

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA BANCADA DE ENSAIO  
DE MOTORES - AQUISIÇÃO DE DADOS E PROJETO DE  
INTERFACE COM O OPERADOR**

Autor: HENRIQUE FABIANO DOS SANTOS

São Paulo  
1997

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA BANCADA DE ENSAIO  
DE MOTORES - AQUISIÇÃO DE DADOS E PROJETO DE  
INTERFACE COM O OPERADOR**

Trabalho apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para a obtenção do  
título de Engenheiro Mecânico

Área de Concentração:  
Projeto Mecânico

Professor Orientador: FRANCISCO EMÍLIO BACCARO NIGRO

Autor: HENRIQUE FABIANO DOS SANTOS

São Paulo  
1997

*Apov. de  
F. C. 1.0.1*

## **AGRADECIMENTOS:**

Aos meus pais Antonio Henrique e Inês, aos meus irmãos Fernando e João Paulo e minha irmã Juliana que sempre me incentivaram a prosseguir em meu trabalho. Às amigas Renata Almeida de Munhoz Lopes e Andréa Almeida de Munhoz Lopes pela ajuda e disponibilidade para a impressão deste trabalho. Aos engenheiros do IPT Sílvio Figueiredo, Clayton Barcelo Zabeu, Maurício Trielli e Lydia Lopes que preencheram muitas lacunas de meu conhecimento. Aos técnicos do Laboratório de Motores do IPT, onde o projeto foi desenvolvido, Antonio Carlos Diotto, Reinaldo Francisco Rodrigues e Almerito Almeida Santos pela ajuda na confecção de acessórios do hardware de aquisição e pelo apoio moral que sempre deram e ao Prof. Nigro pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

## ÍNDICE

<b>1 - ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE:</b>	<b>3</b>
<b>2 - FORMULAÇÃO DO PROBLEMA:</b>	<b>15</b>
<b>3 - ENFOQUE DO PROJETO:</b>	<b>21</b>
<b>4 - DESCRIÇÃO DO SOFTWARE DE AQUISIÇÃO:</b>	<b>28</b>
<b>5 - CONCLUSÃO:</b>	<b>40</b>
<b>6 - BIBLIOGRAFIA:</b>	<b>41</b>
<b>7 - ANEXOS:</b>	<b>43</b>
7.1 – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES:	43

### LISTA DE FIGURAS:

figura 1: sistema de medição de consumo de ar e de gás combustível ....	04
figura 2: corredor de controle das salas dinamométricas .....	05
figura 3: dinamômetro de motor .....	06
figura 4: sistema de coleta e condicionamento de amostras de gases de escape .....	07
figura 5: central de gases .....	08
figura 6: painel de controle .....	09
figura 7: bancada de análise de emissões gasosas .....	11
figura 8: sistema de aquisição de dados de ensaio .....	13
Figura 9: Tela Inicial - Control Screen .....	29
Figura 10: Caixa de Mensagem informando Erro .....	31
Figura 11: Tela Calibration .....	32

Figura 12: Master Zero .....	32
Figura 13: Master Span .....	33
Figura 14: Tela Configuration .....	34
Figura 15: Esquema para Mudança de Faixas .....	36
Figura 16: Tela Gas Analysers .....	37
Figura 17: Tela Running Test .....	38
Figura 18: Tela Test Status (Pausa) .....	39

### **LISTA DE TABELAS:**

Tabela 1. faixas nominais dos analisadores .....	16
Tabela 2: ensaio segundo a norma NBR-11480 .....	19
Tabela 3: parâmetros do protocolo de comunicação .....	22
Tabela 4: exemplo para o protocolo de comunicação .....	23
Tabela 5: Conversões Tensão/Corrente e Corrente/Tensão.....	24
Tabela 6: Calibração do Analisador de CO(L) - faixa 4 - em três dias distintos.....	26

### **LISTA DE GRÁFICOS:**

Gráfico 1: Polinômios de Calibração para o Analisador de CO(L) .....	27
--	----

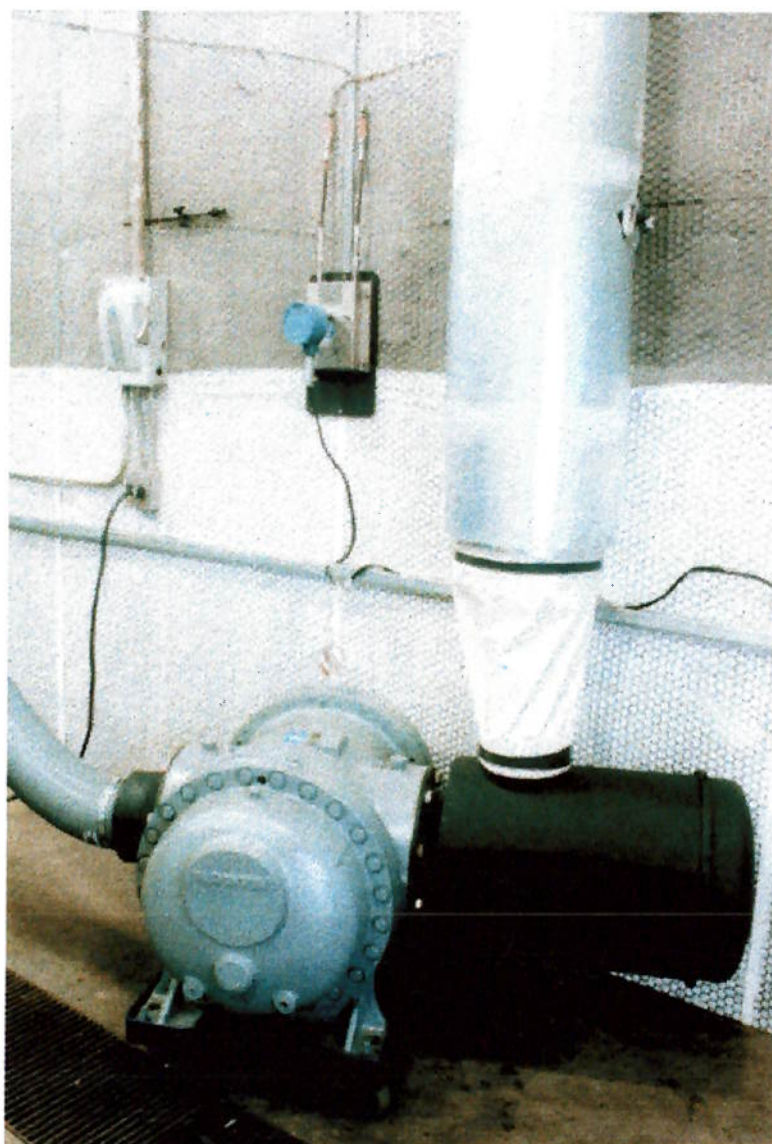
## **1 - ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE:**

O Agrupamento de Motores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT - possui um laboratório capaz de realizar ensaios dinamométricos para avaliar consumo, emissão de poluentes e desempenho de motores. Este também destina-se a estudar a utilização de combustíveis alternativos e monitorar o desempenho de motores em condições reais de uso.

Para delinear a necessidade do projeto, faz-se, logo a seguir, uma descrição do ambiente onde este se aplicará.

O Laboratório de Motores possui 5 células (salas) especiais para ensaio de motores. Estas células são dotadas de bancada dinamométrica (três das quais operando a bastante tempo e uma em fase de instalação), instalações industriais (água para arrefecimento, ar comprimido, instalação elétrica), isolamento acústico e ventilação forçada. Duas delas dispõem, também, de sistema de ar condicionado que fornece ar com temperatura e umidade controladas aos motores ensaiados.

Dependendo dos requisitos de ensaio, pode-se utilizar os seguintes equipamentos do Laboratório: medidor de vazão de ar (tipo Roots), medidor de consumo volumétrico de combustíveis líquidos (sensores fotoelétricos), medidor de consumo gravimétrico de combustíveis líquidos, medidor de consumo de combustíveis gasosos que fornece vazão, densidade e temperatura (sensor tipo Coriolis). Há, ainda, um sistema para medição da pressão na câmara de combustão onde, entre outras coisas, é possível verificar a ocorrência de detonação.



