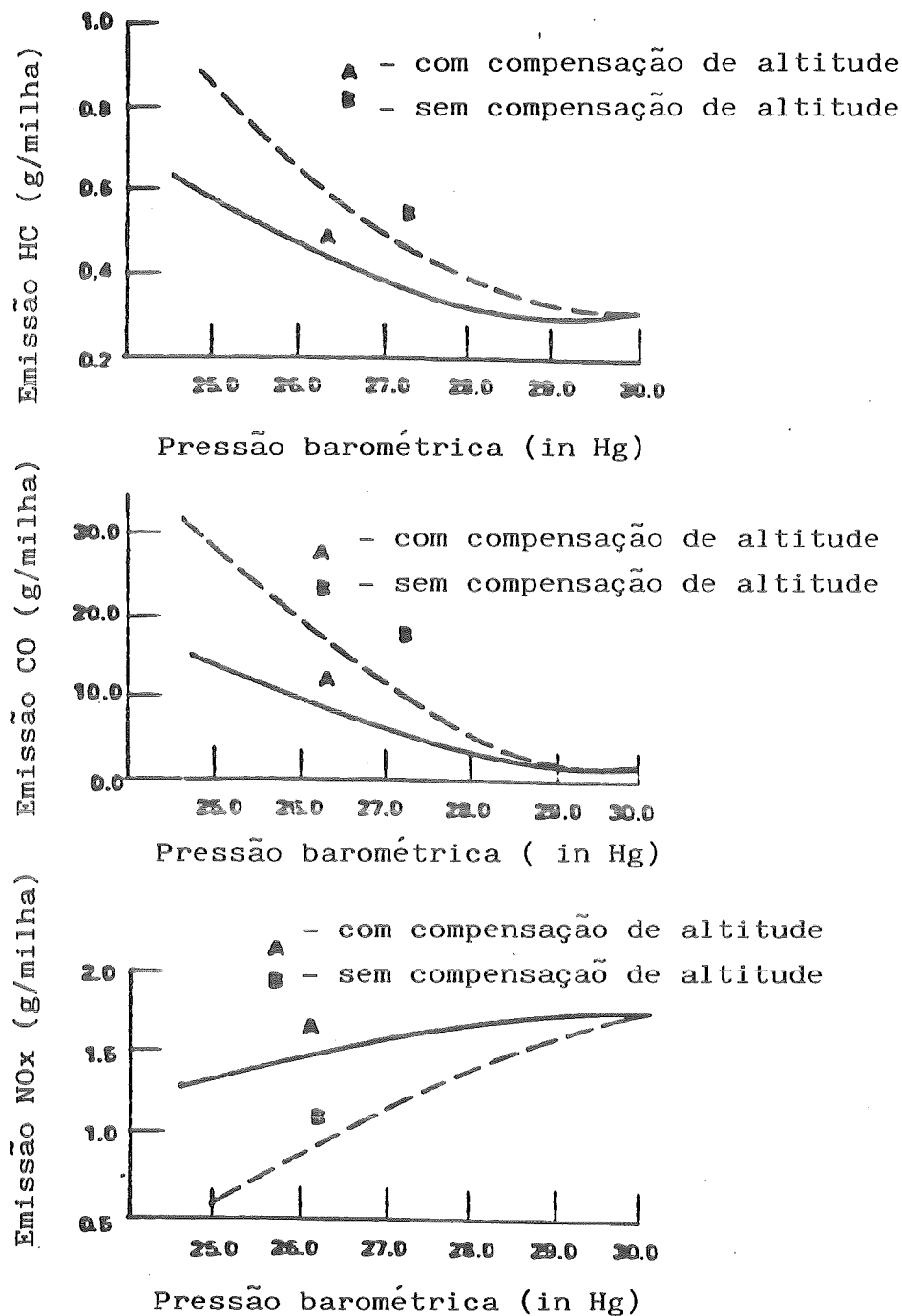


Figura 9 - Efeito da pressão ambiente e da umidade sobre a emissão de HC, CO, NOx e CO₂ em ensaios FTP 75, partida a quente.

TABELA V

 SENSIBILIDADE DAS EMISSÕES E ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL
 DEVIDA A VARIACÃO NA PRESSÃO BAROMÉTRICA

				Sensibilidade para incrementos de 1 pol. de Hg.							
				HC		CO		NOx*		MILHA/GAL.	
Veic. #	Emissão média [g/milha]			[g / milha]	%	[g / milha]	%	[g / milha]	%	[milha/ galão]	%
	HC	CO	NOx								
02	0,49	4,90	0,11	-0,11	-22	-2,5	-52	0,30	6	0,36	12
03	0,82	10,20	2,40	-0,15	-36	-2,0	-29	0,05	2	-0,15	-12
04	0,56	2,80	1,72	-0,04	7	-2,0	-100	-0,02	-1	-0,27	-23
05	0,64	3,90	2,80	-0,08	-9	-2,0	-61	0,06	0	0,05	**
06	0,86	4,40	3,15	-0,07	-8	-2,5	-57	-0,10	-3	0,16	**

* A emissão de NOx.....(ilegível no texto original)

** Valores ilegíveis no texto original.

TABELA VI

 SENSIBILIDADE DAS EMISSÕES E ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL
 DEVIDA A UMIDADE RELATIVA.

Sensibilidade para incrementos de 10 grains de H2O												

: HC CO NOx* MILHA/GAL.												

Veic. #	Emissão média			[g /	%	[g /	%	[g /	%	[milha/	%	
	[g/milha]			[milha]		[milha]		[milha]		galão]		
: HC CO NOx :												

02	0,49	4,90	1,80	0,03	12	1,2	20	-0,05	-3	-0,10	-1	
03	0,82	10,20	2,40	0,03	3	0,5	4	0,04	2	0,90	0	
04	0,56	2,80	1,72	0,04	7	0,03	2	-0,03	-2	-0,03	-0,2	
05	0,64	3,90	2,80	0,03	5	0	0	-0,11	-6	-0,13	-1	
06	0,86	4,40	3,15	0,05	**	**	0,87	**	**	0,4	**	

* A emissão de NOx.....(ilegível no texto original)

** Valores ilegíveis no texto original.

VARIABILIDADE ENTRE LOCAIS DE ENSAIO E MOTORISTAS

Um ensaio realizado em um laboratório de emissão veicular inclui todos os componentes do sistema de medição de emissões, ou seja, o dinamômetro, amostrador de volume constante, a bancada de analisadores, os gases de calibração, o computador e o ambiente. A variabilidade de local para local pode ser influenciada por erros aleatórios ou sistemáticos, devidos a vários componentes de um sistema de medição. Um experimento foi realizado em seis veículos para estabelecer esta variabilidade nas emissões atribuídas ao sistema de medição. Os efeitos ambientais no local de ensaio, causados especificamente pela pressão barométrica e umidade, sobre a variabilidade do veículo, foram excluídas desta estimativa. O experimento também foi programado para determinar a extensão da variabilidade de um motorista para outro.

Os mesmos seis veículos usados para estimar a variabilidade total de um ensaio e a sensibilidade das condições ambientais foram empregados também neste experimento. A programação de ensaios estabeleceu uma série de oito ensaios para cada veículo, sendo realizados em dois locais diferentes, com dois motoristas e duas repetições (Tabela IV do apêndice). Cada ensaio foi realizado conforme um ciclo FTP 75 completo, com pré-condicionamento e um ensaio de emissão evaporativa. A sequência de ensaios foi aleatória a fim de se evitar erros sistemáticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de HC e CO foram corrigidos para as condições padrão de pressão barométrica e umidade através da aplicação de fatores de correção desenvolvidos para estes veículos anteriormente durante a pesquisa sobre a influencia das condições ambientais. Desta maneira foram eliminadas as interações entre os motoristas e as condições ambientais.

Como a temperatura ambiente na área de teste foi mantida a $72^{\circ}\text{F} \pm 1^{\circ}\text{F}$, o efeito da temperatura sobre os resultados da emissão foram assumidos como desprezíveis e nenhuma correção foi aplicada. A técnica de análise de variancia foi aplicada aos dados de cada veículos para separar a variabilidade devida ao local de ensaio e a dos motoristas. Uma estimativa total da faixa de variabilidade devida aos diferentes locais foi obtida tomando-se a raiz quadrada da soma dos quadrados das estimativas das variabilidades dos cinco veículos, dividida pelo número de veículos ensaiados ($n=5$). Uma estimativa global da variabilidade de motorista para motorista foi obtida da mesma maneira. Baseando-se nos resultados deste experimento, a variabilidade de local para local, associada com três dos locais disponíveis em Milford foi: $\pm 7,2\%$ para HC, $\pm 17\%$ para CO, $\pm 1,6\%$ para NO_x e $3,6\%$ para CO_2 . A variabilidade equivalente de motorista para motorista, em termos de $\pm 1,96 \sigma/\bar{x}$, foi estimada em $\pm 8,0\%$ para HC, $\pm 19\%$ para CO, $\pm 2,0\%$ para NO_x e $\pm 0,5\%$ para CO_2 .

SIMULAÇÃO DAS EMISSÕES ATRAVÉS DE COMPUTADOR

Uma simulação via computador do sistema de ensaio de emissão foi desenvolvida sobre um computador híbrido analógico-digital, para se alcançar os seguintes objetivos:

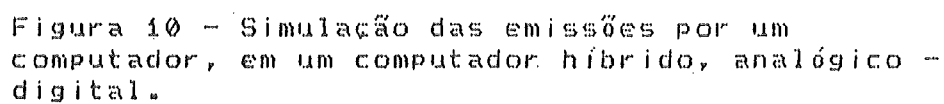
1. simular um veículo, o dinamômetro de chassi, o motorista e o sistema de amostragem de poluentes;
2. prever as concentrações instantânea e média em massa para HC, CO, NOx e CO₂ sobre um padrão de velocidade pré definido como é o ciclo FTP;
3. projetar o modelo para permitir a análise de sensibilidade para parâmetros independentes relativos a emissão, isto é, o efeito das características do dinamômetro sobre as emissões.

