

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA REDUÇÃO DAS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO EM ENSAIOS DINAMOMÉTRICOS

Fabrício José Pacheco Pujatti

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC/MG
Av. José Candido da Silveira, 2000 – Horto
CEP: 31170-000 – Belo Horizonte, MG – Brasil
e-mail: pujatti@cetec.br

Ramón Molina Valle

Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC/UFMG
Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário
CEP: 31270-901 – Belo Horizonte, MG – Brasil
e-mail: ramon@demec.ufmg.br

Vander Ferreira Rodrigues

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC/MG
Av. José Candido da Silveira, 2000 – Horto
CEP: 31170-000 – Belo Horizonte, MG – Brasil
e-mail: vander@cetec.br

Francisco Ermelindo de Magalhães

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC/MG
Av. José Candido da Silveira, 2000 – Horto
CEP: 31170-000 – Belo Horizonte, MG – Brasil
e-mail: xkomagal@cetec.br

Resumo. A crescente implementação de sistemas de aquisição de dados utilizando computadores pessoais motiva o desenvolvimento e a aplicação desses sistemas a ensaios dinamométricos, onde o principal objetivo é a redução da incerteza das medições, inerentes ao processo, e a obtenção otimizada das curvas características (Potência, Torque e consumo específico de combustível) do motor ensaiado ao final do teste, em função das normas aplicadas à homologação de motores. Em parceria com o Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC/UFMG, o Laboratório de Ensaio de Motores – LEM – da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC - implementou e realizou testes com um sistema de aquisição de dados que permitiram trabalhar com os parâmetros envolvidos na realização dos ensaios dinamométricos, sujeitos a ruídos e interferências externas, mas que, devido à metodologia aplicada, apresentaram resultados satisfatórios e redução das incertezas associadas ao sistema de medição.

Palavras-Chave ensaios dinamométricos, aquisição de dados, motores.

1. INTRODUÇÃO

Ensaios dinamométricos são provas experimentais, realizadas em salas equipadas com dispositivos e instrumentos capazes de medir a potência desenvolvida por um motor de combustão interna (MCI), baseada na medição direta do momento da força tangencial aplicada ao eixo (torque) para todos os regimes de operação. Pujatti (2003) mostra que é a partir desses ensaios são obtidas informações como desempenho, consumo e emissão de gases provenientes da combustão do motor em teste, onde a metodologia aplicada a cada ensaio é função da resposta que se pretende obter.

As condições para a sua realização são descritas através de normas específicas de cada país. No Brasil, estas características devem se enquadrar dentro das normas do INMETRO, aplicadas a homologação de motores, que especificam as condições de ensaio de motores projetados para veículos rodoviários, os parâmetros a serem medidos, as correções nas medidas obtidas e as formas de apresentação das curvas características levantadas.

Para a aquisição dos parâmetros especificados, são normalmente utilizados os sistemas manuais, realizando-se a leitura em indicadores analógicos ou digitais, e a anotação dos valores em fichas apropriadas, como apresentado por Barros et al (2002). Esse procedimento, apesar de simples, é cansativo e pode acarretar incertezas no processo de medição e também erros de leitura. Os sistemas de aquisição de dados podem então ser aplicados, visando principalmente a redução das incertezas associadas a esse procedimento.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é a implementação de um sistema de aquisição de dados que atenda as exigências da Norma NBR ISO 1585 da ABNT, sendo capaz de reduzir a incerteza das medições inerentes ao processo, exibir os parâmetros lidos na tela do computador, e de obter a curva característica corrigida do motor em teste ao término do ensaio.

3. METODOLOGIA

A implementação de um sistema de aquisição de dados visa otimizar o processo de leitura dos parâmetros necessários à determinação das curvas características de um motor, durante um ensaio dinamométrico. Nessa implementação, considerou-se como referência a Norma NBR ISO 1585 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, sendo esse sistema implementado e testado no Laboratório de Ensaios de Motores - LEM - do CETEC-MG.

Segundo a NBR ISO 1585, a obtenção dessas curvas consiste em determinar a potência e o consumo específico observados em função da faixa de rotação de operação do motor, multiplicando estes valores por um fator de correção. Os pontos de medição e as faixas e as incertezas máximas de todos os parâmetros, monitorados durante o ensaio, devem obedecer a norma citada.