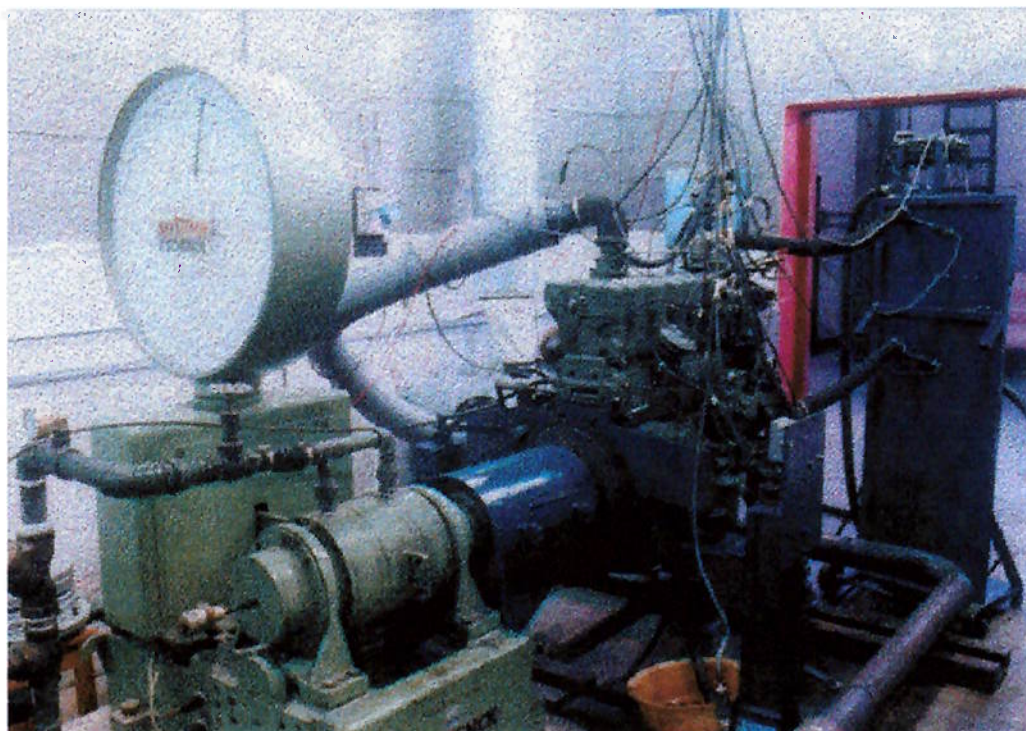
*Figura 1: Sistema de Medição de Consumo de Ar e de Gás Combustível*

A operação das bancadas dinamométricas é feita através de controles localizados em uma sala comum a todas as células, denominada Corredor de Controle. No Corredor, há uma bancada de controle, uma janela com vidros triplos e uma porta de acesso para cada uma das células.



*Figura 2: Corredor de Controle das Salas Dinamométricas*

O controle dos motores é feito variando-se a carga do dinamômetro e o acelerador do motor, o que permite fixar diferentes condições de torque e rotação nos motores ensaiados.



*Figura 3: Dinamômetro de Motor*

Durante todo o ensaio, acompanham-se temperaturas e pressões operacionais do motor (temperatura da água de entrada do motor, temperatura dos gases de escapamento, etc.). Isto é feito com diferentes objetivos: monitorar qualquer irregularidade, verificar a obtenção de condições estáveis de operação do motor antes da realização de medições e ler parâmetros importantes para os ensaios.

Para a medição das emissões de poluentes no escapamento dos motores, o Laboratório utiliza uma bancada de análise de gases equipada com analisadores de: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO/NO<sub>x</sub>) e hidrocarbonetos (THC, CH<sub>4</sub> e n-CH<sub>4</sub>). A concentração dos dois primeiros gases é determinada por

analísadores infra-vermelhos. O método magneto-pneumático é utilizado para o  $O_2$ . Já, para os hidrocarbonetos, utiliza-se um detector de ionização de chama. Esta bancada contém, ainda, um divisor de gases e um gerador de gás ozônio usados para a calibração dos analisadores. Observar que THC refere-se a hidrocarbonetos totais,  $CH_4$  ao metano e  $N-CH_4$  aos não-metanos. Os gases de escape são transportados para a bancada de análise através de um sistema de coleta e condicionamento de amostras, que é dotado de linhas aquecidas para o seu transporte. Com isto, visa-se impedir que os hidrocarbonetos pesados presentes nos gases de escapamento se condensem no caminho entre o motor e a bancada. Seis dos sete analisadores que compõem a bancada medem a concentração em base seca (banho a  $1^\circ C$  condensa a água presente nos gases). Apenas o analisador de THC faz a análise em base úmida.



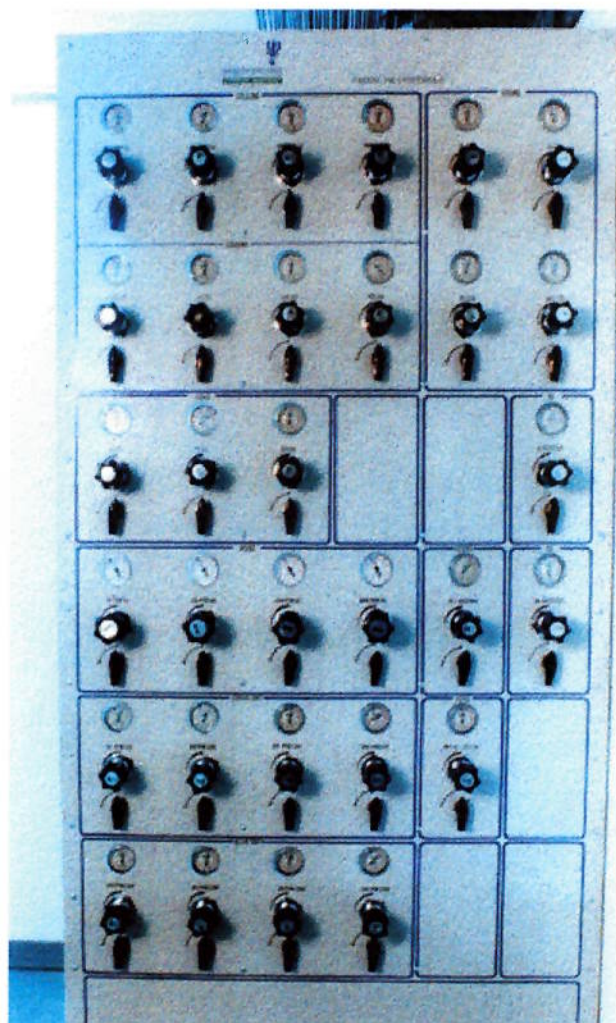
*Figura 4: Sistema de Coleta e Condicionamento de Amostras de Gases de Escape*

A Central de Gases é um galpão anexo ao prédio do laboratório que abriga os cilindros dos gases especiais necessários para a operação da bancada de análise de gases. Na central, além dos cilindros dos gases de trabalho (ar sintético,  $N_2$ ,  $H_2/He$ ,  $O_2/Argônio$ ), há um cilindro de gás de referência para cada faixa de leitura de cada analisador.



*Figura 5: Central de Gases*

Da central, os gases são transportados através de tubulação de aço inox especial para um painel de controle existente junto a bancada. Este painel permite, além do fechamento das linhas, o ajuste fino de pressão.

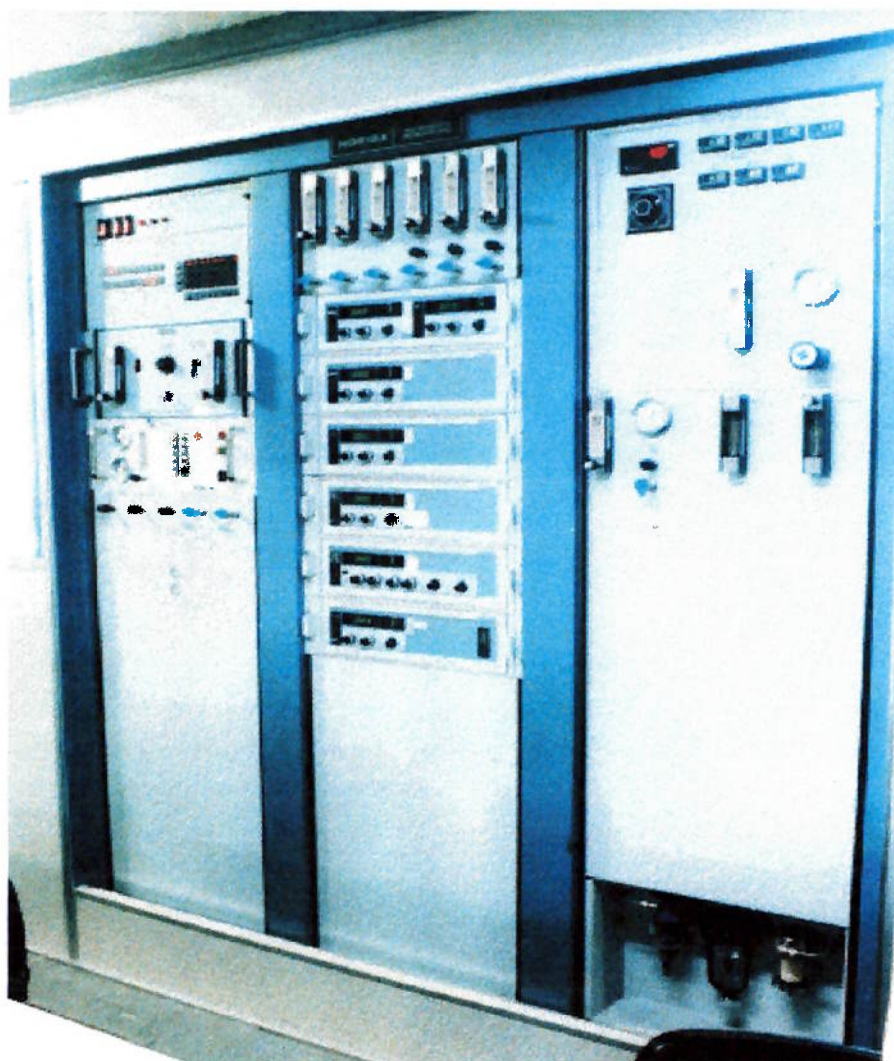


*Figura 6: Painel de Controle*

A bancada de análise de emissões gasosas foi instalada em um sala construída especialmente para este fim, junto ao corredor de controle das bancadas dinamométricas. Ela abriga, também, o painel de controle de pressão dos gases especiais.

