5. Resultados experimentais obtidos a bordo

Nos capítulos 3 e 4, dois modelos encontrados na literatura, (Kyrtatos et al. 2001 e Xiros 2002), foram adaptados para realizar a análise do rendimento térmico sob torque transiente e durante a aceleração.

Também foi elaborado um modelo algébrico-termodinâmico dotado de um sub modelo de regulador de velocidade que permite a análise de vários parâmetros de desempenho de um motor de dois tempos durante a aplicação de torque transiente.

Neste Capítulo é apresentado o sistema de aquisição de dados instalado no motor propulsor que equipa o navio DPST Ataulfo Alves, assim como os resultados obtidos durante a operação do mesmo.

Posteriormente, a variação da rotação do motor medida durante a operação será comparada com os resultados do modelo de torque transiente descrito no capítulo 4.

5.1. Descrição do experimento

O motor propulsor representado esquematicamente na Figura 35 foi dotado de um sistema de aquisição de dados que registrou simultaneamente:

(i) a pressão de ar de alimentação (lavagem), antes e após o resfriador,

- (ii) rotação do motor,
- (ii) a rotação do turboalimentador,
- (iii) o indice de abertura das bombas injetoras.

A pressão de alimentação foi medida utilizando-se medidores de pressão Kistler resfriados. Estes medidores instalados a jusante e a montante do resfriador de ar de alimentação na posição indicada na Figura 35. Os medidores são conectados aos seus amplificadores correspondentes, os quais também são instalados na praça de máquinas. A rotação do motor, do turboalimentador e a abertura das bombas injetoras, foram medidas utilizando-se o sinal da instrumentação convencional de bordo, levantada no centro de controle de máquinas.

Os sinais dos instrumentos são coletados por uma placa de aquisição de dados NI USB 6210, e armazenados em um computador Dell 131L, dotado de programa de aquisição LabView 7.0 e de software de aquisição dedicado.



Figura 35-Esquema de colocação de sensores de aquisição de dados.

O sistema de aquisição de sinais a bordo foi projetado de modo a não interferir no sistema de segurança, controle e monitoração do navio durante os períodos de aquisição de dados. No entanto, as ligações em paralelo com os instrumentos do navio, induziram a baixas recorrentes de isolamento de 24 V, provocando alarmes no sistema elétrico de bordo. Como consequência, foi necessária a obtenção dos sinais provenientes dos sensores do navio ficando os instrumentos de bordo inabilitados durante o período de aquisição.

A aferição da calibração dos sensores foi executada a bordo, após sua instalação, considerando para este fim o valor da pressão de ar de alimentação lida no manômetro do navio. Este procedimento é considerado suficiente pois este trabalho objetiva descrever a relação entre os parâmetros e não seus valores exatos.

Os sinais da rotação do motor, índice das bombas e rotação do turbo, obtidos a partir dos sensores de bordo, possuem a precisão caracterísitca do motor de passo e dos taco geradores (pick up) instalados originalmente no navio, cujos valores não foram caracterizados.

5.2. Análise dos resultados experimentais.

Após a coleta de dados a bordo da embarcação, uma análise da consistência desses dados foi empreendida: O motor operou em um trecho de navegação, entre os dias 14 e 15 de novembro de 2008, onde o mar se apresentou extremamente plano, sem variações significativas de ondas. O leme (comando pelo giro piloto) operou com varições angulares da ordem de 10° incidindo assim uma perturbação bem menor do que aquela imposta aos modelos anteriormente simualdos. Não foram observadas variações na carga da máquina que resultassem em uma alteração no índice das bombas maior do que 3 traços.