O ensaio de potência efetiva líquida é realizado com acelerador do motor plenamente acionado, estando ele equipado com todos os componentes auxiliares, apresentados em detalhe pela NBR ISO 1585. Esses são definidos como os componentes necessários para aplicação pretendida, sendo instalados o mais próximo possível da posição original. Os parâmetros de desempenho devem ser medidos em um número suficiente de rotações, para definir completamente a curva de potência entre a menor e a maior das rotações recomendadas pelo fabricante, incluindo a rotação na qual o motor produz sua maior potência.

Durante o funcionamento do motor e a leitura dos parâmetros, a rotação real não deve desviar-se da rotação desejada por $\pm 1\%$ ou ± 10 rotações por minuto (rpm) prevalecendo aquela que for maior. Os dados observados devem ser descritos pela média de duas leituras consecutivas, sendo a 2^a realizada 1 minuto após a 1^a, sem qualquer ajuste do motor. Nenhum dado deve ser tomado até que os parâmetros de desempenho mantidos constantes por 1 minuto. Devem ser ainda observadas as recomendações do fabricante quanto ao amaciamento prévio, partida e aquecimento do motor.

As condições atmosféricas para validação do ensaio devem estar próximas das condições de referência, sendo a temperatura ambiente de 25 °C, a pressão seca de referência de 99 kPa (pressão total de 100 kPa menos a pressão de vapor de 1kPa). O limite de temperatura ambiente para ensaio é 15 até 35 °C para motores de ignição por centelha e o limite da pressão seca é 80 até 110 kPa.

A correção de torque e potência medida deve ser feita pelas equações apresentadas na norma, levando em conta, o tipo de motor (Otto ou Diesel), a pressão atmosférica, a umidade relativa e a temperatura local. Segundo Barros et al (2002) As correções aplicadas objetivam levar as medidas realizadas para as condições de referência, de forma a permitir comparações entre resultados.

O ensaio é iniciado a máxima rotação, sendo reduzida seguindo um intervalo pré-determinado que em geral é de 500 rpm ou, em alguns casos, de 250 rpm. O tempo total de ensaio é de aproximadamente 1,5 horas, pelo fato do motor estar no regime de máxima rotação ao fim do período de aquecimento e, como descrito por Barros et al (2002), pelo regime de desaceleração ser menos sensível a efeitos dinâmicos do conjunto motor-dinamômetro, sobre a medida de torque.

Em geral os ensaios dinamométricos utilizam sistemas manuais de aquisição através de mostradores analógicos e digitais. Isto exige um grau de filtragem elevado do sinal para permitir a leitura do operador mascarando as características dinâmicas do conjunto motor-dinamômetro e algumas vezes dificultando a repetibilidade da medição como apresentado por Barros et al (2002). Dessa forma, projetar e implementar um sistema de aquisição de dados aplicado a ensaios dinamométricos tem o objetivo principal de eliminar os filtros aplicados aos sinais reais e reduzir a incerteza da medição do parâmetros de desempenho de um MCI.

A implementação e os testes do sistema de aquisição de dados foram realizados no LEM/CETEC. O equipamento utilizado é dinamômetro hidráulico modelo D210-1e fabricado pela SCHENCK. Durante os ensaios utilizou-se o motor 1.0 MPI, fabricado pela FIAT Automóveis S/A, sendo um motor comercial de 4 cilindros dispostos em linha com 08 válvulas, naturalmente aspirado, apto a trabalhar à gasolina e a gás natural veicular (GNV) por meio da instalação de um kit de conversão da Empresa NetGás.

Um dos fatores de grande relevância para a implementação do sistema de aquisição de dados são os sinais provenientes dos sensores e transdutores do sistema, cujo sinal de saída analógica deve apresentar características similares em termos de polaridade e níveis de tensão, quando comparados à placa de aquisição.

O Laboratório de Instrumentação e Controle do DEMEC/UFMG disponibilizou uma placa de aquisição de dados que atendia às necessidades do sistema projetado, fabricada pela Computers Boards, e seus respectivos acessórios de instalação e operação (manuais, bibliotecas, *drivers*, etc.). Disponibilizou também um computador K6-II 450 MHz, visto que suas configurações atendiam às necessidades da placa de aquisição (barramento ISA).