DESCRIÇÃO

A simulação por computador (figura 10), consiste de uma modelagem na qual um motorista atua sobre o acelerador ou o freio conforme um sinal de erro de velocidade. Este erro de sinal é a diferença entre a velocidade exigida pelo ciclo e a velocidade real do veículo. O veículo é modelado essencialmente como um sistema estacionário baseado sobre diagramas de motor e emissão. Estes diagramas referem-se aos dados de operação estacionários para um motor funcionando em um dinamômetro de motor. Os diagramas fornecem o torque do motor, o vácuo no coletor de admissão, a relação ar-combustível, as vazões de ar e combustível, o ponto de avanço da ignição e as concentrações de HC, CO, NOx e CO₂, como função da posição da borboleta do carburador e da rotação do motor.

Em complementação a esta simulação com dados de regime estacionário, considerou-se também os efeitos dinâmicos da abertura e fechamento bruscos da borboleta do carburador sobre as mudanças na relação ar-combustível e no vácuo no coletor de admissão e seu efeito correspondente sobre as emissões. O torque do motor é transmitido ao eixo, rodas motrizes e aos rolos do dinamômetro de chassi através de um modelo de transmissão. A velocidade do veículo sobre os rolos do dinamômetro é computada através de um modelo de dinamômetro. Alimentando-se a velocidade computada no veículo contra o modelo do motorista completa-se o "loop".

As emissões em massa são calculadas a partir da densidade e da concentração de cada constituinte e do volume de exaustão. O amostrador de volume constante é simulado através de um sistema de equações que definem a continuidade e o balanço de energia no sistema.



A simulação em computador permite a capacidade de se alterar um parâmetro isoladamente, e verificar o efeito desta alteração nos resultados de emissão. Desta maneira, as interações devidas a outros parâmetros são eliminadas. Na análise de sensibilidade de parâmetros que se segue, os diagramas de motor e de emissão que foram usados na simulação foram de um Chevrolet com 350 pol. cúbicas. Nesta análise, deu-se mais importância às previsões de tendência e às relações de sensibilidades do que a precisão absoluta do modelo. Uma revisão posterior dos dados experimentais a partir dos estudos de sensibilidade deram confiança ao modelo.

Realizou-se também uma validação da capacidade do modelo em prever níveis absolutos, o que melhorou significativamente o grau de confiança da simulação. Os resultados da simulação foram comparados contra os resultados de ensaio de um veículo (Chevy Nova, 4.000 lb), com o mesmo motor e configuração de controle de emissão que foram empregadas na geração dos diagramas de motor e de emissão usadas na simulação. Para estabelecer os níveis médios e a variabilidade dos dados, foram realizados 4 ensaios FTP 75 partida a quente, sob condições ambientais controladas, antes de cada ensaio o veículo foi pre-condicionado durante 5 minutos a 50 mph.

Durante o ensaio, os gases de exaustão do motor foram analisados continuamente para HC, CO, NOx e CO₂. Para estabelecer uma comparação com a simulação alguns outros parâmetros de diagnósticos também foram registrados continuamente em fita analógica, tais como a posição da borboleta do acelerador, o vácuo no coletor de admissão, a rotação do motor e a vazão de combustível. Um conversor catalítico com leito catalítico inerte foi instalado no sistema de escapamento para manter uma contra-pressão apropriada tanto para o ensaio do motor em dinamômetro como para o ensaio de emissão no veículo.

Para o padrão EPA de condução em cidade, a correlação entre os resultados da simulação em computador e as médias dos resultados de emissão do veículo ensaiado apresentou uma variação de 18% para HC; 7% para CO; 4% para NOx; 2% para CO₂ e 2% para economia de combustível (figura 11). Os dados de emissão transiente também mostraram uma boa correlação entre a simulação no computador e os ensaios de emissão no veículo (figura 12).

RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE SIMULAÇÃO POR COMPUTADOR E
DADOS MEDIDOS - FTP 75 - PARTIDA A QUENTE.
VEÍCULO COM 4.000 LB E 350 POL. CÚBICAS.

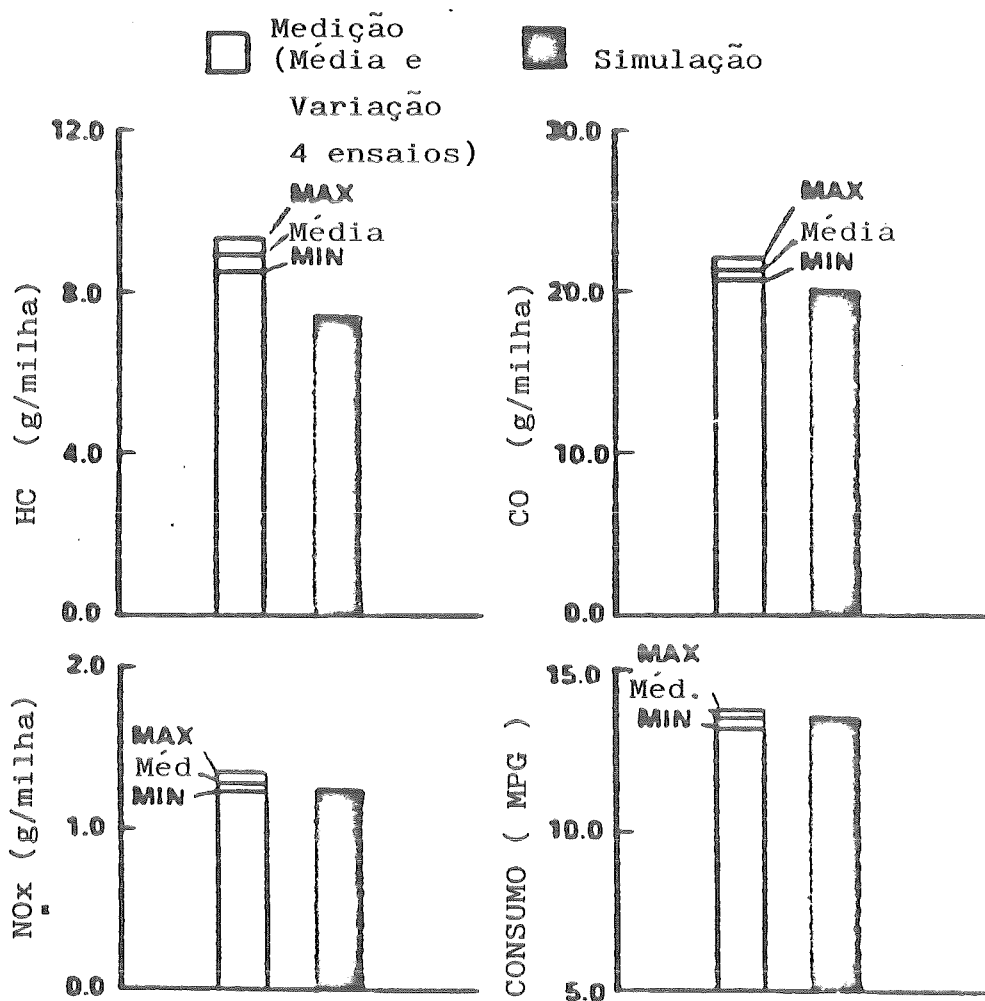


Figura 11 - Os resultados da simulação por computador foram comparados contra os resultados de emissão do veículo equipado com o mesmo motor e configuração de controle de emissão que foi empregado para gerar os diagramas do motor para a simulação. Os resultados mostram uma correlação de 18, 7, 4 e 2 por cento para as emissões de HC, CO, NOx e consumo, respectivamente.

RESULTADOS DE CORRELAÇÃO SIMULAÇÃO POR COMPUTADOR VERSUS DADOS MEDIDOS

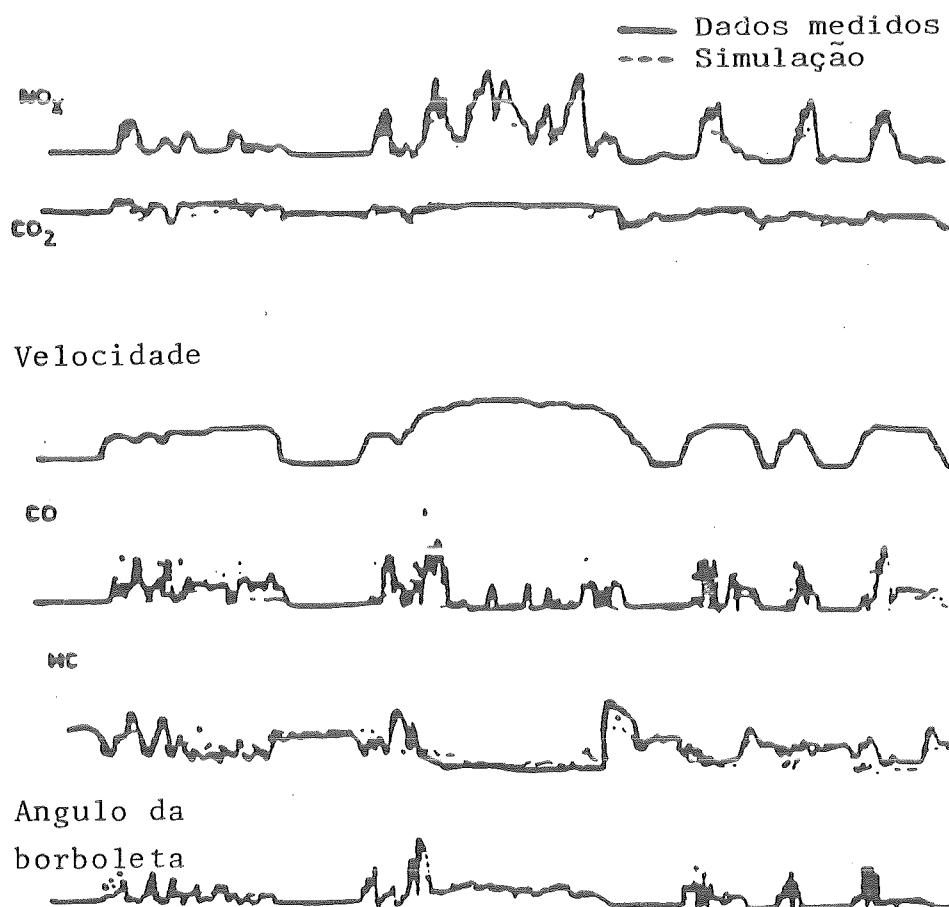


Figura 12 - Comparação dos resultados dos dados de emissão transiente obtidos por simulação em computador e ensaio de emissão em um veículo.