Dada esta condição de mar, é razoável estimar a potência desenvolvida pelo motor diretamente do desempenho determinado durante o teste de aceitação (11089 kW ou 72% de carga). A pressão do gás de descarga na entrada da turbina, obtida a partir do valor da pressão de ar de lavagem P_g =1,44e5 Pa (equação 4.17), e a vazão mássica de ar determinada pela equação 4.16, de 33 kg/s para a potência que o motor desenvolvia, durante o período de observação. A leitura direta do índice das bombas injetoras, FPI, 79,1, permite o cálculo da vazão mássica de combustível, de 0,545 kg/s, o que resulta em uma razão ar combustível A/F=60. Como comentado, parte desta vazão de ar não participa do processo de combustão, sendo necessária para garantir o resfriamento dos componentes da câmara de combustão e, assim, reduzir a temperatura de início de compressão, reduzindo, por conseguinte, a temperatura de frente de chama e a taxa de geração de NO.

Chang Su et al. (2001), determinou utilizando a dinâmica de fluidos computacional e medições em um motor similar, que 36% da massa de ar fornecida aos cilindros, não participa da combustão, e que a razão de lavagem é de 1,36 isto é, 21,12 kg/s de ar são usados para a combustão, razão ar/combustível de 38,78. Este valor é mais elevado do que o limite utilizado em modelos quase estáticos da literatura como limite inferior para eficiência da combustão, (Xiros 2002), de 17 na equação 4.8.

O rendimento térmico é calculado, equação 4.18, através da vazão de combustível e do poder calorífico do combustível, assumindo-se, para este último, o valor de 40 MJ/kg. Como a vazão de combustível pode ser determinada

pela equação 4.4, disponibiliza-se para a máquina 21.780 kW em energia química. Uma vez que o valor encontrado para a potência efetiva foi de 11,1 MW, descontando-se o rendimento mecânico, cujo valor é estipulado como sendo (0,9), chega-se a um rendimento térmico de 45%.

5.2.1. Descrição dos dados como obtidos e seu tratamento.

Na Figura 36 estão representados os dados de aquisição (sem tratamento) e a senóide correspondente ajustada pelo programa de processamento de sinais. Note-se aplicação direta de FFT aos dados brutos não permitiu a determinação de uma frequência dominante, o que sugere a necessidd de se utilizar filtros específicos, o que se encontra fora do escopo deste trabalho. A frequência desta senóide é de 1,316 Hz o que corresponde à 78,9 rpm, velocidade de rotação do motor a qual se encontra em ótimo acordo com a medição dos instrumentos de bordo. A amplitude da senóide é de 0,21 Hz, ou seja, 0,27% do valor médio.



Figura 36–Histórico da velocidade de rotação do motor. Resultados experimentais brutos, e a senoide correspondente.

Para o turbo compressor, os sinais obtidos e a curva ajustada encontra-se na Figura 37. O valor médio da rotação é de 7716 rpm, e a frequência dominante encontrada, utilizando-se a mesma metodologia do que aquela para tratamento da rotação do motor é de 20 Hz. A amplitude de oscilação do sinal de Nt é de 37 rpm.



Figura 37-Histórico dos dados e curva correspondente de rotação do turbo.

O histórico da resposta do índice das bombas injetoras é representado na Figura 38. A frequência dominante, é de 400 Hz. Esta figura sugere a existência de efeito (*jiggling*) semelhante ao encontrado na simulação do modelo termodinâmico completo de Kyrtatos et al (2001). Este efeito foi atribuído ao fato que a velocidade instantânea do motor, usada para cálculo da derivada que determina a constante derivativa (K_D), varia substancialmente dentro de um ciclo motor devido, às combustão nos cilindros. Naquele trabalho, a incorporação de um atuador (filtro de primeira ordem no sinal de rotação do motor) remove este comportamento do índice das bombas injetoras. Note-se, porém, que o sinal de rotação monitorado a bordo não foi o sinal do regulador, uma vez que a aquisição de dados não pode interferir na operação do navio, e sim o sinal do tacômetro do motor instalado no console.



Figura 38-Histórico da medição do sinal do índice das bombas injetoras

Na Figura 39 exibe-se o histórico do sinal de pressão de ar de alimentação a jusante e a montante do resfriador de ar de lavagem. Os valores médios e a amplitude das flutuações das senóides ajustadas a estes sinais de pressão são 1,698 bar e 2,37 mbar.



Figura 39-Histórico da pressão do ar de alimentação entre a montante e a jusante do resfriador de ar de lavagem.