O processo de medição do torque é realizado através de um transdutor de força, da marca Kratos modelo "MM 200" a compressão que, acoplado ao freio dinamométrico, fornece o torque produzido pelo MCI em teste. O sinal proveniente desse transdutor é enviado ao condicionador de sinal e indicador digital que, além de apresentar o seu valor, disponibiliza uma saída analógica de 0 a 10 volts com um erro de linearidade menor que 1% na aplicação de carga.

A determinação da rotação do sistema é realizada medindo-se a freqüência da tensão alternada gerada por um sensor indutivo, em função do deslocamento relativo dos dentes de uma roda dentada solidária ao eixo do dinamômetro. Esse sinal é enviado ao indicador digital de rotações que disponibiliza uma onda quadrada na mesma freqüência do sinal do sensor, em nível TTL.

As temperaturas necessárias para obtenção do fator de correção, são medidas utilizando termo-resistências do tipo PT-100, configuradas para medição a três fios, visto que são adequadas aos níveis de temperatura medidos e devido a sua disponibilidade. Para cada ponto de temperatura medido, utiliza-se um PT-100 distinto, sendo o sinal proveniente de cada sensor enviado à um amplificador operacional, configurado para tal função.

A pressão atmosférica é um fator de grande importância na obtenção do fator de correção da potência visto que, juntamente com as temperaturas a bulbo seco e a bulbo úmido, é utilizada na determinação da pressão atmosférica seca no interior da sala de ensaios.

Para determinar tais valores, utilizou-se um sensor de pressão diferencial, normalmente encontrado em sistemas de injeção eletrônica de combustível, mediante a constatação de sua linearidade e repetibilidade. Esse sensor possui uma faixa de trabalho de 40 Pa a 102 kPa sendo o sinal de saída de 0 a 5,0 volts, quando alimentado com 5,0 volts. A faixa de trabalho para o qual o transdutor de pressão será utilizado é de 4,3 a 4,8 volts, correspondente à maior variação da pressão atmosférica em Belo Horizonte, segundo o Laboratório Isaac Newton do Setor de Testes Físicos do CETEC-MG.

4. RESULTADOS

A implementação e execução de testes do sistema de aquisição proposto permite que todos os parâmetros lidos por esse sistema sejam avaliados quanto à existência de ruídos e interferências externas influenciando na medição das variáveis envolvidas no processo. Dessa forma, ao final da elaboração do software de aquisição de dados alguns testes foram realizados no intuito de se verificar as condições operacionais do referido sistema. Esses testes mostram por meio de representação gráfica dos parâmetros adquiridos em um número elevado de leituras ($>10^4$) ausência de ruídos e de interferências externas, atenuando ou amplificando os sinais obtidos.

O software de aquisição, responsável pelo gerenciamento de todo o sistema implementado, foi desenvolvido em Object Pascal, cuja interface tipo 'Windows' foi escrita na linguagem Delphi 5.0. Ele é responsável por apresentar todos os parâmetros adquiridos durante o ensaio e por gravar quando solicitado. A tela gerada com a execução do software é apresentada na Fig. (1).