SENSIBILIDADE DO DINAMÔMETRO

Usando-se a simulação por computador, determinou-se a sensibilidade das emissões a variáveis tais como a potência absorvida, a inércia e o atrito do dinamômetro para o ciclo de condução EPA em cidade. As emissões de NO_x e CO_2 parecem ser mais sensíveis às diferenças de carga no dinamômetro (Tabela VII). Por exemplo, um erro de 10% no ajuste de potência em HP a 50 milhas/hora ou um erro de 10% no ajuste da inércia, podem causar diferenças de até 11% para o NO_x e 3,5% para o CO_2 .

Em geral, uma carga excessiva no dinamômetro causa maiores emissões de NO_x e de CO_2 , mas por outro lado, a sensibilidade do HC e do CO dependem da calibração do motor.

SENSIBILIDADE DO MOTORISTA

Para poder estudar a sensibilidade das emissões em relação a variabilidade dos motoristas, incorporou-se ao modelo um número de características de respostas de motoristas representativas das que ocorrem num ensaio real de emissão. Introduziu-se diferentes sistemas de atraso de características e exigências aleatórias de acionamento da borboleta do carburador foram sobrepostas em pontos de aceleração intensa sobre o padrão de velocidade. Os resultados de simulação de motoristas típicos indicaram que para o ciclo FTP 75 obtém-se variações percentuais de até 8,0; 20,0; 7,0 e 3,5 respectivamente para as emissões de HC, CO, NO_x e CO_2 . A faixa desta variabilidade dependerá da calibração do sistema e da perícia dos motoristas.

TABELA VII

SENSIBILIDADE DO DINAMOMETRO À EMISSÃO GERADA EM
SIMULAÇÃO POR COMPUTADOR - CICLO FTP-75

Fonte de erro	Variação percentual			
	HC	CO	NO_x	CO_2
+ 10% no ajuste de potencia a 50 milhas/hora	1,3	1,0	4,0	2,0
+ 0,5 HP na curva de absorção de potencia do dinamometro para todas as velocidades.	1,0	2,0	3,3	1,5
+ 1,0 HP de atrito do pneu com os rolos, a 50 milhas/hora	1,0	1,0	4,0	1,8
+ 10% no ajuste de potencia.	1,0	1,0	11,0	3,5
+ 5 % no torque positivo total nos rolos.	1,0	1,0	5,0	2,6

SENSIBILIDADE DO AMBIENTE

A sensibilidade dos resultados de emissão às variações na pressão barométrica e na umidade relativa foram estudadas incorporando-se um modelo elementar de variação da relação ar-combustível em função da variação na pressão barométrica e na umidade relativa. Para um carburador dotado de venturi(12), este modelo tem a forma:

$$A/F \propto \frac{\sqrt{P_w}}{1 + H}$$

onde:

A/F = relação ar-combustível

P_w = pressão barométrica úmida

H = umidade absoluta [lb. água por lb. de ar seco]

O efeito da variação na relação ar-combustível sobre as emissões foi então empregado para determinar a sensibilidade desejada. Os resultados foram bastante similares àqueles obtidos de ensaios em veículos sob condições controladas.

CONTRIBUIÇÕES RELATIVAS DE FONTES DE VARIABILIDADE

Em estudos realizados anteriormente no M-VEL (2), obteve-se as contribuições relativas das diferentes fontes que afetam a variabilidade total do ensaio, a partir dos resultados de projetos experimentais e de simulação por computador. Os resultados apresentados a seguir apresentam estimativas das contribuições relativas baseadas em um estudo continuado da variabilidade envolvendo um número maior de projetos experimentais sobre veículos e posterior avaliação do sistema de medição. A lei de propagação de erros foi usada para relacionar a variabilidade global ao componente da variabilidade da seguinte maneira

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_{ik}^2$$

onde:

σ_k = é o desvio padrão global para o constituinte k=HC, CO, NO_x e CO₂.

σ_{ik} = é o desvio padrão devido ao componente i para o constituinte k.

i = 1 até n representa o veículo, o dinamômetro, o motorista, o sistema CVS, o sistema de analisadores, os gases de calibração e as condições ambientais do local de ensaio.

A faixa de variação determinada através dos resultados de sensibilidade das pesquisas experimentais e da simulação em computador foi representada por $\pm 1,96 \sigma_{ijk}$. Isto define a faixa para a média em que 95% das medições de ensaios deverão estar inclusas. Por exemplo, a variabilidade devida ao dinamômetro foi determinada através de simulação por computador. O erro total devido ao dinamômetro foi determinado através da combinação dos erros devidos as fontes individuais existentes na área do dinamômetro, baseado na lei de propagação de erros.

Para a avaliação do erro total empregaram-se valores típicos para erros, tais como o erro de $\pm 10\%$, em HP, no ajuste da potência a 50 milhas/hora; $\pm 0,5$ HP de variação na potência absorvida em todas as velocidades e $\pm 0,5$ HP devido resistência de rolamento do pneu no rolo a 50 milhas/hora.

A faixa de variabilidade devida as condições ambientais, mais especificamente a pressão barométrica e a umidade, foram determinadas a partir dos resultados de experimentos removendo-se os efeitos da interação com o motorista. A estimativa da variabilidade devida ao motorista foi obtida combinando-se os resultados das pesquisas experimentais e da simulação por computador.

A variabilidade do veículo foi calculada a partir dos resultados de variabilidade global e da variabilidade devida a outros componentes através de subtração, usando-se a lei de propagação de erros. A faixa de variabilidade devida a cada um dos parâmetros do sistema e a variabilidade global são mostradas na Tabela VIII, expressa em termos de $\pm 1,96$ vezes o desvio padrão dividido pela média, em porcentagem.

As figuras 13 e 14 mostram as contribuições relativas de fontes diferentes à variabilidade total de ensaios expressa pelo quadrado da relação do desvio padrão devido a cada fonte e o desvio padrão global. O veículo, o motorista e as condições ambientais locais contribuem significativamente para a variabilidade do HC e do CO. Por outro lado, as emissões de NOx e CO₂ são mais afetadas pelas diferenças de carga do veículo no dinamômetro. Os gases de calibração e o sistema de análise também afetam de maneira significativa a emissão de NOx. É importante notar que estes resultados refletem uma contribuição relativa média, cuja magnitude depende da interação entre vários componentes.

TABELA VIII

FAIXA DE VARIAÇÃO DA VARIABILIDADE GLOBAL E VARIABILIDADE INDIVIDUAL DE CADA COMPONENTE ($\pm 1,96 \sigma / \bar{x}$) %
CICLO FTP 75

INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Poluente	MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO			MEDIÇÃO EM MASSA					
	V.V. (1) (9)	S.A. (2)	G.C. (3)	C.V.S. (4)	MOT. (5)	DYN. (6)	C.A. (7) (10)	V.T. (8) (11)	
HC	$\pm 16,0$	$\pm 3,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$	$\pm 8,0$	$\pm 1,0$	$\pm 5,0$	$\pm 19,0$	
CO	$\pm 14,5$	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 19,0$	$\pm 1,0$	$\pm 22,5$	$\pm 33,0$	
NOx(12)	$\pm 6,0$	$\pm 4,5$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$	$\pm 2,0$	$\pm 9,0$	
CO ₂	$\pm 3,5$	$\pm 1,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,5$	$\pm 0,5$	$\pm 1,5$	$\pm 1,1$	$\pm 5,0$	

(1) = Variabilidade do veículo.

(2) = Sistema de análise.

(3) = Gás de calibração.

(4) = Amostrador de volume constante.

(5) = Motorista.

(6) = Dinamometro.

(7) = Condições ambientais.

(8) = Variabilidade total.

(9) = A variabilidade do veículo é calculada a partir da variabilidade total e da variabilidade calculada dos componentes individualizados, usando a lei de propagação de erros.