A bancada de análise de gases possui 7 analisadores:

- CO(L) para medição da concentração do monóxido de carbono na faixa de medição de menor magnitude (L: low - baixo);
- CO(H) para medição da concentração do monóxido de carbono em uma faixa de medição de maior magnitude (H: high - alto);
- CO<sub>2</sub> para medição da concentração do dióxido de carbono;
- O<sub>2</sub> para medição da concentração do oxigênio;
- NO/NO<sub>x</sub> para medição da concentração do monóxido de nitrogênio (NO) ou óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>);
- THC para medição da concentração de hidrocarbonetos (base úmida);
- CH<sub>4</sub>, N-CH<sub>4</sub> e THC para medição da concentração do gás metano, não-metanos e hidrocarbonetos totais.



*Figura 7: Bancada de Análise de Emissões Gasosas*

Com exceção do analisador de  $O_2$ , todos os analisadores da bancada de análise de gases possuem 4 faixas de medição. Originalmente, a seleção da faixa é feita manualmente em um botão do painel. As leituras, que são fornecidas por um mostrador digital que varia de 0,000 a 1,000, não correspondem diretamente às concentrações. Por exemplo, o analisador de monóxido de carbono (COL) possui as faixas: 100, 300, 1000 e 3000 ppm.

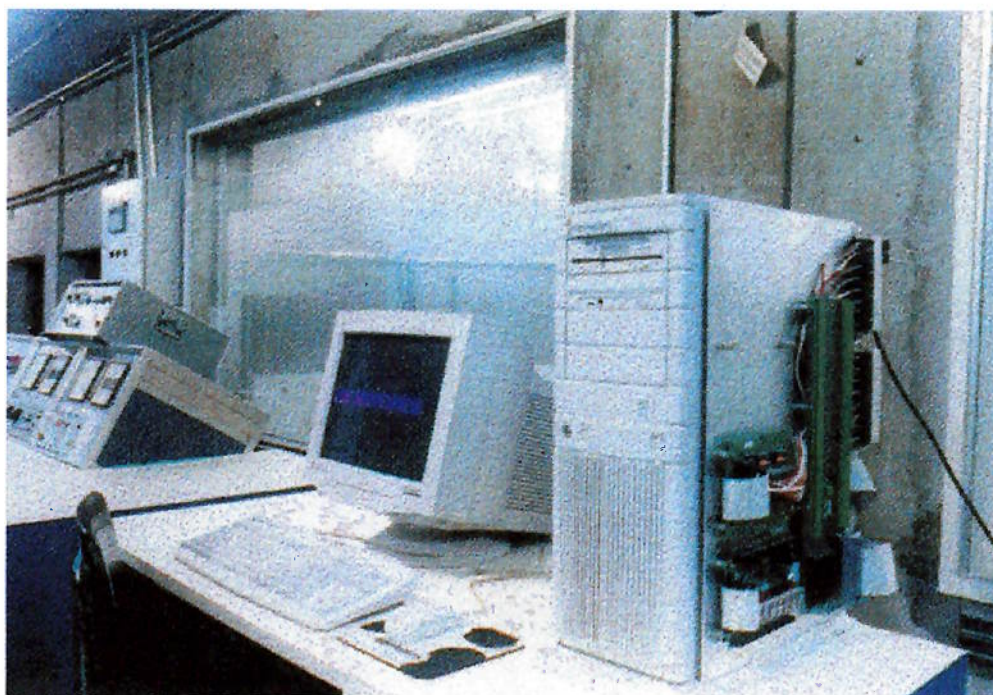
Se o mostrador deste analisador apresentar 0,500 e a faixa escolhida for 100 ppm, a concentração da amostra será de 50 ppm (0,500 de 100 ppm).

Na realidade, esta relação depende, também, do gás de referência (“span”) utilizado para ajustar o ganho de cada faixa. Se este gás, por exemplo, tem 95 ppm de monóxido de carbono e é utilizado para ajustar a faixa de 100 ppm quando o mostrador indicar 1,000, a concentração do gás amostrado será de 95 ppm.

Cada analisador possui uma saída analógica onde a tensão pode variar de 0 a 5 V, proporcionalmente a leitura do painel, e saídas digitais para indicar a faixa de medição utilizada (*range*). Como a distância entre os analisadores e o sistema de aquisição de dados é significativa, para minimizar a deterioração do sinal em seu transporte, ele é convertido de sinal de tensão em sinal de corrente. Entretanto, antes de chegar à placa de aquisição de dados, este sinal é novamente convertido para um sinal de tensão.

O hardware elaborado no IPT, além de converter o sinal de tensão em sinal de corrente, multiplexa os sete sinais em um único. O hardware também atua nas entradas digitais dos analisadores para selecionar a faixa de operação.

Na Figura 8, pode-se ver o computador com conectores e placas de conexão montados em sua lateral. A placa de aquisição encontra-se instalada no interior do gabinete do computador.



*Figura 8: Sistema de Aquisição de Dados de Ensaio*

Como dito anteriormente, durante todo o ensaio, acompanham-se temperaturas e pressões operacionais do motor (temperatura da água de entrada do motor, temperatura dos gases de escapamento, pressão de admissão de ar, etc.), consumo de ar e de combustível, bem como a concentração dos gases de escapamento, com o objetivo de se monitorar qualquer irregularidade, verificar a obtenção de condições estáveis de operação do motor antes da realização de medições e ler parâmetros importantes para os ensaios.

A necessidade emergente, baseada no texto acima apresentado, é automatizar e gerenciar o registro destas informações que são produzidas nos ensaios dinamométricos, comandar a seleção das escalas (faixas) de medição das concentrações de gases de escapamento, bem como promover

suas mudanças caso haja necessidade, e desenvolver uma interface gráfica com o operador de fácil compreensão e manuseio. Convém ressaltar que as dados de saída geradas pelo projeto tem que atender as normas regulamentadoras relacionadas aos ensaios em que se pretende automatizar a aquisição de dados.

## 2 - FORMULAÇÃO DO PROBLEMA:

Para satisfazer a necessidade acima, é necessário definir quais são os dados de entrada para o projeto e as saídas que se espera obter.

Primeiramente, serão tratados os parâmetros ligados a bancada de análise de gases.

Como descrito no item anterior, a bancada possui 7 analisadores de gases. Cada analisador possui uma saída analógica onde a tensão pode variar de 0 a 5 V, proporcionalmente a leitura do painel, e saídas digitais para indicar a faixa utilizada (*range*). O sinal analógico é convertido de sinal de tensão em sinal de corrente pelo hardware elaborado no IPT (placa controladora de escalas), multiplexando os sete canais em um único. O hardware também atua nas entradas digitais dos analisadores para selecionar a faixa de operação. Deseja-se selecionar um analisador específico e conhecer a concentração do gás em questão. Este procedimento deve ser ampliado para todos os analisadores integrantes da bancada de análise gasosa.

Para realizar o objetivo proposto acima, é necessária a automação da seleção das faixas dos analisadores de gases.

As faixas nominais de cada analisador estão na Tabela 1.

*Tabela 1: Faixas Nominais dos Analisadores*

Analisador	Faixa			
	1	2	3	4
CO(L)	100 ppm <sup>1</sup>	300 ppm	1000 ppm	3000 ppm
CO(H)	0.5%	2%	5%	12%
CO <sub>2</sub>	1%	3%	8%	20%
O <sub>2</sub>	2%	5%	25%	-----
NO/ NO <sub>x</sub>	50 ppm	250 ppm	1250 ppm	6000 ppm
THC	100 ppm	500 ppm	2500 ppm	10000 ppm
CH <sub>4</sub>	250 ppm	500 ppm	2500 ppm	5000 ppm

Convém lembrar que, na realidade, esta relação depende, também, do gás de referência utilizado para ajustar o ganho de cada faixa.