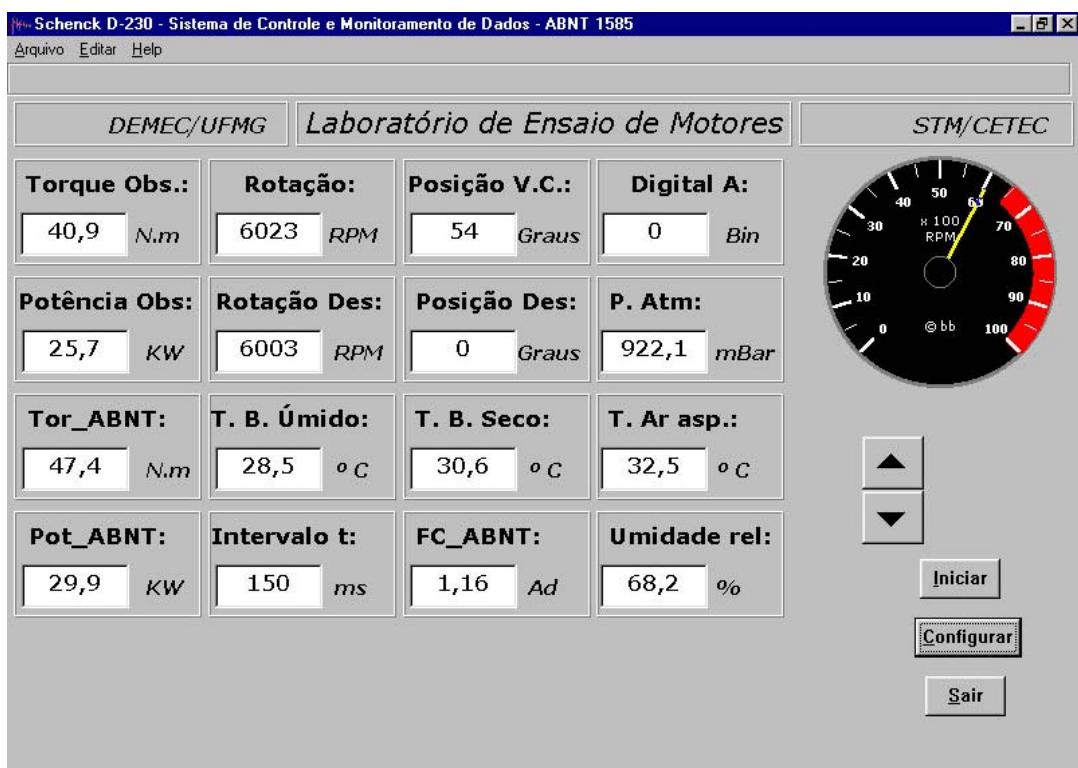


Figura 1. Interface gráfica apresentada quando o software de aquisição é executado.

Legenda: **Torque Obs:** Torque observado; **Potência Obs:** Potência observada; **Tor_ABNT:** Torque corrigido; **Pot_ABNT:** Potência corrigida; **Rotação:** Rotação do motor; **Rotação Des. :** Rotação de referência; **T. B. Úmido:** Temperatura de bulbo úmido; **Intervalo t:** tempo; **Posição V.C.:** Posição da válvula do dinamômetro; **T. B. Seco:** Temperatura de bulbo seco; **FC_ABNT:** Fator de correção, segundo Norma NBR ISO 1585; **P. Atm:** Pressão atmosférica; **T. Ar asp.:** Temp. do ar de aspirado; **Umidade rel:** Umidade relativa.

O início da aquisição é controlado pela tecla “Iniciar” apresentada na Fig. (1), que habilita o início da gravação dos parâmetros apresentados na tela, descrito na legenda da Fig. (1). Os dados apresentados são atualizados na tela do computador em intervalos de tempo de 400 ms, e podem ser gravados em arquivos específicos. Esse procedimento é habilitado no menu principal, na opção Arquivo e, em seguida, gravar dados.

O software grava 10 leituras distintas de cada parâmetro apresentado e armazena em arquivos previamente especificados. No intuito de melhorar a visualização da rotação medida, implementou-se um indicador analógico de rotação. O programa é finalizado através da tecla “sair”, que finaliza o software e fecha a tela apresentada.

Considerando a resolução de 12 bits do conversor A/D da placa de aquisição e que todos os canais de entrada analógica tenham sido configurados para trabalhar em uma faixa de tensão de zero a 10,0V, determina-se a menor variação de tensão capaz de ser percebida pelo conversor A/D.

Essa variação é denominada Bit Menos Significante – LSB (*Least Significant Bit*), sendo determinada segundo a Eq. (1) mostrada por Tarik (1996).

$$LSB = \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{(2^n - 1)} \quad (1)$$

V_{\max} = Maior tensão lida pelo canal [V];

V_{\min} = Menor tensão lida pelo canal [V];

n = Resolução do Conversor A/D [bits].

Aplicando-se os valores de tensões e a resolução para o sistema implementado, encontra-se um valor de LSB equivalente a 0,0025 volts por bit de conversão. A Tabela (1) apresenta os valores equivalentes de cada medida, realizada para o valor do LSB no intuito de registrar a menor variação que cada parâmetro medido precisa apresentar, para que seja uma variação perceptível ao sistema de aquisição de dados.

Tabela 1. Variação mínima das variáveis perceptível pelo sistema de aquisição de dados.