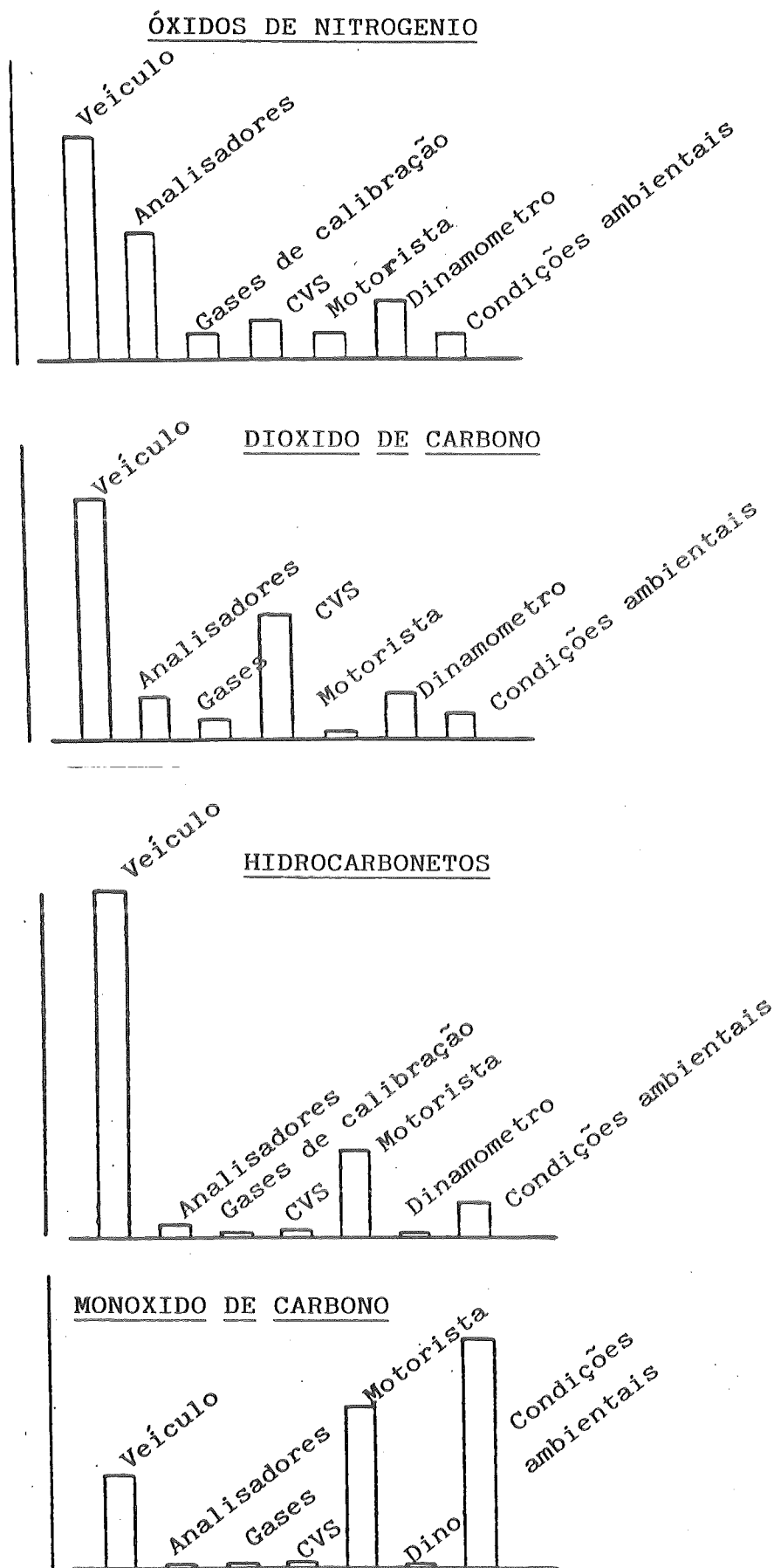
(10) = Variabilidade devida às condições ambientais, eliminadas as interações com o motorista.

(11) = Variabilidade total calculada a partir de veículos experimentais, em tres condições

(12) = A variabilidade dos resultados de NOx foram corrigidas quanto a unidade usando-se o procedimento de correção do Federal Register.

Consequentemente, as fontes de variabilidade tais como o CVS, o sistema de análise e os gases de calibração não podem ser menos significantes na sua contribuição à incerteza de medição de qualquer constituinte. Os erros sistemáticos e aleatórios devidos a estas fontes podem frequentemente exceder em muito a variabilidade esperada associada a este sistema. Portanto, a importância destas variáveis não podem ser ignoradas, especialmente quando comparações A-B são realizadas entre dois ensaios. Os resultados estabelecidos nas figuras 13 e 14, contudo, servem como um guia para a identificação de problemas de variabilidade.

FIG:13/14: FONTES DE VARIABILIDADE - CONTRIBUIÇÕES RELATIVAS



CORRELAÇÃO

O nível de correlação entre locais de ensaio e laboratórios é afetado pela magnitude da variabilidade associada ao sistema de medição. Para assegurar a consistência das medições em qualquer laboratório é essencial que se obtenha um alto grau de correlação. Valores inconsistentes observados em uma série de medições múltiplas em diferentes locais de ensaios ou laboratórios podem ser explicados por alguns erros sistemáticos em um dos componentes. Uma explicação e solução para tais problemas exige contudo o uso extensivo de equipamentos de diagnóstico. Estes métodos auxiliares de diagnóstico podem ajudar a avaliar cada elemento do sistema de ensaio de emissões, a procura de diferenças.

DADOS DE CORRELAÇÃO

A figura 15 apresenta alguns dados de correlação para HC, CO, NOx e CO₂ obtidos de um programa de correlação abrangendo cinco laboratórios da indústria usando um único veículo de correlação. Estes dados foram normalizados em relação ao laboratório do EPA - Environmental Protection Agency e são apresentados na forma de uma média e uma faixa de variação para cada laboratório. A extensão de correlação sobre um carro de correlação atuando em partida quente é ilustrada por estes dados os quais também servem como informação de diagnóstico. Por exemplo, um laboratório pode ser alertado a cerca de uma falha de correlação usando-se métodos auxiliares de diagnóstico tais como um carro de correlação, pois qualquer diferença nos dados gerados por este carro apontam problemas no sistema de medição.

CORRELAÇÃO LABORATORIAL
ENSAIOS A QUENTE
FTP 74

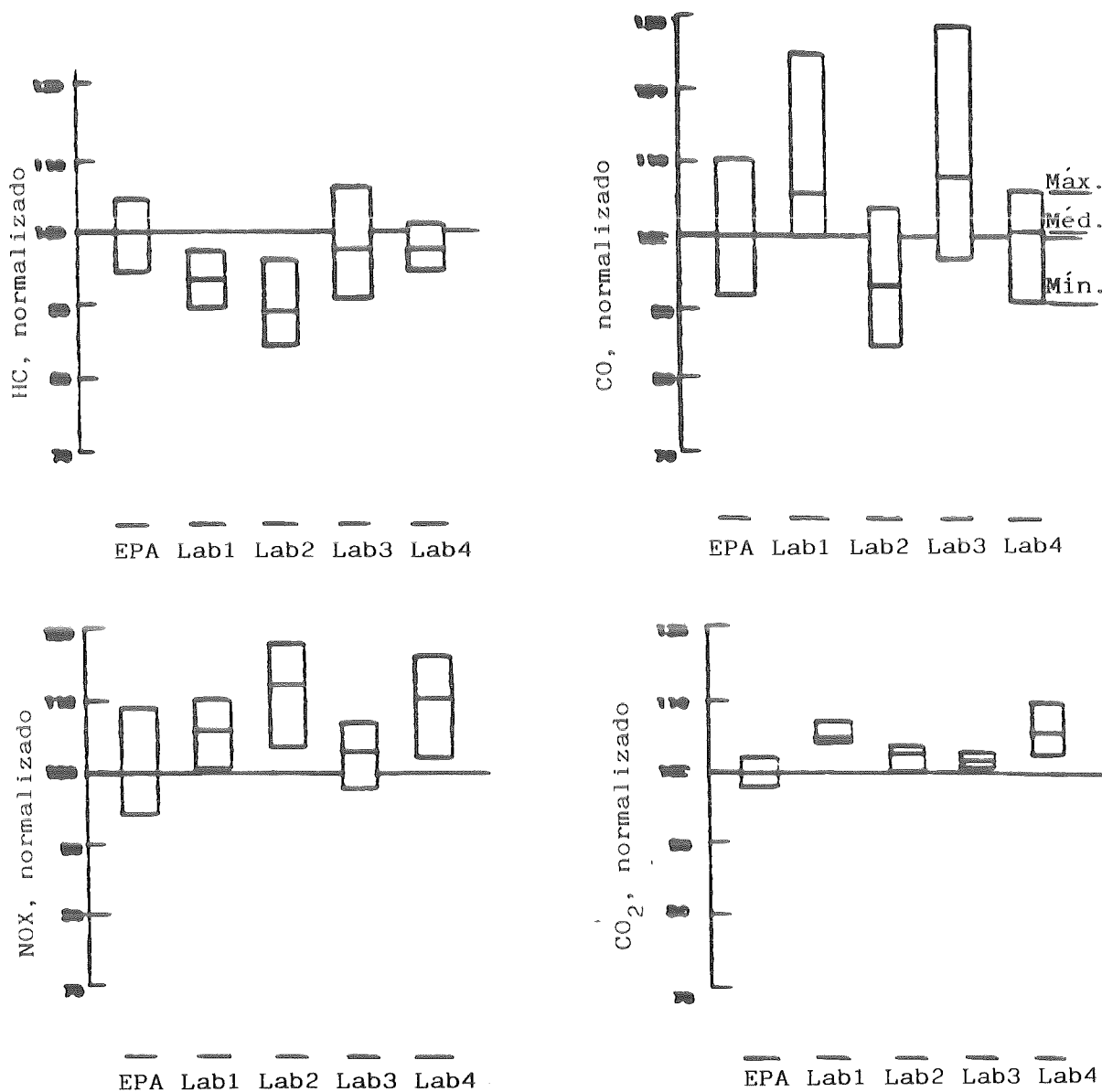


Figura 15 - Correlação entre laboratórios medindo-se HC, CO, NOx e CO₂, em um ensaio FTP 75, a quente, empregando-se um carro de correlação.

MÉTODOS AUXILIARES DE DIAGNÓSTICO

Cada componente da variabilidade do ensaio de emissão afeta a correlação. Vários métodos auxiliares de diagnóstico são usados para identificar e resolver problemas de correlação devidos a cada um dos componentes. Por exemplo, a verificação do sistema de análise e da precisão do CVS são realizadas através de especificações contidas no Federal Register. (1,2) Verificações estáticas de gases, empregando gases padrões também são feitas para fornecer dados que definirão erros devidos aos gases de calibração e ao sistema de análise (2). Os outros métodos de diagnósticos são descritos abaixo:

"BAG CROSS-CHECK"

A integridade global de sistemas de análise localizados em diferentes locais é avaliada analisando-se o gás de exaustão diluído contido em um único saco de amostragem, o qual é passado em todos os locais de ensaio. Os dados são coletados de uma maneira adequada para uma análise estatística e conclusões. Nesta técnica, toma-se um saco de amostragem grande contendo gases de exaustão diluídos tendo concentrações médias representativas da maioria dos veículos GM durante a fase transiente fria do ensaio de emissão. Um local de ensaio ou laboratório é designado como sendo o de "controle" entre os vários que participarão da correlação. A sequência de análise do conteúdo do saco envolve a leitura inicial no laboratório de controle seguindo-se a análise do saco nos outros laboratórios. Esta sequência é mantida até que a análise do conteúdo do saco seja completada em todos os laboratório participantes da correlação.

