

3. Aparato Experimental

Para obter os dados de desenvolvimento do grupo gerador no modo bi combustível, foi necessário fazer uma montagem de diversos sistemas de controle. Foram empregados medidores de vazão, pressão, temperatura, emissões, testador de carga e um sistema de compressão de gás natural. Todas as experiências foram realizadas no Laboratório de Engenharia Veicular (LEV) da PUC-RIO. Abaixo é mostrado um esquema simples da montagem do aparato experimental utilizado para a medição das grandezas de interesse.

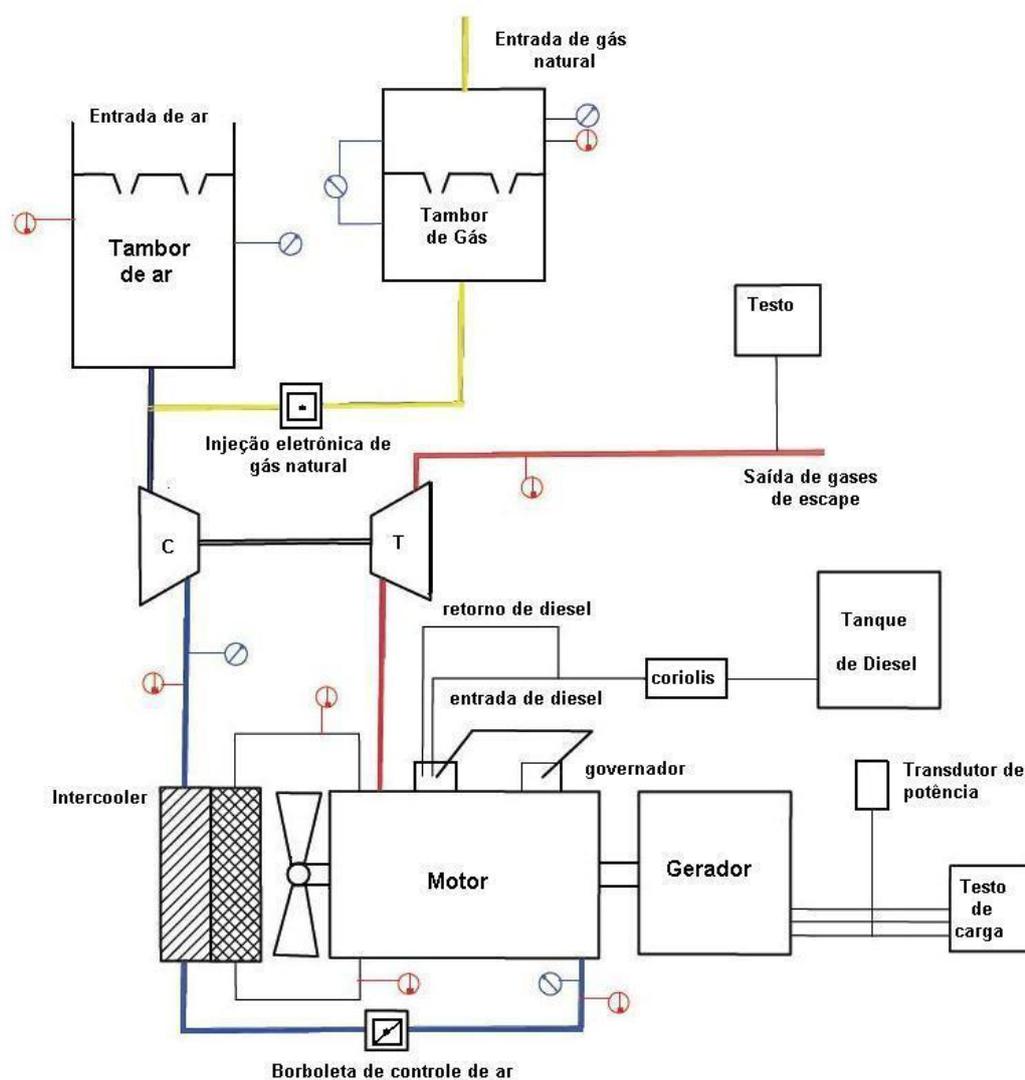


Figura 2: Esquema da instalação e montagem dos equipamentos de ensaio

3.1. Grupo Gerador

Foi testado um grupo gerador de quatro tempos Perkins 1006 TAG modelo P135 com aspiração turbo e pós-arrefecido, empregado para geração de potencia até 135 KVA.

Na Figura 3 é apresentado fotografias do grupo gerador, seguida dos dados técnicos do Perkins 1006 TAG.



Figura 3: Grupo gerador Perkins 1006 TAG modelo P135

Tabela 4: Dados Técnicos do Grupo gerador (FGWilson, 2004).