Mensurando	Valor máximo	Valor mínimo	LSB	Menor Variação
Torque [Nm]	450	0	0,0025 [V/bit]	0,164 [Nm]
Posição [graus]	90	0		0,03 [graus]
Temperaturas [°C]	140	0		0,035 [°C]
Pressão [Pa]	91000	95000		10 [Pa]

A Figura (2) apresenta as curvas de potência e torque corrigidos, obtidos com o motor operando a gasolina comum e a GNV, sendo cada ponto do gráfico obtido segundo a NBR ISO 1585. Uma comparação entre os dados obtidos manualmente e os lidos e gravados pelo sistema de aquisição implementado, permite observar uma menor incerteza na medição, devido ao menor erro associado à cada medida, além de uma redução significativa no tempo de obtenção da curva característica do motor ensaiado. Isso se deve a característica do software calcular os valores de potência e torque instantaneamente e de gravar esses valores em arquivos adequados.

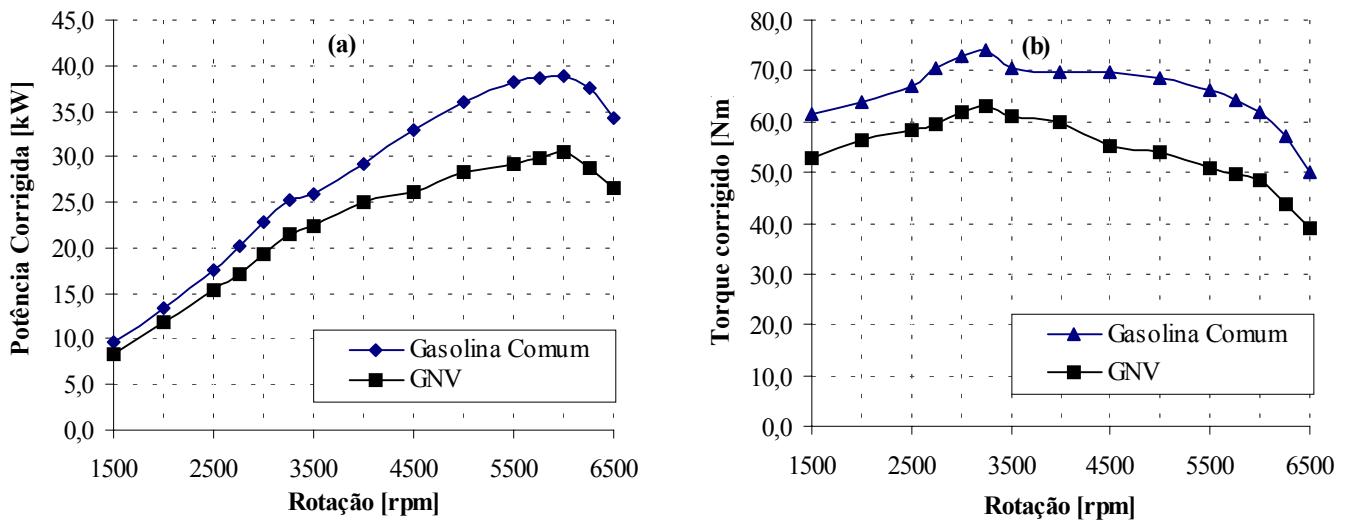


Figura 2. Curvas obtidas durante o ensaio com o motor operando a gasolina e a GNV (a) Potência corrigida em função da rotação (b) Torque corrigido em função da rotação do motor.

Outra característica observada sobre o sistema de aquisição de dados é a sua freqüência de trabalho. Cada *loop* do programa gasta, em média, 140 ms para realizar todas as medições e conversões de dados. Esse tempo é considerado elevado para sistemas de aquisição de dados, fazendo com que a freqüência de aquisição seja da ordem de 6,6Hz.

O fator predominante no aumento do tempo gasto pela rotina implementada, e consequente queda da freqüência, é a medição de rotação. A função utilizada no software para a determinação do tempo gasto na execução de cada *loop* do software, denominada *getTickCount*, possibilita a medição precisa de valores maiores que 1,0 ms. Para diminuir o erro associado à medição do tempo, a rotina possui um atraso de 100 ms (*sleep(100)*) que acarretou esse aumento de tempo.

Essa rotina tornou-se necessária devido a indisponibilidade de um canal específico para medição de freqüência na placa de aquisição utilizada o que deve ser observado na implantação de um sistema similar ao proposto no presente trabalho.