Esta sequência é repetida integralmente para se conseguir dados consistentes e repetitivos. Durante a realização da análise da concentração dos gases contidos no saco, fazem-se múltiplas leituras (até 3) para se assegurar a média e a variabilidade com confiança. Os dados coletados desta maneira são usados para gerar os erros internos do local de ensaio e os erros entre locais de ensaios, devidos ao sistema de análise de amostras. Em seguida realiza-se a avaliação e aferição individual de cada sistema de análise através da verificação de parâmetros tais como ruído, estabilidade, precisão etc. visando isolar a fonte de erro.

Este método de diagnóstico pode ser realizado num período de uma semana. A cada nova correlação escolhe-se um local de controle diferente, estabelecendo-se uma série histórica de erros estimados que devem ser armazenados para a percepção de qualquer melhoramento.

AVALIAÇÃO DE TORQUE TOTAL (T^3)

O ensaio de avaliação de torque total (T^3) é desenvolvido em conjunção com: (a) um conjunto de volantes calibrados que tem "strain gauges" montados sobre o seu medidor de torque, e (b) uma quinta roda pequena posicionada adequadamente sobre o rolo do dinamômetro para a medição da velocidade. Este equipamento acumula as leituras de torque e calcula a potência em HP nas rodas motrizes de um veículo sendo conduzido em qualquer padrão de velocidade. Desta maneira, obtém-se uma estimativa do trabalho total realizado pelo veículo. O equipamento fornece também uma indicação contínua dos torques positivos e negativos acumulados, a potência e a distância percorrida. Em outro modo de operação, os valores instantâneos são mostrados no visor frontal do aparelho. Este mecanismo também pode ser usado para a caracterização de um dinamômetro, isto é, avaliação de inércia, a curva estacionária carga-velocidade etc.

Por exemplo, para a estimativa da inércia simulada no dinamômetro, um veículo equipado com rodas de torque pode ser dirigido sobre dinamômetro com conjunto de diferentes relações constantes de aceleração ou desaceleração. O ensaio de avaliação de torque total pode ser usado para armazenar o torque obtido em cada uma destas relações de aceleração. A declividade da linha do torque médio contra a curva de aceleração fornecerá a inércia do sistema. A inércia simulada do dinamômetro é obtida subtraindo-se a inércia dos dois pneus girando sobre o rolo da inércia calculado do sistema.

Em trabalhos de correlação, o ensaio de avaliação de torque auxilia na determinação de diferenças entre dinamômetros. Os resultados de sensibilidades estimados teoricamente (figura 16), auxiliam na interpretação dos resultados do ensaio de avaliação de torque total.

SENSIBILIDADE DO TORQUE NO EIXO MOTRIZ
EM RELAÇÃO AOS AJUSTES DE POTENCIA E
INERZIA NO DINAMOMETRO = FTP - 75

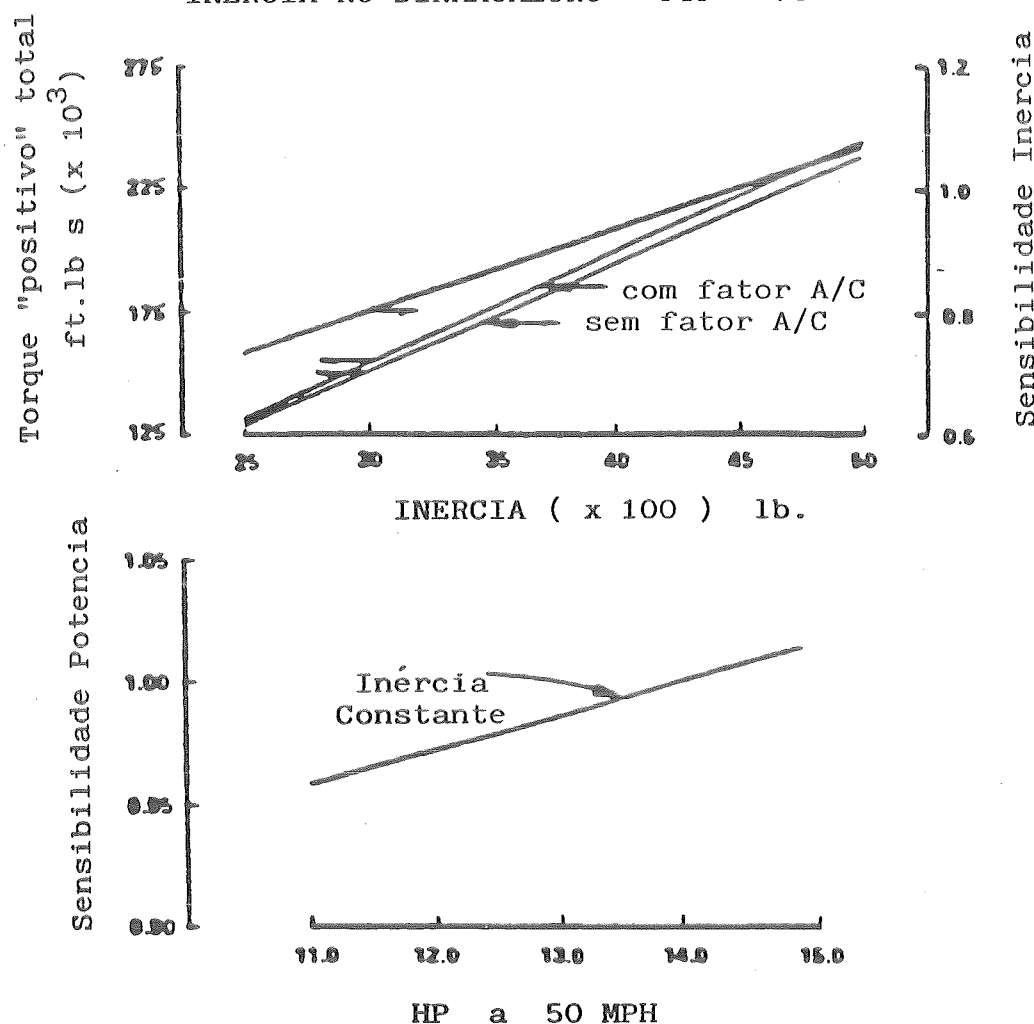


Figura 16 - Os resultados de sensibilidade teórica ajudam a interpretar os dados do ensaio de torque total. O torque total agindo sobre o eixo de tração, com sinal positivo, indica trabalho realizado, e aumenta com o aumento da carga sobre o veículo.

AVALIAÇÃO DO MOTORISTA

O propósito da avaliação do motorista é fornecer uma estimativa do padrão de direção dos motoristas. O sistema calcula instantaneamente a taxa de mudança de um sinal tal como o vácuo do coletor de admissão durante o ensaio e acumula as perturbações causadas por frequências acima do normal. Os resultados são convertidos adequadamente em uma pontuação que se inicia em 100 e diminui a medida que se acumula a contagem. Este aparelho é usado para o treinamento de motorista e para se encontrar diferenças entre motoristas dirigindo um mesmo carro.

CARRO DE CORRELAÇÃO

Visando reduzir os efeitos da variabilidade do veículo em ensaios de correlação, um carro de produção é convertido em um "carro de correlação", através de várias modificações, que procuram tornar o carro mais repetitivo nos ensaios de partida quente. Desta maneira muitos ensaios podem ser realizados em um período de tempo relativamente curto, o que auxiliará na determinação estatística das diferenças entre locais ou laboratórios para qualquer poluente ou parâmetro considerado.

As principais modificações a serem introduzidas no veículo são as seguintes:

1. **carburador** - remover o segundo corpo, bomba de aceleração etc. ou torná-lo inoperante. A calibração foi levemente enriquecida para assegurar uma dirigibilidade aceitável e consistente com os resultados de emissão que se deseja. Para minimizar o aquecimento da cuba do carburador deve-se instalar um espessador isolante de uma polegada de espessura entre a base do carburador e a flange do coletor de admissão;
2. **sistema de ignição** - instalou-se um sistema de ignição de alta energia, eliminou-se o avanço a vácuo e adotou-se cabos de vela resistentes a altas temperaturas;
3. **acessórios** - todos os acessórios periféricos acionados pelo motor, com exceção da bomba d'água e do ventilador foram removidos. Um alternador "dummy" foi usado para tencionar a correia. Todas as funções supridas pelo vácuo do motor, exceto modulador de mudança da transmissão, foram eliminados. Um carregador de bateria foi instalado para manter sua carga.
4. **freios** - instalou-se um sistema de freios sobre dimensionado, próprio de um veículo utilitário, no eixo de tração do veículo;

5. motor - os sistemas de recirculação de gases de exaustão e de injeção de ar foram eliminados, assim como o elemento do filtro de ar.
6. suprimento de combustível - instalou-se um tanque especial com capacidade de 15 litros e pressurizado com ar a 6 psi de pressão para constituir um suprimento de combustível para o carburador a uma temperatura constante e uma pressão sem ocorrências de pulsos.

Este carro estava equipado também com medidor de combustível, um avaliador de motorista, e manômetros para medir a temperatura da água e a pressão e a temperatura do óleo lubrificante.

Comparando-se os dados típicos de variabilidade do HC, CO, NOx, CO₂ obtidos de um carro comum e do carro de correlação, verifica-se uma redução substancial na variabilidade do carro de correlação. (figura 17). Do ponto de vista de correlação, a realização de múltiplos ensaios em diferentes locais empregando-se o carro de correlação poderá resultar em diferenças importantes. Deste modo, quando se compara dois locais de ensaio, se um dos locais apresentar uma emissão maior de CO₂ e NOx e uma menor economia de combustível em relação a outro local, então pode-se deduzir que no primeiro local o veículo foi provavelmente submetido a uma carga maior no dinamômetro, necessitando portanto alguma investigação sobre a calibração do dinamômetro e da velocidade dos rolos do dinamômetro. Contudo, se o consumo de combustível baseado no medidor de combustível e aquele determinado pelo cálculo segundo balanço de carbono não confere, indica a combinação de problemas na carga do dinamômetro e nas medições. De uma maneira similar as diferenças das medições de HC e CO podem ser analisadas. Fatores de correção tem sido desenvolvidos para HC e CO para corrigir sua concentração em relação às condições padrão de pressão barométrica e umidade.