Uma amostra que tem um teor de 90 ppm de CO pode ser medida na faixa 2 (de fundo de escala de 300 ppm) do analisador correspondente. Entretanto, a leitura na faixa 1 (de fundo de escala de 100 ppm), mais sensível, forneceria uma leitura mais precisa. Logo, a faixa escolhida deve ser aquela que forneça o maior valor nominal no mostrador sem ultrapassar seu fundo de escala (no mostrador é sempre 1,000).

---

<sup>1</sup> ppm: parte por milhão

Para a realização dos ensaios mais freqüentemente realizados no Laboratório de Motores, são registrados:

- rotação do motor (desejada e obtida - rpm);
- carga (desejada e obtida - N);
- condições atmosféricas:
  - ◆ temperatura do ar condicionado;
  - ◆ umidade relativa do ar condicionado;
  - ◆ pressão barométrica;
  - ◆ temperatura do barômetro;
- consumo:
  - ◆ combustível;
  - ◆ ar;
- temperaturas:
  - ◆ admissão:
    - ◇ entrada
    - ◇ após o compressor;
    - ◇ após o resfriador;
    - ◇ coletor;
  - ◆ água:
    - ◇ entrada;
    - ◇ saída;

- ◆ óleo lubrificante;
- ◆ gases de escapamento;
- ◆ sonda de amostragem (gases de escape);
- ◆ combustível;
- ◆ medidor de vazão de ar;
- pressões:
  - ◆ de admissão:
    - ◇ entrada no motor;
    - ◇ após o compressor;
    - ◇ após o resfriador;
    - ◇ coletor;
  - ◆ de escapamento:
    - ◇ saída do coletor;
    - ◇ após turbina;
  - ◆ do óleo lubrificante;
- gases de escapamento (leitura e faixa):
  - ◆ monóxido de carbono baixo (COL);
  - ◆ monóxido de carbono alto (COH);
  - ◆ oxigênio (O<sub>2</sub>)
  - ◆ dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
  - ◆ óxidos de nitrogênio (NO ou NO<sub>x</sub>);

- ♦ metano (CH<sub>4</sub>);
- ♦ não metanos (N-CH<sub>4</sub>);
- ♦ hidrocarbonetos totais (THC);

O registro do ensaio deve conter os dados acima citados.

Para definir outra necessidade que precisa ser atendida, menciona-se dois ensaios em motores de combustão interna bastante solicitados. O Ensaio de Desempenho à plena carga (para levantamento das curvas características de potência, torque e consumo específico) e o Ensaio de Emissões de poluentes segundo a NBR-11480 (13 condições de carga e rotação em regime permanente que servem para cálculo da emissão média dos gases expelidos).

O segundo ensaio mencionado segue um roteiro que pode ser conhecido pela tabela 2 abaixo apresentada:

*Tabela 2: Ensaio segundo a Norma NBR-11480*

	Regime de operação	Rotação (rpm)	Porcentagem de carga (%) <sup>2</sup>	Tempo em regime (min.)	Tempo acumulado (min.)	Fator de ponderação (FP)
TORQUE MÁXIMO	1	marcha lenta	0	6	6	0.25/3
	2	intermediária	10	6	12	0.08
	3	intermediária	25	6	18	0.08
	4	intermediária	50	6	24	0.08
	5	intermediária	75	6	30	0.08
	6	intermediária	100	6	36	0.25
	7	marcha lenta	0	6	42	0.25/3
POTÊNCIA MÁXIMA	8	nominal	100	6	48	0.1
	9	nominal	75	6	54	0.02
	10	nominal	50	6	60	0.02
	11	nominal	25	6	66	0.02
	12	nominal	10	6	72	0.02
	13	marcha lenta	0	6	78	0.25/3

<sup>2</sup> Admitir tolerância de  $\pm 2\%$ .

O tempo de registro de 6 minutos para cada ponto é dividido da seguinte maneira:

- 3 primeiros minutos: estabilização do regime no motor;
- 3 minutos finais: coleta de dados (sendo o último minuto o mais significativo com respeito às concentrações dos gases).

Nos últimos 60 segundos de cada condição, devem ser registrados os dados relativos à média das concentrações dos gases. O software deve atender o padrão de registro de informações acima relatado para satisfazer a norma NBR-11480.

Particularmente, o software de aquisição foi elaborado para realizar este tipo de ensaio.

### 3 - ENFOQUE DO PROJETO:

O enfoque deste projeto é pertinente à aquisição de dados originados pela bancada de análise de gases. Para elucidar o procedimento já implementado, passa-se a descrever algumas características dos analisadores, bem como da placa controladora de escalas.

A seleção do analisador a ser lido, assim como a mudança de sua faixa de leitura, segue um protocolo de comunicação. Este protocolo com a placa controladora de escalas consiste em mensagens com *header*, *conteúdo* e *check-sum*.

As mensagens que vão do micro para a placa são chamadas “comandos”, e as que vão da placa para o micro são chamadas de “respostas”.

O *header* é a soma de um valor com o número de bytes do conteúdo. Esse valor é 60h (base hexadecimal) para os comandos e 70h para as respostas. Isso funciona porque o conteúdo nunca vai assumir valores da ordem de 60h ou 70h. O *header* para um comando de 2 bytes é 62h ('b'), para um comando de 3 bytes, 63h ('c') e para uma resposta de 2 bytes é 72h ('r').

O *conteúdo*, no caso dos comandos, é composto pelo comando e um ou mais parâmetros:

*Tabela 3: Parâmetros do Protocolo de Comunicação*

comando	parâmetro(s)	descrição
A	n	lê instrumento 'n' pelo canal analógico 1
B	n	lê instrumento 'n' pelo canal analógico 2
C	n,v	escreve na escala do instrumento 'n' o valor 'v'

Obs.: existem dois canais analógicos para uma eventual necessidade (caso ocorra algum problema com o canal em uso, utiliza-se o outro disponível sem haver a necessidade de se interromper o processo).

No caso das respostas, o conteúdo tem sempre 2 bytes, 'n' e 'v', onde 'n' é o número do instrumento e 'v', o valor lido da escala do instrumento (faixa).

O *check-sum* é a soma dos bytes do conteúdo. O *header* não entra na soma.

Para melhor ilustrar o protocolo de comunicação com a placa controladora de escalas, dá-se exemplo de comunicação:

Tabela 4: Exemplo para o Protocolo de Comunicação

comando	b    A    4    x	lê instrumento 4 pelo canal analógico 1
comando hexa	62h 41h 34h XXh	
resposta	r    4    2    x	instrumento 4 está na escala (faixa) 2
comando	b    B    7    x	lê instrumento 7 pelo canal analógico 2
comando hexa	62h 42h 37h XXh	
resposta	r    7    3    x	instrumento 7 está na escala (faixa) 3
comando	c    C    5    1    x	escreve 1 na escala do instrumento 5
comando hexa	63h 43h 35h 31h XXh	
resposta	r    5    1    x	instrumento 5 está na escala 1

obs.: x indica o *check-sum*.

Após a seleção do analisador a ser consultado, sabendo em qual faixa de medição o mesmo se encontra, deve-se coletar o dado de tensão que corresponde a porcentagem de concentração da faixa selecionada. Este é o primeiro passo para se conhecer qual a concentração efetiva do gás analisado presente na emissão. Convém ressaltar que a placa de aquisição possui 32 canais diferenciais analógicos de entrada. Os dados da bancada de análise de gases ocupam um dos 32 canais disponíveis.

Conforme o explicado no item anterior, as leituras, que são fornecidas pelo mostrador digital, variam de 0,000 a 1,000. Na saída analógica de cada analisador, encontram-se tensões que podem variar de 0 a 5V, linearmente, correspondentes ao valor indicado no marcador digital. Estes sinais de

tensão são transformados em sinais de corrente e, antes de serem lidos pela placa de aquisição, são novamente transformados em sinais de tensão.

O sinal zero de concentração no painel digital não irá corresponder diretamente a zero volt na placa de aquisição pois este sinal geraria uma corrente equivalente de zero ampère. Isto produziria um inconveniente: com uma leitura de zero volt (após o sinal de corrente ser novamente transformado em sinal de tensão), não seria possível distinguir um sinal de concentração zero de um eventual problema na transmissão dos dados.

Assim sendo, um sinal de tensão de 0 V é transformado em um sinal de corrente de 4 mA e um de 5V, em 20 mA. Ao fazer estas correntes passarem por um resistor de 250 ohms, ter-se-á, respectivamente, 1V e 5V. A faixa entre essas duas últimas tensões será aquela que a placa de aquisição terá disponível em uma de suas entradas. A tabela a seguir resume tais transformações.