Por se tratar de um sistema de aquisição de dados desenvolvido em ambiente Windows, a seqüência de interrupções utilizada por esse sistema operacional, da ordem de 55ms, pode causar alterações significativas na medição de rotação, principalmente se outros softwares estiverem operando juntamente com o software de aquisição de dados.

Esse fato foi observado durante alguns ensaios, invalidando a seqüência de pontos obtida. Como essa variação ocorre em uma freqüência inferior à freqüência de aquisição de dados, suspeitou-se da influência da seqüência de interrupções citada anteriormente.

Percebe-se na representação gráfica a ocorrência de picos de grande amplitude no sinal da rotação em uma freqüência inferior à freqüência de aquisição. Esse fenômeno está associado às interrupções do Windows durante a execução da rotina implementada provavelmente solicitadas por softwares instalados no computador utilizado. A Figura (3) mostra uma seqüência de pontos obtidos mantendo-se a rotação próxima a 1200 rpm onde esse fenômeno ocorreu.

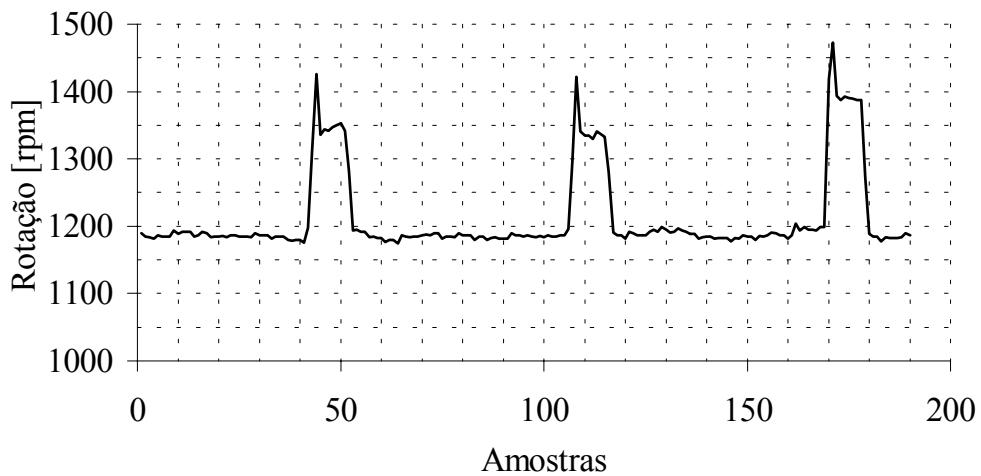


Figura 3. Erro de medida da rotação causado por interrupções do Windows.

Após a ocorrência do pico no sinal da rotação pode ser percebido um pequeno patamar gerado entre o valor máximo do pico e o valor real medido de 1200 rpm gerado no momento que o valor do pico entra na determinação da média móvel utilizada e permanece no cálculo das 10 medidas posteriores.

A forma encontrada para eliminar esse efeito foi a finalização de todos os programas executáveis que se encontravam em execução juntamente com o software de aquisição implementado.

Outra maneira de eliminar esse fenômeno indesejável é modificando a forma de medição da rotação, sendo isto possível com a utilização de um conversor de freqüência em tensão, medindo-se a rotação, através de um dos canais de entradas analógicas disponíveis.

Pode-se ainda modificar a forma de medição do tempo gasto na contagem dos pulsos em substituição da função utilizada (*GetTickCount*), realizar a medição de rotação solicitando uma interrupção de DMA através da placa de aquisição e determinando o tempo gasto através da freqüência de processamento do computador utilizado, ou também inserir no sistema um marcador de tempo (*clock*) externo ao computador.

Aumentar a freqüência de aquisição dos dados apresenta como principal vantagem o aumento do número de medidas realizadas no tempo, reduzido as incertezas do processo de medição por aproximá-lo de um sistema de aquisição em tempo real.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento e a implementação do sistema de aquisição de dados no Laboratório de Ensaios de Motores do CETEC-MG permitiu trabalhar com os parâmetros envolvidos na realização desses ensaios que, diferentemente das condições encontradas nos laboratórios do DEMEC-UFMG, estão sujeitos à ruídos e interferências externas, provenientes dos diversos dispositivos presentes no painel de instrumentos. Essas interferências possuem naturezas distintas, sendo os ruídos mais evidentes gerados pelo acionamento de válvulas solenóide, transformadores de tensão presentes no sistema e até mesmo dos cabos de tensão de alimentação de alguns dispositivos.