Dados técnicos do grupo gerador	
Fabricante – Modelo	Perkins 1006 TAG – P135
Alimentação	Turbo / pós-arrefecido
Ciclo de Funcionamento	Quatro tempos
Número de Cilindros	6
Diâmetro x Curso	100 x 127
Disposição	Em linha
Cilindrada Total	5,985 litros
Cilindrada Unitária	0,997 litros
Taxa de Compressão	17:1
Potência Elétrica	120 KW
Potência Neta	134 KW
Peso Seco	1403 Kg
Tipo de Injeção	Governador Eletrônico

3.2. Governador Eletrônico

Se empregou um Governador eletrônico para regular o curso da bomba de injeção de alta pressão, de marca WOODWARD modelo EPG512 que conta com 3 elementos básicos um *pick up* que é o sensor de RPM , um regulador eletrônico e um atuador.

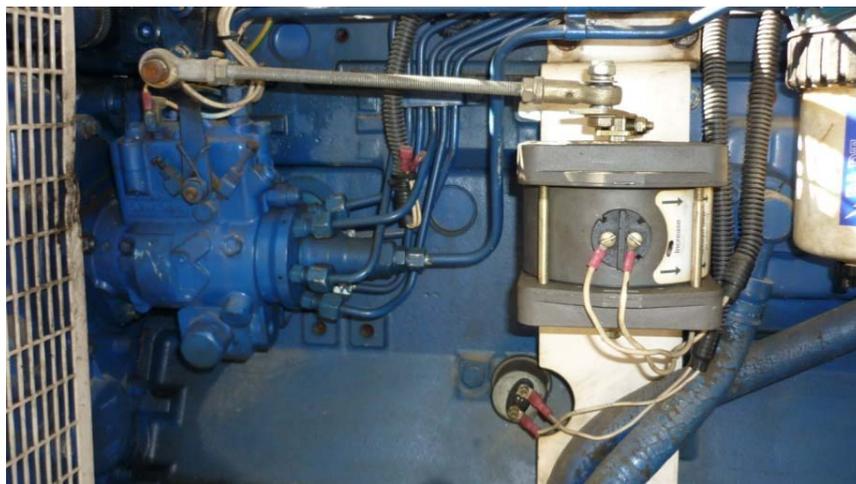


Figura 4: Governador eletrônico da Bomba de alta Pressão de combustível.

3.3. Medição de Carga Elétrica

Para a medição da carga elétrica utilizou-se, em conjunto, a medição de amperagem e voltagem. O amperímetro empregado foi de marca ICEL modelo AD-8000, o voltímetro de marca OMEGAETTE modelo HHM93.



Figura 5: Voltímetro e Amperímetro

3.4. Medição do Consumo de Diesel

O consumo de Diesel foi determinado por um medidor de vazão que emprega o efeito coriolis fabricado pela MICROMOTION. É composto por duas partes, o sensor modelo CMF010 e o transmissor modelo 1700/2700, com uma capacidade de medição de 0 até 100 Kg/h, com uma incerteza de $\pm 0,1\%$.



Figura 6: Medidor de vazão de Óleo Diesel.

3.5. Controlador Eletrônico de Vazão Ar

Na regulagem da vazão mássica de ar na admissão usou-se uma borboleta eletrônica normalmente fechada fabricada pela BOSCH, utilizada em motores de ciclo Otto. O dispositivo é controlado por um circuito eletrônico, feito no LEV, que permite regular a vazão mássica variando o ângulo da abertura da borboleta.

Foi também acoplado um controle eletrônico para aumentar ou diminuir o ângulo de abertura da borboleta, motivo pelo qual se consegue diminuir a vazão de ar subministrada ao motor.



Figura 7: Borboleta eletrônica para o controle de ar de admissão

3.6. Medição de Consumo de Ar

Para a medição de ar utilizou-se um aparato como entrada de um tambor-pulmão amortecedor de aproximadamente 400 litros de volume já existente no LEV. Com o principio de queda de pressão é possível medir a vazão de ar na entrada do coletor de admissão, e empregado dois bocais padrão (Bean, 1971) de 40 mm de diâmetro, construídos segundo os requisitos da norma ASME.



Figura 8: Tambor para a medição de vazão de ar na entrada do coletor de admissão

3.7. Controlador Eletrônico de Vazão de Gás

Para o controle de vazão de gás natural utilizou-se um controlador eletrônico, um *rail* de 4 injetores, fabricado pela LANDI RENZO, modelo GI-25-65, utilizado na conversão dos motores Otto, que usam a tecnologia *flex*, para Gás natural; eles estão desenhados para atingir capacidades entre 15 e 28 KW/cilindro, com uma pressão máxima de 3 bar. É controlado por um sistema eletrônico feito no LEV.