*Tabela 5: Conversões Tensão/Corrente e Corrente/Tensão*

SAÍDA ANALÓGICA DO ANALISADOR	CONVERSÃO PARA SINAL DE CORRENTE	EQUIVALENTE LIDO PELA PLACA DE AQUISIÇÃO
0V	4 mA	1V
5V	20 mA	5V

Devido ao mencionado acima, para se conhecer a porcentagem de concentração do gás que se obtém no painel digital de cada analisador, é preciso conhecer as tensões que corresponderão a 0 e a 100% (1,000). Isto, porque, as conversões não resultarão, exatamente, em 1V ou 5V mas, sim, algo em torno de tais valores.

Conhecendo-se tais tensões, é possível, através de uma interpolação linear, saber-se a porcentagem de concentração segundo a fórmula:

$$FL = \frac{Leitura - V_{min}}{V_{max} - V_{min}}$$

Onde:

FL: fração de leitura;

Vmin: tensão correspondente a zero na escala digital;

Vmax: tensão correspondente a 1 na escala digital;

Leitura: tensão correspondente ao dado de concentração;

A resposta dos analisadores não é linear em relação a concentração que é exibida. Isto varia devido a metodologia que se utiliza para medi-la. Por exemplo, o analisador de CO(L), que emprega o método infra-vermelho, apresenta um comportamento que pode ser aproximado por um polinômio do quarto grau. Assim, para se conhecer a efetiva concentração do gás analisado, é preciso corrigir o valor lido baseado numa curva de ajuste consoante ao comportamento do analisador.

Com o intuito de se levantar a curva de calibração e correção de cada analisador, para se conhecer a concentração corrigida, emprega-se o divisor de gases.

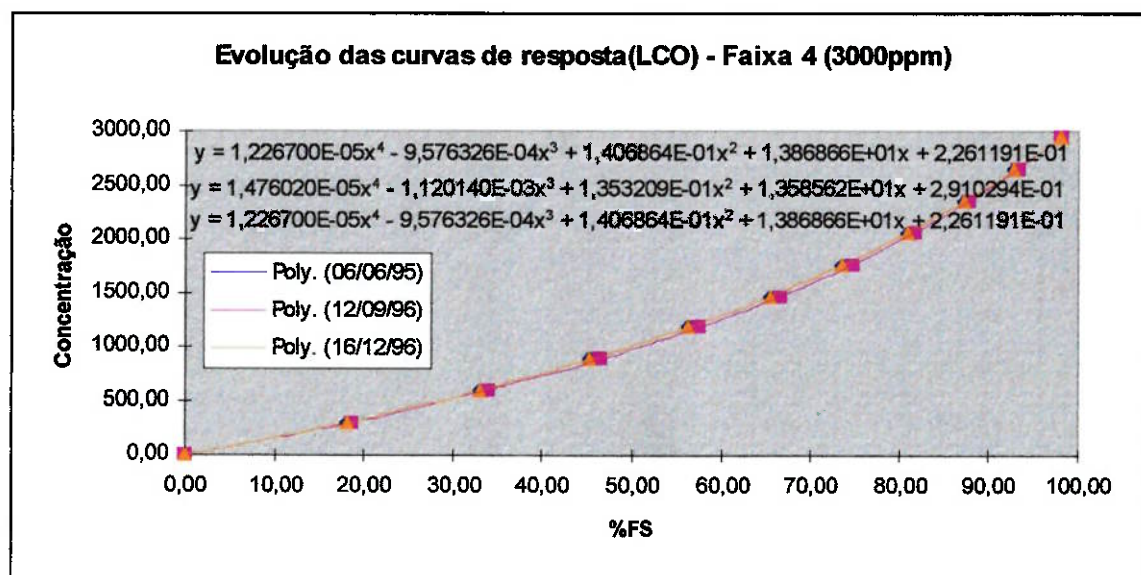
Para cada faixa de cada analisador, dilui-se, com o divisor de gases, o gás de referência para que se obtenha 0, 10, 20,..., 90 e 100% da concentração original, lendo, em cada um dos pontos, o valor da concentração. Levanta-se, então, uma curva de calibração com os pontos registrados ajustando-se o polinômio de grau apropriado para cada tipo de analisador, segundo a norma que regulamenta o equipamento. Este gráfico terá, como abcissa, a

porcentagem do fundo de escala e, como ordenada, a concentração do gás já corrigida. A tabela e o gráfico a seguir esclarecem o descrito acima.

*Tabela 6: Calibração do Analisador de CO(L) - faixa 4 - em três dias distintos*

Faixa 4 (3000 ppm)		06/06/95		12/09/96		16/12/96	
Gás padrão	ppm	2940		2940		2940	
Interferência de 3% CO <sub>2</sub>		0		-0,003		0,000	
Linearização ( 4º grau)	% SGD	%FS	Concen- tração	%FS	Concen- tração	%FS	Concen- tração
	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	10	18,10	294,00	18,50	294,00	18,80	294,00
	20	32,90	588,00	33,80	588,00	33,80	588,00
	30	45,40	882,00	46,50	882,00	46,30	882,00
	40	56,20	1176,00	57,50	1176,00	57,20	1176,00
	50	65,50	1470,00	66,70	1470,00	66,40	1470,00
	60	73,60	1764,00	74,70	1764,00	74,40	1764,00
	70	80,90	2058,00	81,70	2058,00	81,50	2058,00
	80	87,20	2352,00	87,70	2352,00	87,60	2352,00
	90	92,80	2646,00	93,20	2646,00	93,20	2646,00
	100	98,00	2940,00	98,00	2940,00	98,00	2940,00

*Gráfico 1: Polinômios de Calibração para o Analisador de CO(L)*



Após o levantamento das curvas, é possível se conhecer os coeficientes dos polinômios e seus termos independentes. Polinômios estes que corrigem os valores lidos, devolvendo as efetivas concentrações dos gases.

#### 4 - DESCRIÇÃO DO SOFTWARE DE AQUISIÇÃO:

O software de aquisição de dados foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação Visual Basic IV, que trabalha sob plataforma Windows 95.

A biblioteca de subrotinas de manipulação da placa de aquisição DAS1800, empregada no projeto, possui uma versão para esta linguagem (arquivos .DLL: Dinamic Linking Library). Esta biblioteca vem adicionalmente quando se compra a placa.

O Visual Basic possui a característica de fácil programação e manuseio. Permite desenvolver uma interface gráfica com o usuário do software de fácil compreensão.

A linguagem Visual Basic é voltada a eventos. Assim sendo, passa-se a descrever todas as telas que compõem o programa com o objetivo de esclarecer como o procedimento de aquisição foi formulado.

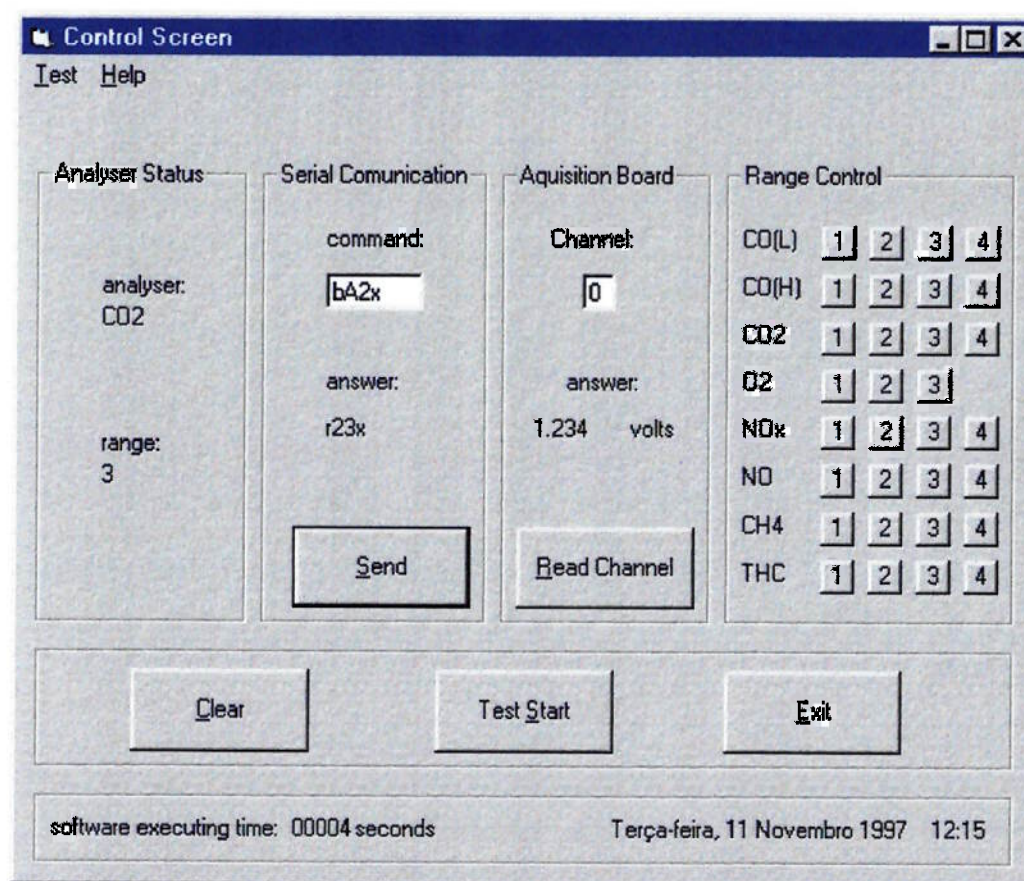
Convém salientar que, devido a atuação do IPT não se restringir ao mercado nacional, a interface foi elaborada em inglês a pedido do senhor Silvio A. Figueiredo, engenheiro do Agrupamento de Motores do IPT que acompanhou de perto o desenvolvimento do programa.