Portanto quando se comparam os resultados de CO e HC corrigidos em locais diferentes e se observa um erro sistemático em um local, ele indica problemas no sistema de análise. Por outro lado, uma mudança em todos constituintes de exaustão em uma direção, associada com uma relação inconsistente entre consumo de combustível medido e aquele calculado através do balanço de carbono, demonstra problemas de vazão no sistema CVS, exigindo uma avaliação do mesmo para isolar esta fonte de erro.

Todos os instrumentos de diagnóstico descritos neste artigo ajudam a estabelecer a integridade do sistema de medição de emissões cuja precisão necessita ser mantida para fornecer consistência ou confiança nas medições. Este artigo não tem a pretensão de ser um manual do usuário que fornece procedimentos passo a passo para resolver problemas de variabilidade, contudo, fornece uma descrição de várias técnicas de diagnóstico e de reparações necessárias para avaliar a integridade de um sistema de ensaio.

COMPARAÇÃO DA VARIABILIDADE ENTRE UM CARRO DE CORRELAÇÃO E UM CARRO DE PRODUÇÃO NORMAL

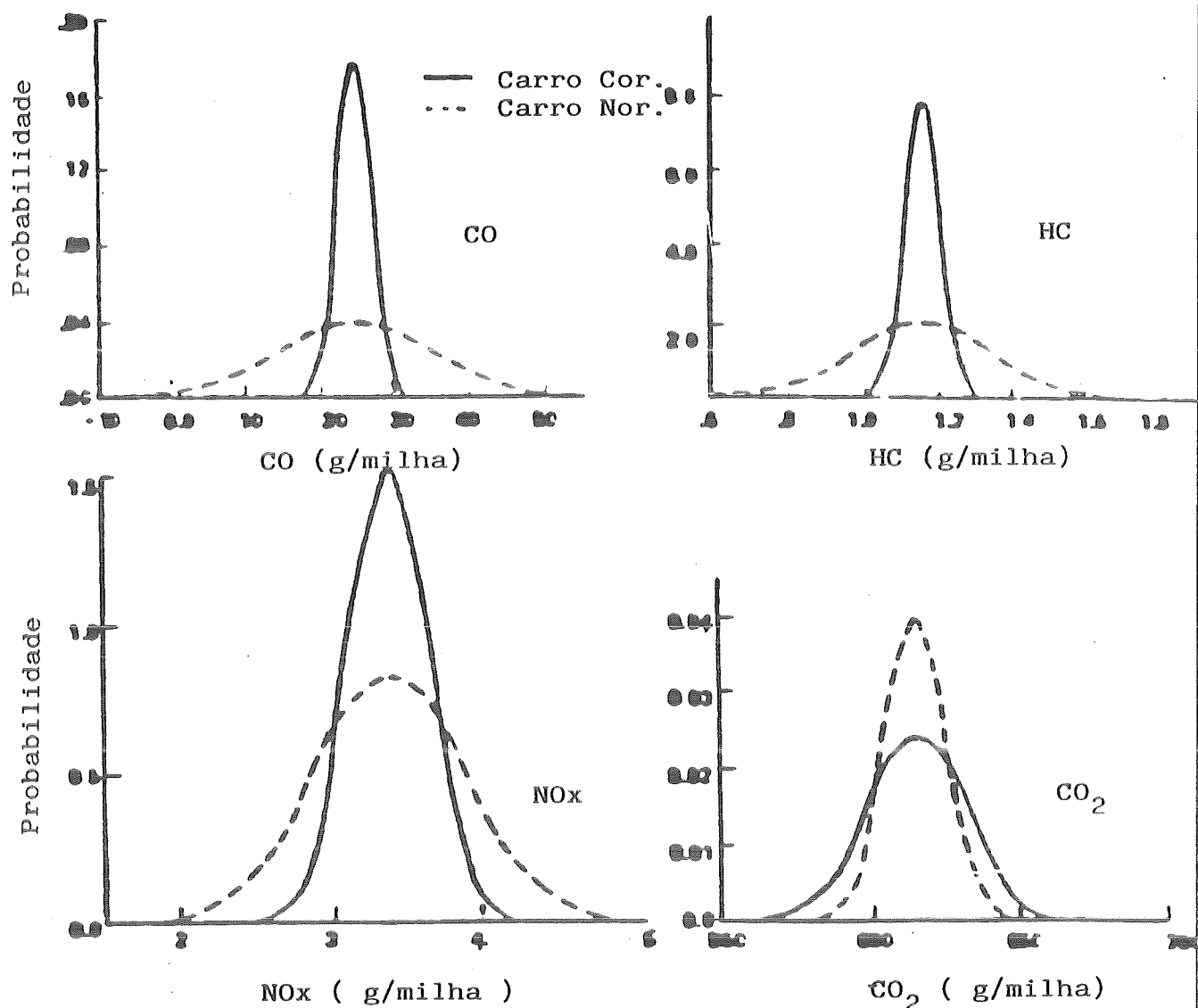


Figura 17 - Comparação da variabilidade das emissões de HC, CO, NOx e CO₂ entre um carro de correlação e um carro de produção normal.

PROCEDIMENTOS PARA REDUZIR A VARIABILIDADE EM ENSAIOS DE EMISSÃO

A variabilidade global do ensaio de emissão é constituída pela somatória da variabilidade do veículo e pelas incertezas de medição. Considerando que o engenheiro deve sempre buscar a diminuição da sensibilidade das emissões frente a mudanças nos parâmetros que afetam a variabilidade do veículo, a redução nas incertezas de medição exigem um esforço concentrado pelo laboratório de ensaio para manter as variáveis envolvidas dentro de estreitos limites de variação.

Para reduzir a variabilidade do veículo, parâmetros tais como a repetibilidade e sensibilidade do afogador do carburador, a sensibilidade nas variações da borboleta do carburador e sensibilidade do sistema de emissão evaporativa sobre a variabilidade do pré-condicionamento etc., devem ser avaliadas e são exigidas modificações de projetos para diminuir a sensibilidade. Por outro lado, para minimizar o erro nas medições a baixas concentrações de poluentes, a instrumentação de análise deve ser sempre a de melhor tecnologia disponível para a quantificação das emissões. A manutenção e a calibração do sistema de análise, do sistema CVS e do dinamômetro precisa ser realizada regularmente para assegurar o mínimo erro. Os técnicos e motoristas do laboratório precisam receber treinamento teórico e prático suficiente para evitar erros de procedimentos em excesso. E concluindo, acima de tudo, é fundamental controlar as condições ambientais do laboratório, no mínimo a umidade e temperatura, para ajudar a reduzir a variabilidade global.

SUMÁRIO

1. Os limites de variabilidade devido aos erros de medição e a variabilidade do veículo em um ensaio de emissão conforme o ciclo FTP-75 são estimados em $\pm 19\%$ para a média de HC, $\pm 3\%$ para a média de CO, $\pm 9\%$ para a média de NOx e $\pm 5\%$ para a média de CO₂. Estes limites definem a faixa para a qual espera-se abranger 95% das medições de ensaio, caso não haja variação na condição dos veículos ensaiados;
2. A variabilidade é variável dependendo da interação entre as fontes que contribuem para a variabilidade total, contudo o entendimento destas fontes torna a variabilidade previsível em geral;
3. A variabilidade do veículo é responsável pela maior parte da variabilidade global. As variações devidas ao motorista e às condições ambientais do laboratório contribuem significativamente na variabilidade das emissões de HC e CO. Por outro lado, as emissões de NOx e CO₂ são afetadas mais marcadamente pelas diferenças no ajuste de potência e inércia no dinamômetro;
4. A importância de qualquer uma das outras fontes de variabilidade existentes, tais como o sistema CVS, o sistema de análise e os gases de calibração, não podem ser ignorados, especialmente quando se comparam os resultados de emissão entre dois laboratórios considerando apenas dois ensaios;

5. Os métodos auxiliares de diagnóstico de erros, tais como a determinação da pureza dos gases de trabalho através de comparação contra padrões primários, o ensaio CFO, o ensaio "bag cross check", o ensaio de avaliação de torque e o carro de correlação, podem ser usados para identificar e resolver problemas de variabilidade e correlação. Ao mesmo tempo é fundamental que se estabeleça uma programação de manutenção e calibração de todos os componentes do sistema de medição para reduzir ao mínimo os erros associados ao sistema.

ANEXOS

USERS\DEPL\HOMERO\VARIABLE.WS5
20.07.93

REFERENCES

1. Federal Register, "Control of Air Pollution from New Motor Vehicles and New Motor Vehicle Engines, "Vol. 38, No. 124, June 28, 1973, Part III.
2. W. K. Juneja, D. D. Horschler and H. M. Haskew, "Exhaust Emission Test Variability", paper presented at the Specialty Conference on Air Pollution Measurement Accuracy as it Relates to Regulation Compliance, New Orleans, Louisiana, October 26-28, 1975.
3. H. Klingenberg, M. Fock, K. Lies, and L. Pazsitka, "A Critical Study of the United States Exhaust Emission Certification - Test - Error Analysis for the Test Procedure", paper for presentation at the 67th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Denver, Colorado, June 1974.
4. M. Fock, K. Lies and L. Pazsitka, "Critical Study of the United States Exhaust Emission Certification Test - Error and Probability Analysis", Paper 750678 presented at SAE Fuels and Lubricants Meeting, Houston, Texas, June 1975.
5. C. D. Paulsell and R. E. Kruse, "Test Variability of Emission and Fuel Economy Measurements Using the 1975 Federal Test Procedure", Paper 741035 presented at the SAE Automobile Engineering Meeting, Toronto, Canada, October 1976.
6. D. Milks and R. A. Matula, "Emissions and Fuel Economy Test Methods and Procedures for Light Duty Motor Vehicles - A Critique", Paper 760141 presented at the SAE Automotive Engineering Congress and Exposition, Detroit, Michigan, February 1976.
7. M. G. Natrella, "Experimental Statistics", National Bureau of Standards Handbook 91, U. S. Government Printing Office, Washington, D.C. 1963.
8. D. J. Patterson, and N. A. Heinein, "Emission from Combustion Engines and Their Control", Arbor Science Publishers, Inc., Michigan, 197
9. J. A. Tysver, "General Motors Environmental Chamber for Vehicle Emission Testing", Paper 741003 presented at Automobile Engineering Meeting, Toronto, Canada, October 1974.
10. R. K. Otnes, and L. Enochson, "Digital Time Series Analysis", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1966.
11. N. R. Draper and H. Smith, "Applied Regression Analysis", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1966.
12. E. F. Oberl, "Internal Combustion Engines", International Textbook Company, Pennsylvania 1968.
13. G. D. Reschke, "Optimization of a Flame Ionization Detector for Determination of Hydrocarbons Diluted Automotive Exhaust", paper to be presented at SAE International Automotive Engineering Congress, Detroit, Michigan, February 1977.