A utilização de cabos blindados e de isolamento adequado em todos os pontos de conexão do sistema de aquisição, além da união de todos os pontos de aterramento comuns, promoveu uma redução satisfatória dos ruídos e das interferências presentes nos sinais de aquisição, sem a utilização de filtros passivos. A grande vantagem da não utilização desses filtros nos sinais é a aquisição do sinal real do processo. Os sinais obtidos pelo sistema de aquisição podem ser considerados satisfatórios e permitem concluir que o sistema implementado é robusto e pouco suscetível a interferências eletromagnéticas presentes no sistema atual. Porém é fundamental observar os detalhes apresentados para a aquisição da rotação do sistema.

A ocorrência de interferência causada pela execução de outros softwares juntamente com o de aquisição pode acarretar grandes erros de medida da rotação invalidando os dados obtidos. A implementação de outra metodologia para medição da rotação do conjunto e o aumento da freqüência de aquisição do sistema, são colocadas como sugestão para melhoria dessa parte do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 1585, 1996, "Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva", Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, Brasil, 26p.
- Barros, J.E.M., Valle, R.M., Rodrigues, V.F., 2002, "Static and Quasi-static Test Procedures of Piston Engines", 9º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, Proceedings of the ENCIT 2002, Caxambú - MG, Brazil - Paper SAE 2002-306, 10p.
- Carvalho, R. D. B., 2003, "Turbo-alimentação de um motor de baixa cilindrada convertido para GNV". Trabalho de Graduação DEMEC/UFMG. Belo Horizonte, Brasil, 63p.
- Johnson, C.D., 1997, "Process control instrumentation technology", University of Houston, 5th edition, New Jersey, 07458.
- Plint, M., Marty, A., 1999, "Engine Testing Theory and Practice", SAE International, 2nd ed., Warrendale, USA, 363p.
- Pujatti, F.J.P., 2003, "Desenvolvimento de um modelo paramétrico para controle da válvula de comando de um dinamômetro hidráulico", Dissertação de Mestrado PPGMEC/UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 145p.
- Tarik, O., 1996, "Data acquisition and process control using personal computers". Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. New York, 468p.

DEVELOPMENT OF A DATA ACQUISITION SYSTEM TO REDUCE THE UNCERTAINTY OF MEASUREMENT IN ENGINE TEST BED

Fabrício José Pacheco Pujatti

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC/MG
Av. José Candido da Silveira, 2000 – Horto
CEP: 31170-000 – Belo Horizonte, MG – Brazil
e-mail: pujatti@cetec.br

Ramón Molina Valle

Universidade Federal de Minas Gerais – Mechanical Engineering Department – DEMEC/UFMG
Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário
CEP: 31270-901 – Belo Horizonte, MG – Brazil
e-mail: ramon@demec.ufmg.br

Vander Ferreira Rodrigues

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC/MG
Av. José Candido da Silveira, 2000 – Horto
CEP: 31170-000 – Belo Horizonte, MG – Brazil
e-mail: vander@cetec.br

Francisco Ermelindo de Magalhães

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC/MG
Av. José Candido da Silveira, 2000 – Horto
CEP: 31170-000 – Belo Horizonte, MG – Brazil
e-mail: xkomagal@cetec.br

Abstract. The increase of data acquisition systems implementation using personal computers motivates the development and application of those systems in the engine tests bed, where the main objective is an reduction of measurements uncertainty, associated to the process, and the optimized of determination of the performance curves (Power, Torque and specific fuel consumption) of the engine in test, according to the homologation norms. The Mechanical Engineering Department - DEMEC/UFMG, in association with Laboratory of Engine Tests – LEM - of the Fundação Centro Tecnológico of Minas Gerais - CETEC - implemented and test a new data acquisition system able to work with all parameters involved in the engine test bed, subjects to noises and external interferences who, according to the methodology applied, showed satisfactory results and reduction of the uncertainties associated to the systems measurements.

Keywords. dynamometer tests, data acquisition, engine.