Ao se inicializar o arquivo aquisição.EXE, à medida que se carrega a primeira tela do programa, é executado um procedimento chamado Form\_Load (particularidade da Linguagem Visual Basic), responsável por rotinas que possibilitam o início da execução do software. Neste *procedure*, são configuradas a porta serial e a placa de aquisição de dados.

A respeito da comunicação serial, define-se qual porta será utilizada (foi escolhida a COM1), a velocidade de transmissão (9600 bps), paridade (sem

paridade), número de bits por pacote (8 bits) e número de stop-bits (1 stop-bit).

Quanto à placa, segue-se a seguinte seqüência de inicialização: abertura e inicialização do driver e do hardware da placa DAS1800; estabelecimento de comunicação com o driver através de um *device handle*; definição da placa para o modo unipolar (leitura de tensões apenas positivas); configuração do canal de entrada analógico/digital para diferencial (o Terra não é comum; lê-se diferenças de potencial).



*Figura 9: Tela Inicial - Control Screen*

A Tela Inicial (*Control Screen*) é dotada de 6 *frames* e duas opções de menu. O *frame* inferior apresenta o tempo total de execução do programa e a data do dia.

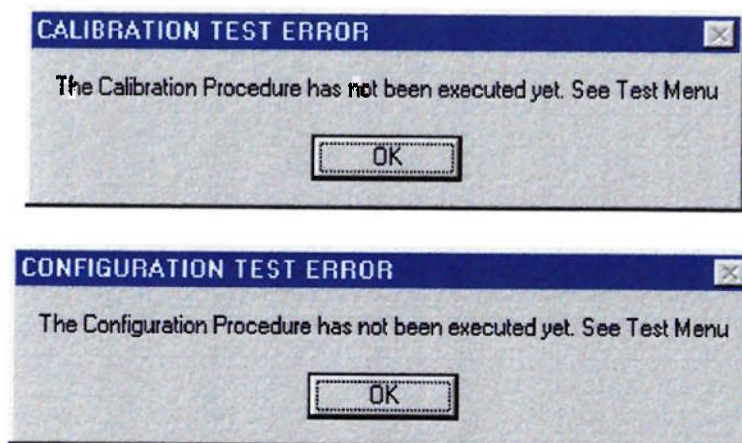
Logo acima, encontra-se um *frame* que contém três botões de comando. O Comando Clear limpa todos os campos presentes na tela (*analyser/range*, *command/answer*, e *channel/answer*); o Comando TestStart começa a execução do ensaio e o Comando Exit finaliza o programa, fechando os drivers abertos da placa de aquisição.

Justificando o nome da tela, este *form* permite verificar se o hardware está funcionando adequadamente antes de se iniciar o ensaio.

O *frame Range Control* permite colocar os analisadores em qualquer faixa disponível apertando-se o botão respectivo. O *frame Aquisition Board* permite examinar todos os canais da placa escolhendo seu número (0 a 31). O *frame Serial Communication* possibilita enviar os comandos aos analisadores manualmente (comandos de escrita ou leitura, conforme o item 3 - Enfoque do Projeto). O *frame Analyser Status* mostra qual analisador está sendo lido e em qual faixa ele se encontra.

Há duas opções de Menu. O menu Test apresenta duas opções: Configuração e Calibração. O Menu Help explica cada opção da Tela *Control Screen*.

Caso o operador tente começar o teste sem realizar a configuração e a calibração, aparecem as seguintes telas:



*Figura 10: Caixa de Mensagem informando Erro*

Ao aparecer as mensagens de erro, o operador irá ao Menu *Test* e escolherá ou o Menu de Calibração ou o de Configuração. Caso ele opte pelo primeiro, ativa-se a seguinte tela:

ANALYSERS	ZERO	SPAN	
LCO	1.012	4.952	volts
HCO	1.012	4.952	volts
CO2	1.012	4.952	volts
O2	1.012	4.952	volts
NO/NO <sub>x</sub>	1.012	4.952	volts
CH4	1.012	4.952	volts
THC	1.012	4.952	volts

*Figura 11: Tela Calibration*

Esta tela visa adquirir os valores de referência mínimo e máximo de tensão de cada analisador (zero; fundo de escala/span) a fim de definir os limites de interpolação para se determinar a concentração dos gases. Ao pressionar o botão *Click Here to Begin*, surge a seguinte mensagem:

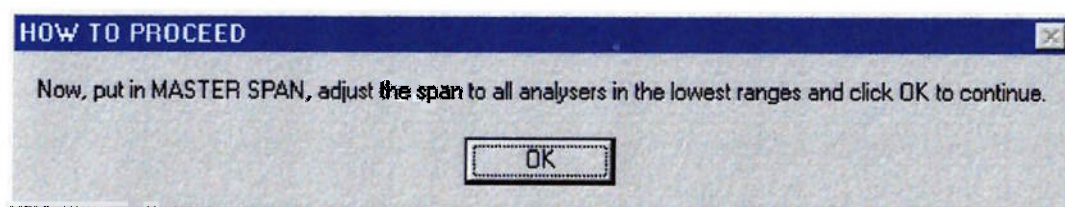
HOW TO PROCEED

Put the HORIBA ANALYSER in MASTER ZERO, adjust the zero to all analysers and click OK to continue.

OK

*Figura 12: Master Zero*

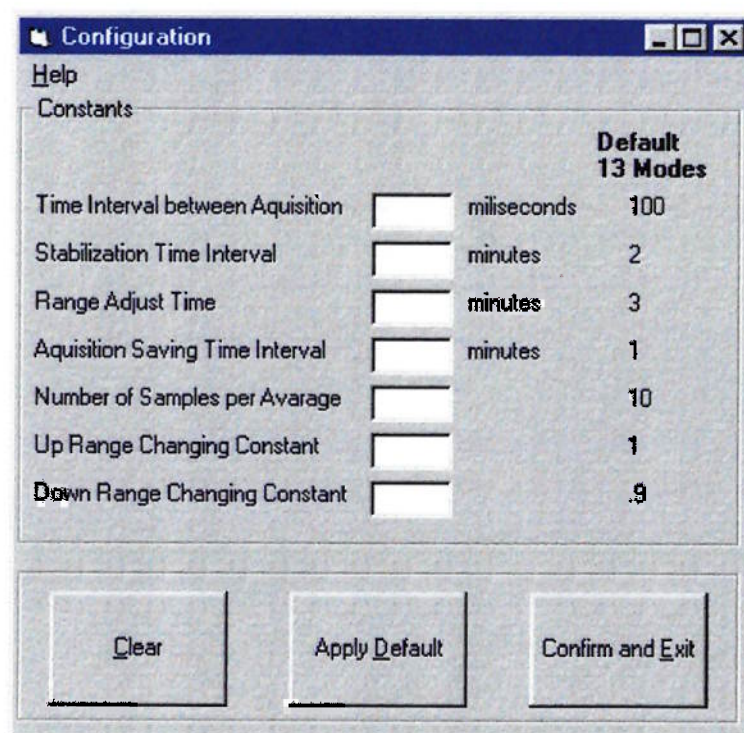
O operador ativará os gases de referência de concentração zero (*zero gas*) para todos os analisadores. O software varrerá todos os analisadores aquisitando seus respectivos valores de referência mínimos. O mesmo ocorre com os valores de referência máximos (*span*), que é executado logo a seguir, ao se exibir a mensagem:



*Figura 13: Master Span*

O operador poderá confirmar a calibração (*Confirm and Exit*) ou abortá-la (*Cancel*). Após, o programa retorna a Tela *Control Screen*.

Ao optar pelo Menu *Test/Configuration*, executa-se a rotina de configuração.



*Figura 14: Tela Configuration*

A Tela Configuration contém um menu de ajuda (explica o funcionamento da tela) e 7 variáveis que precisam ser determinadas.