APPENDIX

DESCRIPTION OF VEHICLES:

Vehicle -

PG-73275 - Chevrolet, 350 CID, 4 bbl, EGR, AIR, 260 inch³ underfloor catalytic converter.
B-8392 - Buick, 455 CID, 4 bbl, CCS, 260 inch³ underfloor catalytic converter.

REPCA I - Chevrolet 350 CID, 4 bbl with several modifications for emission test repeatability.

PG-5501 - Chevrolet, 350 CID, 4 bbl, EGR, AIR (manifold), 260 inch³ underfloor converter.

PG-5502 - Chevrolet, 350 CID, 4 bbl, EGR, AIR (converter), 260 inch³ underfloor converter.

PG-5503 - Chevrolet, 350 CID, 4 bbl, EGR, AIR (converter), 260 inch³ underfloor converter.

PG-5504 - Oldsmobile, 350 CID, 4 bbl, EGR,

260 inch³ underfloor converter.

PG-5505 - Oldsmobile, 350 CID, 4 bbl, EGR, 260 inch³ underfloor converter.

PG-5506 - Oldsmobile, 350 CID, 4 bbl, EGR, 260 inch³ underfloor converter.

FUEL ECONOMY BASED ON CARBON BALANCE TECHNIQUE:

$$MPG = \frac{2423}{0.866 \text{ HC} + 0.429 \text{ CO} + 0.273 \text{ CO}_2}$$

where:

HC, CO, CO₂ are the respective weighted grams per mile from a 1975 FTP test.

Table I - Summary of Test Variability Analysis

Car No.	Nominal Test Mileage	No. of Tests	Grams Per Mile							
			HC		CO		NO _x		CO ₂	
			Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
5501	5000	8	.35	.038	1.69	.30	1.80	.064	886.5	20.6
5502	5000	8	.42	.032	5.32	.90	1.86	.213	756.7	39.3
5503	5000	8	.56	.066	7.92	1.71	2.49	.077	701.3	19.0
5504	5000	8	.29	.038	3.00	.38	1.45	.050	689.3	14.5
5505	5000	8	.35	.040	3.26	.47	1.83	.193	647.2	27.5
5506	5000	7	.46	.043	6.23	.56	2.64	.062	617.0	14.2

Results from Analysis of Variance Measurement Error - Within-Vehicle Variability

	Grams Per Mile			
	6 Vehicle Grand Mean ($\bar{X}$)	Standard Deviation (σ)	"Range" ($\pm 1.96\sigma$)	"Range" as a % of Mean ($\pm 1.96\sigma/\bar{X}$)
HC	.41	.044	$\pm .087$	± 21
CO	4.53	.873	± 1.712	± 38
NO _x	2.03	.130	$\pm .256$	± 13
CO ₂	716.6	24.345	± 47.716	± 7

Table II - Summary of Test Variability Analysis

Car No.	Nominal Test Mileage	No. of Tests	Grams Per Mile							
			HC		CO		NO _x		CO ₂	
			Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
5501	10000	8	.40	.079	1.95	.37	1.68	.059	862.9	19.6
5502	10000	8	.46	.031	5.57	.70	2.00	.046	726.4	20.0
5503	10000	8	.63	.040	7.51	.52	2.55	.045	650.3	14.0
5504	10000	8	.40	.047	3.81	.72	1.61	.080	764.7	16.1
5505	10000	8	.37	.046	2.92	.80	1.86	.067	655.8	20.3
5506	10000	8	.53	.049	5.83	.71	2.77	.116	614.0	13.2

Results from Analysis of Variance
Measurement Error +
Within-Vehicle Variability

	Grams Per Mile			
	6 Vehicle Grand Mean ($\bar{X}$)	Standard Deviation (σ)	"Range" ($\pm 1.96\sigma$)	"Range" as a % of Mean ($\pm 1.96\sigma / \bar{X}$)
HC	.47	.051	$\pm .100$	± 21
CO	4.60	.653	± 1.279	± 28
NO _x	2.08	.074	$\pm .144$	± 7
CO ₂	712.3	17.463	± 34.227	± 5

Table III - Summary of Test Variability Analysis

Car No.	Nominal Test Mileage	No. of Tests	Grams Per Mile							
			HC		CO		NO _x		CO ₂	
			Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
5501	15000	8	.59	.031	1.82	.25	1.42	.045	857.8	8.4
5502	15000	8	.47	.034	5.52	1.00	2.09	.046	746.2	16.3
5503	15000	8	.64	.028	7.41	.83	2.44	.047	657.4	8.4
5504	15000	8	.38	.047	3.50	.49	1.36	.054	671.9	11.3
5505	15000	8	.49	.038	4.01	1.04	2.22	.046	607.3	17.4
5506	15000	8	.53	.051	5.38	.90	3.01	.150	602.8	16.2

Results from Analysis of Variance
Measurement Error +
Within-Vehicle Variability

	Grams Per Mile			
	6 Vehicle Grand Mean ($\bar{X}$)	Standard Deviation (σ)	"Range" ($\pm 1.96\sigma$)	"Range" as a % of Mean ($\pm 1.96\sigma / \bar{X}$)
HC	.52	.039	$\pm .076$	± 15
CO	4.61	.804	± 1.576	± 34
NO _x	2.09	.075	$\pm .147$	± 7
CO ₂	690.6	13.529	± 26.517	± 4

Table IV - Test Variability Data

Car No.	Nominal Test Mileage	Site	Driver	Grams Per Mile				Fuel Economy MPG	Barom. Pressure In. Hg	Humidity Gr. /lb.
				HC	CO	NO _x	CO ₂			
5501	5000	AC	E	.391	1.91	1.76	902.6	9.8	29.20	53.0
5501	5000	AB	C	.311	1.59	1.70	871.0	10.2	29.04	53.5
5501	5000	AC	E	.332	1.53	1.84	921.6	9.6	28.61	54.6
5501	5000	AB	C	.399	2.09	1.79	870.6	10.1	28.26	51.2
5501	5000	AC	C	.392	1.39	1.86	895.6	9.9	29.06	49.1
5501	5000	AB	E	.307	1.69	1.86	867.7	10.2	29.08	53.4
5501	5000	AC	C	.325	1.26	1.84	906.4	9.8	29.25	52.9
5501	5000	AB	E	.367	2.03	1.72	872.7	10.1	28.49	47.9
5502	5000	AB	D	.456	5.80	1.86	732.7	11.9	28.97	49.3
5502	5000	AB	D	.452	3.62	1.40	671.0	13.1	28.26	51.1
5502	5000	AC	B	.421	6.68	2.13	790.8	11.1	29.02	53.5
5502	5000	AB	B	.375	4.79	2.00	755.6	11.6	29.23	54.6
5502	5000	AC	B	.405	5.53	1.92	779.1	11.2	28.94	47.7
5502	5000	AC	D	.399	4.86	1.84	785.6	11.2	28.46	50.6
5502	5000	AC	D	.454	5.71	1.79	764.0	11.5	28.73	51.6
5502	5000	AB	B	.390	5.53	1.93	774.8	11.3	28.81	51.4
5503	5000	AB	C	.638	8.16	2.43	683.1	12.7	28.99	53.6
5503	5000	AC	E	.640	10.53	2.49	728.0	11.9	28.54	54.8
5503	5000	AC	E	.516	8.83	2.42	711.1	12.2	27.84	52.3
5503	5000	AC	C	.628	7.66	2.43	716.9	12.1	28.88	51.2
5503	5000	AB	C	.654	8.76	2.41	675.4	12.8	28.34	55.4
5503	5000	AC	C	.509	5.85	2.52	715.4	12.2	29.04	49.1
5503	5000	AB	E	.565	8.36	2.59	694.7	12.5	29.14	53.2
5503	5000	AB	E	.502	5.19	2.60	686.2	12.8	29.31	52.8
5504	5000	AB	G	.357	3.26	1.42	692.5	12.7	29.11	40.5
5504	5000	AB	H	.241	2.22	1.36	686.7	12.8	28.99	28.8
5504	5000	AC	G	.332	2.86	1.48	715.1	12.3	28.98	49.3
5504	5000	AB	G	.265	2.77	1.45	682.2	12.9	28.70	51.6
5504	5000	AB	H	.274	3.11	1.41	664.8	13.2	28.62	47.5
5504	5000	AC	G	.305	3.22	1.52	697.0	12.6	28.66	50.1
5504	5000	AC	H	.296	3.07	1.52	694.2	12.7	28.69	50.0
5504	5000	AD	L	.271	3.46	1.47	681.6	12.9	28.63	45.9
5505	5000	AC	H	.372	3.41	1.89	677.1	13.0	28.69	50.0
5505	5000	AC	H	.362	3.09	1.90	674.0	13.0	28.91	49.4
5505	5000	AB	D	.342	2.82	1.88	651.2	13.5	29.00	49.2
5505	5000	AB	D	.329	3.14	1.76	643.1	13.7	28.41	50.8
5505	5000	AB	H	.351	3.43	1.94	639.7	13.7	28.39	55.2
5505	5000	AC	D	.264	3.02	1.38	591.2	14.9	28.69	50.0
5505	5000	AC	D	.403	4.28	2.00	665.4	13.2	28.37	55.3
5505	5000	AB	H	.363	2.89	1.88	636.3	13.8	28.77	54.2
5506	5000	AB	A	.425	6.05	2.86	611.3	14.3	28.62	48.6
5506	5000	AC	H	.517	6.56	2.73	623.3	14.0	28.70	50.0
5506	5000	AC	G	.500	6.08	2.89	630.8	13.6	28.86	49.6
5506	5000	AB	H	.434	6.04	2.92	599.3	14.6	28.39	55.2
5506	5000	AC	D	.519	7.26	2.82	633.0	13.7	28.36	55.3
5506	5000	AC	D	.519	6.23	2.85	622.9	14.0	28.72	56.0
5506	5000	AB	H	.447	5.40	2.81	596.2	14.6	28.59	51.9

Table V - Test Variability Data

Car No.	Nominal Test Mileage	Site	Driver	Grams Per Mile				Fuel Economy MPG	Barom. Pressure In. Hg	Humidity Gr. /lb.
				HC	CO	NO _x	CO ₂			
5501	10000	AB	A	.584	2.34	1.60	840.9	10.5	28.94	53.6
5501	10000	AB	E	.384	2.18	1.65	841.3	10.5	27.96	55.1
5501	10000	AB	E	.357	1.82	1.64	845.3	10.4	28.61	54.6
5501	10000	AC	E	.356	2.09	1.69	865.7	10.2	28.35	53.7
5501	10000	AC	E	.369	2.17	1.70	885.6	10.0	28.82	51.3
5501	10000	AC	A	.377	1.95	1.74	880.3	10.0	28.73	57.2
5501	10000	AC	A	.381	1.88	1.77	886.8	10.0	28.74	55.9
5501	10000	AB	A	.398	1.14	1.62	857.2	10.3	28.78	48.8
5502	10000	AB	G	.492	5.74	2.04	719.1	12.1	28.58	54.7
5502	10000	AC	G	.463	5.32	1.96	733.5	11.9	28.87	53.9
5502	10000	AB	E	.473	6.01	1.96	707.4	12.4	27.97	56.4
5502	10000	AB	E	.460	6.07	1.94	701.0	12.5	28.61	54.6
5502	10000	AB	G	.510	5.57	1.99	708.2	12.4	28.75	54.3
5502	10000	AC	E	.433	5.31	2.07	740.9	11.8	28.35	53.7
5502	10000	AC	G	.434	5.12	2.02	749.8	11.7	28.74	57.6
5502	10000	AC	E	.421	4.43	2.05	751.1	11.7	28.83	55.7
5503	10000	AC	G	.686	8.62	2.48	665.8	13.0	28.40	55.2
5503	10000	AC	C	.632	7.20	2.55	656.6	13.3	28.60	56.3
5503	10000	AB	G	.611	7.70	2.59	637.0	13.6	28.58	56.4
5503	10000	AB	C	.698	7.34	2.56	640.7	13.6	28.70	56.0
5503	10000	AC	G	.599	7.14	2.58	662.9	13.1	28.87	53.9
5503	10000	AB	G	.594	7.49	2.50	637.2	13.6	27.96	56.4
5503	10000	AB	C	.600	7.64	2.53	635.4	13.7	28.52	56.5
5503	10000	AC	C	.621	6.94	2.61	666.9	13.1	28.77	54.2
5504	10000	AB	G	.361	3.18	1.47	749.7	11.7	28.81	49.7
5504	10000	AC	I	.423	4.03	1.66	771.6	11.4	28.51	50.5
5504	10000	AC	I	.459	3.94	1.56	774.3	11.4	28.43	50.7
5504	10000	AC	G	.381	3.44	1.54	786.1	11.2	28.72	43.1
5504	10000	AB	I	.474	5.29	1.68	764.3	11.5	28.70	56.0
5504	10000	AC	G	.379	4.09	1.63	777.5	11.3	28.86	47.9
5504	10000	AB	I	.351	2.99	1.68	757.0	11.6	29.16	48.8
5504	10000	AB	G	.365	3.49	1.68	737.0	11.9	28.83	54.0
5505	10000	AC	J	.379	2.79	1.82	657.4	13.4	28.22	55.7
5505	10000	AC	J	.353	3.86	2.01	685.5	12.8	28.74	51.5
5505	10000	AC	F	.289	1.10	1.80	677.3	13.0	28.79	51.4
5505	10000	AC	G	.396	3.02	1.86	673.1	13.1	28.73	54.3
5505	10000	AB	F	.454	3.23	1.87	637.3	13.8	28.93	49.4
5505	10000	AB	J	.386	3.24	1.89	639.6	13.7	29.02	51.9
5505	10000	AB	F	.397	3.05	1.82	640.8	13.7	28.82	49.7
5505	10000	AB	J	.344	3.05	1.83	635.5	13.8	28.75	54.3
5506	10000	AC	J	.609	6.67	2.56	611.9	14.2	28.26	55.6
5506	10000	AC	G	.492	5.91	2.68	627.7	13.9	28.76	54.2
5506	10000	AC	G	.608	7.06	2.64	627.6	13.8	28.71	54.4
5506	10000	AB	G	.509	5.78	2.89	602.0	14.5	28.87	50.6
5506	10000	AB	G	.490	5.00	2.84	605.8	14.4	29.16	44.6
5506	10000	AB	E	.534	5.13	2.84	602.6	14.5	28.86	49.6
5506	10000	AB	E	.506	5.51	2.87	601.5	14.5	28.69	54.4
5506	10000	AC	E	.507	5.59	2.81	632.8	13.8	29.19	53.1

Table VI - Test Variability Data

Car No.	Nominal Test Mileage	Site	Driver	Grams Per Mile				Fuel Economy MPG	Barom. Pressure In. Hg	Humidity Gr. /lb
				HC	CO	NO _x	CO ₂			
5501	15000	AB	A	.587	1.48	1.45	840.0	10.5	28.90	52.8
5501	15000	AB	B	.593	1.68	1.46	862.1	10.2	29.01	48.2
5501	15000	AB	B	.612	2.18	1.48	861.7	10.2	28.94	52.7
5501	15000	AA	B	.567	1.93	1.39	861.7	10.2	28.82	51.3
5501	15000	AA	B	.564	1.90	1.38	867.6	10.2	28.81	49.7
5501	15000	AA	A	.540	1.49	1.40	859.7	10.3	28.98	50.9
5501	15000	AB	A	.622	1.86	1.35	852.2	10.4	28.82	53.0
5501	15000	AA	A	.629	2.02	1.43	857.2	10.3	28.74	52.6
5502	15000	AC	G	.423	6.86	2.13	764.9	11.4	28.83	53.0
5502	15000	AC	G	.438	5.07	2.13	755.9	11.6	28.43	55.7
5502	15000	AC	C	.512	5.53	2.17	764.0	11.5	28.67	53.4
5502	15000	AC	C	.440	6.34	2.06	760.1	11.5	28.76	53.1
5502	15000	AB	G	.499	5.63	2.08	730.3	12.0	28.40	54.1
5502	15000	AB	G	.504	5.95	2.03	732.2	11.9	29.18	45.3
5502	15000	AB	C	.483	5.30	2.09	733.6	11.9	29.34	47.4
5502	15000	AB	C	.457	3.48	2.06	729.0	12.1	28.56	53.7
5503	15000	AC	C	.609	6.99	2.47	659.0	13.2	28.98	49.3
5503	15000	AC	G	.609	7.08	2.48	668.1	13.0	28.82	53.0
5503	15000	AC	G	.622	9.22	2.39	659.7	13.1	28.45	55.6
5503	15000	AC	C	.690	7.68	2.48	666.0	13.0	28.63	53.5
5503	15000	AB	G	.642	7.37	2.42	654.3	13.3	28.73	50.6
5503	15000	AB	C	.663	7.12	2.48	651.7	13.4	28.09	57.7
5503	15000	AB	G	.630	7.48	2.36	641.6	13.5	28.42	54.0
5503	15000	AB	C	.633	6.36	2.46	658.8	13.2	29.24	47.6
5504	15000	AC	E	.469	4.25	1.42	687.5	12.8	28.66	48.4
5504	15000	AB	B	.413	3.48	1.37	662.6	13.3	28.48	47.9
5504	15000	AC	B	.401	4.16	1.37	671.6	13.1	28.71	50.0
5504	15000	AB	B	.343	3.19	1.38	665.7	13.2	28.66	50.1
5504	15000	AB	E	.329	3.54	1.46	662.7	13.3	28.70	50.0
5504	15000	AB	E	.362	2.81	1.29	663.0	13.3	28.73	49.9
5504	15000	AC	B	.363	3.28	1.43	690.8	12.7	28.85	49.6
5504	15000	AC	E	.345	3.30	1.34	671.2	13.1	28.94	51.0
5505	15000	AB	B	.477	3.21	2.26	590.5	14.9	29.06	53.4
5505	15000	AC	B	.522	5.71	2.26	614.9	14.2	28.96	49.3
5505	15000	AC	H	.469	3.37	2.24	639.9	13.7	28.57	48.7
5505	15000	AB	B	.540	4.71	2.28	597.6	14.6	28.42	50.7
5505	15000	AC	B	.537	5.06	2.19	617.7	14.2	28.70	51.6
5505	15000	AB	H	.474	3.60	2.18	595.8	14.7	28.73	49.9
5505	15000	AB	H	.439	2.69	2.15	588.8	14.9	28.76	49.8
5505	15000	AC	H	.457	3.74	2.21	613.5	14.3	28.65	49.6
5506	15000	AC	K	.547	4.67	3.31	629.9	13.9	29.16	53.1
5506	15000	AB	N	.461	3.67	3.14	592.0	14.8	29.31	51.1
5506	15000	AB	K	.593	6.00	2.99	589.1	14.8	28.91	46.2
5506	15000	AB	N	.594	5.43	2.94	592.5	14.7	28.44	50.7
5506	15000	AC	K	.570	6.01	2.90	609.9	14.3	28.70	51.6
5506	15000	AB	K	.506	6.46	2.98	582.5	14.9	28.75	49.9
5506	15000	AC	N	.489	5.75	2.84	614.8	14.2	28.62	50.2
5506	15000	AC	N	.471	5.05	2.95	611.4	14.3	28.84	51.3

Entrada:	/ /
Indicação:	ETTL
Aquisição:	Doação
Preço:	
Tombado em:	17 / 12 / 12