A primeira é o *Time Interval between Aquisition*, que define de quanto em quanto tempo o programa irá varrer todos os analisadores e para se avaliar as concentrações dos gases de escape.

Este programa foi elaborado para realizar um determinado tipo de ensaio, neste caso segundo a norma NBR 11480 e 10813, ou seja, o ensaio dos 13 modos para a determinação da emissão média de poluentes de um motor diesel (item 2 - Formulação do Problema).

Assim sendo, define-se as variáveis *Stabilization Time Interval* (STI), *Range Adjust Time* (RAT) e *Aquisition Saving Time Interval* (ASTI).

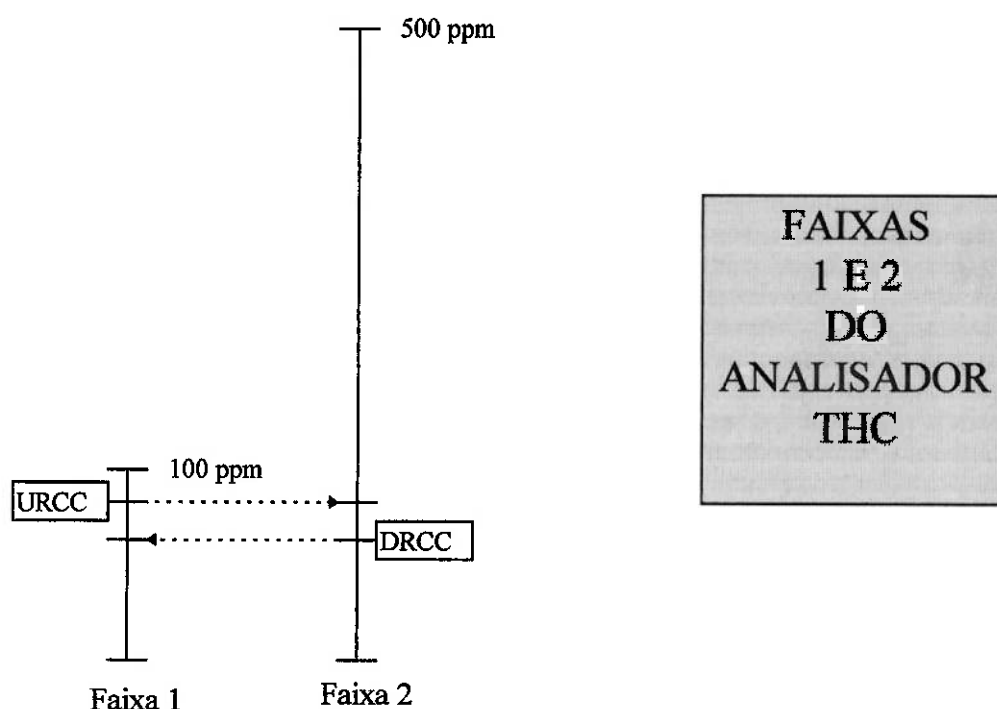
STI é o tempo destinado para que a condição de trabalho do motor se estabilize no ponto de carga e rotação estabelecidos e que o padrão do gás amostrado torne-se mais uniforme. Durante este período, não se realiza aquisições.

RTA é o tempo destinado ao ajuste das faixas de leitura para todos os analisadores. Durante este tempo, a mudança de faixas é livre, ou seja, tanto o software coloca os analisadores em faixas de maiores amplitudes de medição ou de menores amplitudes (exemplo para CO<sub>2</sub>: de 1% para 3% ou 3% para 1%).

ASTI é o tempo destinado ao registro dos dados em arquivo. Durante este tempo, se o software colocar um analisador numa faixa de maior fundo de escala, este não mais retornará a faixa de menor magnitude, caso seja ultrapassado o limite inferior de mudança.

*Number of Sample per Average* estipula quantas amostras serão adquiridas para se estabelecer uma média. O valor desta média será gravado em disco. Com isso, é possível filtrar pequenas oscilações nas leituras.

Para se explicar a utilidade as variáveis *Up Range Changing Constant* (URCC) e *Down Range Changing Constant* (DRCC), observar a figura:



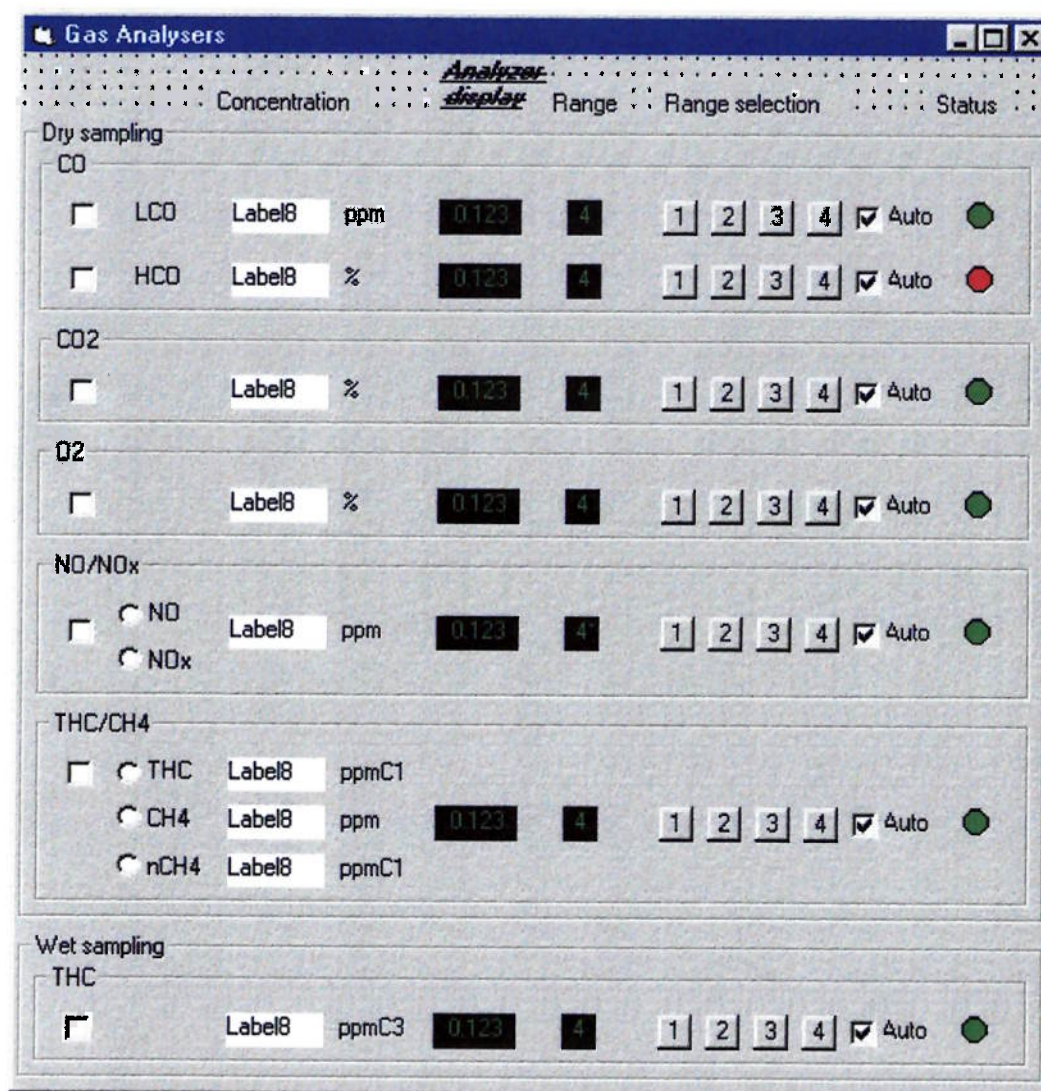
*Figura 15: Esquema para Mudança de Faixas*

Tanto a URCC quanto DRCC são porcentagens que se aplicam quando as faixas devem ser mudadas. Por exemplo, sendo  $URCC = 0.9$ , quando o valor de concentração atingir 90 ppm ( $0.9 * 100 \text{ ppm}$ ) ou mais, o software muda o analisador para a faixa 2.

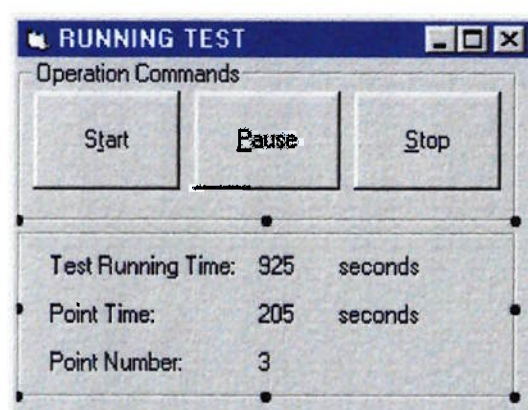
Estando o analisador na faixa 2,  $DRCC = 0.8$ , e o valor de concentração atingir 80 ppm ou menos ( $0.8 * 100 \text{ ppm}$ ), o software muda o analisador para a faixa 1.

O botão *Apply Default* preenche os valores das variáveis com os números mostrados na Tela *Configuration*.

Após terem sido feitas a calibração e a configuração, estando o software com a Tela *Control Screen* ativada, pressionando-se o botão *Test Start*, ativam-se as seguintes telas:



*Figura 16: Tela Gas Analysers*



*Figura 17: Tela Running Test*

A Tela *Gas Analysers* é a interface que mostra tanto o valor do painel do analisador de gases (em % da faixa) quanto a concentração efetiva do gás analisado (após ter sido corrigida). É possível selecionar quais analisadores serão utilizados no ensaio e optar por mudança automática ou não de faixas. Caso se deseje mudança manual, existe um botão para cada faixa desejada. A tela indica, ainda, qual o *status* de cada analisador. Se não for possível realizar a leitura de um deles, a luz vermelha toma lugar da luz verde.

A Tela *Running Test* permite que o ensaio seja iniciado (*Start*), que seja interrompido (*Pause*) ou seja abortado (*Stop*). Caso seja abortado, todos os dados já adquiridos serão gravados. Caso seja interrompido, surge a seguinte tela:



*Figura 18: Tela Test Status (Pausa)*

A Tela *Running Test* apresenta, ainda, o tempo total de ensaio, o tempo parcial (tempo de ensaio de cada ponto) e o número do ponto atual (num total de 13). Ao final do 13º ponto, o ensaio é finalizado e o programa volta a Tela *Control Screen*.

Conforme dito anteriormente, a Tela Gas Analyser apresenta a concentração corrigida dos gases de escape. Isto se faz aplicando à concentração lida o polinômio interpolador. Os coeficientes de correção dos polinômios e seus termos independentes estão disponíveis em uma planilha Excel. Utilizando-se um recurso do Visual Basic chamado *OLE Automation*, é possível obter tais números direto da planilha e disponibilizá-los ao programa. Assim, corrige-se os dados de concentração para poderem ser exibidos na tela e gravados em disco.

## **5 - CONCLUSÃO:**

Durante os ensaios dinamométricos, acompanham-se temperaturas e pressões operacionais do motor (temperatura da água de entrada do motor, temperatura dos gases de escapamento, pressão de admissão de ar, etc.), consumo de ar e de combustível, bem como a concentração dos gases de escapamento, com o objetivo de se monitorar qualquer irregularidade, verificar a obtenção de condições estáveis de operação do motor antes da realização de medições e ler parâmetros importantes para os ensaios.

A necessidade do projeto era automatizar e gerenciar o registro das informações que são produzidas nos ensaios dinamométricos, comandar a seleção das escalas (faixas) de medição das concentrações de gases de escapamento, bem como promover suas mudanças caso haja necessidade, e desenvolver uma interface gráfica com o operador de fácil compreensão e manuseio.

Especificamente, o projeto concentrou-se na bancada de análise de gases: obtenção dos dados de concentração dos gases de escape, correção dos valores lidos e auto seleção das faixas de medição. As informações geradas são gravadas em disco para análise posterior.

O projeto foi desenvolvido em módulos de tal forma que se possa, futuramente, adquirir outros tipos de informação como rotação e carga do motor, temperaturas operacionais, umidade e temperatura do ar de alimentação do motor e consumo de combustível.

## 6 - BIBLIOGRAFIA:

- [1] Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Serviço de Bibliotecas. *Diretrizes para apresentação de dissertações e teses/* L.K.N. Kuae, M.C.M. Bonesio e M.C.O. Villela, editoração de M.G.C. Reis. - São Paulo, 1991. 50p. + apêndices
- [2] Hergert, Douglas. *Visual Basic 4 for Windows 95: bíblia do programador* / Douglas Hergert; tradução: Ana Beatriz T.S. Pereira. São Paulo: Berkeley Brasil, 1996. 566p.
- [3] Microsoft Corporation. Programmer's Guide. *Microsoft Visual Basic - Programming system for Windows - Version 3.0* / Microsoft Corporation. Washington, 1993. 711p.
- [4] Craig, John Clark. *Microsoft Visual Basic Workshop*. Washington: Microsoft Press, 1996. 485p.
- [5] Keithley Instruments, Inc. *CYRDAS 1800 Series Function Call Driver User's Guide - Revision B - April 1994*, Part Number: 90980. Keithley Instruments, Inc. New Haven, 1994. 238p.
- [6] Keithley Instruments, Inc. *CYRDAS 1800HC Series User's Guide - Revision B - May 1994*, Part Number: 90970. Keithley Instruments, Inc. New Haven, 1994. 238p.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Apresentação de desempenho de motores ACI (alternativos de combustão interna) - NBR-5477*. Rio de Janeiro, 1982. 28p.

- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Motores alternativos de combustão interna de ignição por compressão (Diesel) ou ignição por centelha (Otto) de velocidade angular variável - Ensaio: NBR-5484*. Rio de Janeiro, 1985. 8p.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Determinação da emissão do gás de escapamento emitido por motor Diesel: NBR-10813*. Rio de Janeiro, 1993. 13p.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Motor Diesel - Análise de gases de escapamento: NBR-11480*. Rio de Janeiro, 1990. 13p.

## 7 - ANEXOS:

### 7.1 – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES:

Emissões de escapamento: substâncias emitidas para a atmosfera, provenientes de qualquer abertura do sistema de escapamento, a jusante da válvula do escapamento.

Equipamento para análise dos gases: o sistema analítico compõe-se de um detector por ionização de chama (DIC) para as determinações de hidrocarbonetos; analisadores por absorção de raios infra-vermelhos não dispersivos (IND) para as determinações de monóxido e dióxido de carbono; um analisador por luminescência química (LQ) para as determinações de óxidos de nitrogênio e um analisador magneto-pneumático para determinação da concentração de oxigênio.

Gás de calibração: gás de concentração conhecida, utilizado no estabelecimento da curva de resposta de um analisador.

Gás de referência: gás de concentração conhecida, utilizado na verificação periódica da resposta de um analisador.

Gás zero: gás utilizado no estabelecimento do ajuste zero de um analisador.

hidrocarbonetos totais: total de hidrocarbonetos existentes numa amostra de gás, inclusive o metano.

Óxidos de nitrogênio: soma do óxido nítrico e do dióxido de nitrogênio contidos em uma amostra de gás como se o óxido nítrico estivesse sob a forma de dióxido de nitrogênio.

Partes por milhão (ppm): número de unidades de volume de determinado gás contidas em um milhão de unidades de volume da mistura gasosa.

Sistema de amostragem: deve ser do tipo amostrador de volume constante e permitir medir as massas reais de poluentes emitidas pelo tubo de descarga de veículo, sendo necessário medir o volume total da mistura gás de escapamento/ar de diluição e coletar continuamente, para análise, uma alíquota dessa mistura, proporcional àquele volume.

Velocidade angular intermediária: velocidade angular no momento de força máximo, se esta estiver entre os limites de 60% e 75% da velocidade angular nominal. Caso contrário, considera-se o mais próximo destes limites.

Velocidade angular nominal: velocidade especificada pelo fabricante na qual o motor desenvolve a máxima potência efetiva líquida.

13 pontos: ensaio segundo a Norma NBR-11480 onde se avalia as emissões em treze condições de regime constante, perfazendo um ciclo de ensaio em dinamômetro de motor. Procedimento:

- Registrar graficamente, ou através de outros tipos diferentes de registro desde que seja assegurada uma equivalência com a aquisição de dados, os seguintes dados durante todo o ciclo de ensaio ou pelo menos durante os últimos 3 minutos de cada condição: a) leitura do analisador de hidrocarbonetos; b) leitura do analisador de monóxido de carbono; c) leitura do analisador de dióxido de carbono; d) leitura do analisador de óxidos de nitrogênio.
- Registrar os seguintes dados nos últimos 3 minutos de cada condição: a) velocidade angular do motor; b) momento de força; c) temperatura do ar de admissão; d) pressão barométrica; e) temperatura do combustível; f) depressão na admissão; g) contrapressão do gás de escapamento; h) fluxo

de massa do ar de admissão ou do gás de escapamento; i) consumo de combustível.

- Determinar a emissão de escapamento, em volume, de hidrocarbonetos, monóxido e dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio a partir do registro dos dados relativos à média dos últimos 60 segundos de cada condição.

Execução do ensaio: medir a concentração em volume de HC, CO, CO<sub>2</sub>, e NO<sub>x</sub> na amostra de escapamento. Se a resposta do analisador exceder a 100% da indicação máxima da escala ou corresponder a menos de 15% deste, deve ser utilizada a escala seguinte mais alta ou mais baixa do analisador. Determinar a concentração para estas amostras usando dados de calibração.