Para a variação da vazão de gás, promoveram-se alterações no *duty cycle* (relação entre o tempo de abertura e fechado para um período); o período do bico é o inverso da frequência de operação do sistema eletrônico, neste caso de 50 Hz, para um tempo de resposta de $(1,7 \pm 0,2)$ ms, para abrir ou fechar cada um dos bicos.

Para efeito da medição e controle de vazão de gás natural, foram utilizados métodos eletrônicos, que variavam o *duty cycle*, trabalhando em uma faixa de 10 a 80% de *duty cycle*, sendo 100% a abertura total do bico injetor. Com isso foi possível atingir todas as necessidades de vazão de gás natural nos diferentes regimes de trabalho.

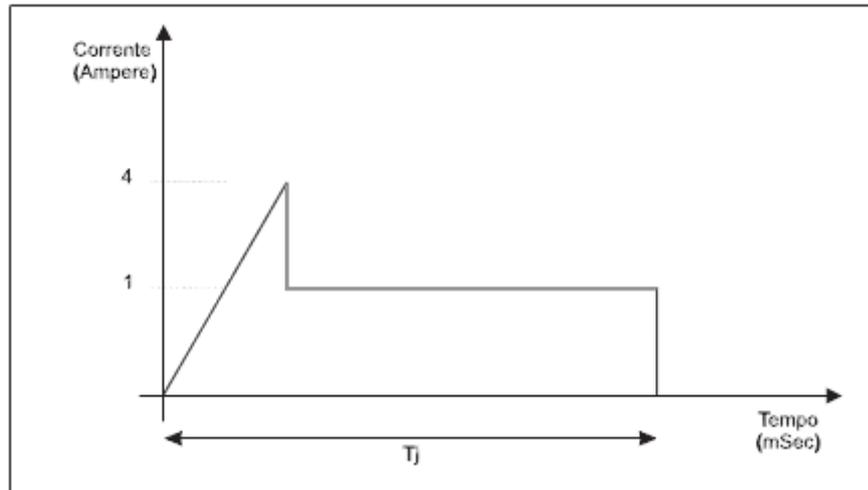


Figura 9: Amperagem subministrada, em função do tempo (peak and hold), para a abertura e permanência de abertura do bico injetor



Figura 10: Bico injetor

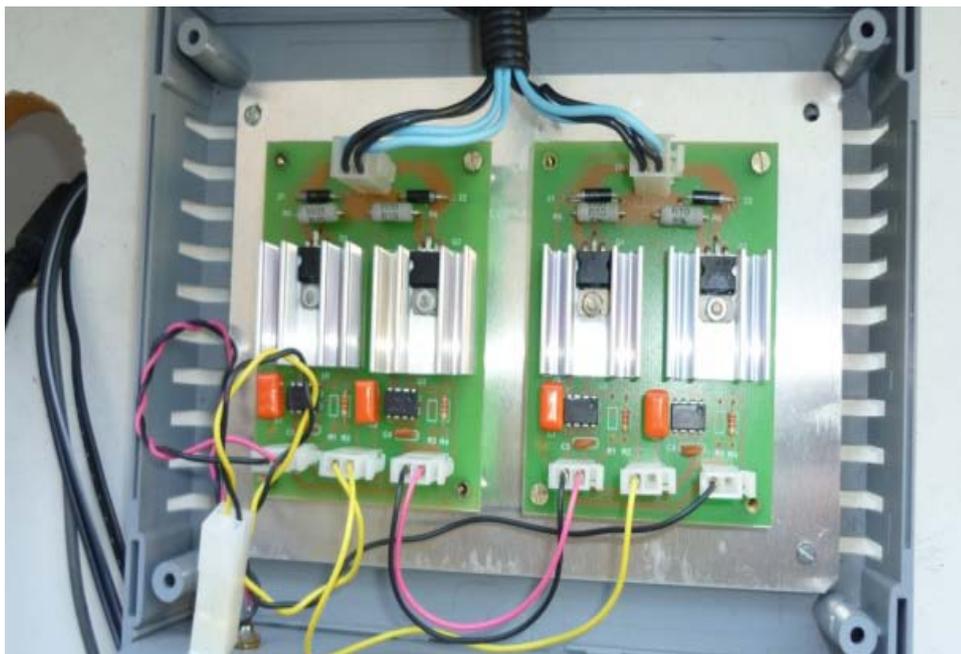


Figura 11: Placa eletrônica de controle

3.8 Medições de Consumo de Gás

Para a medição de vazão de gás natural utilizou-se um modelo de tambor de escala mediana e um jogo de bocais padrão (Bean, 1971) construídos seguindo os requisitos da norma ASME de diferentes diâmetros (5 mm e 10 mm) utilizando-se de modo adequado em função do nível de vazão de gás natural empregado, com a finalidade de diminuir as incertezas.

O Gás natural fornecido pela CEG (Companhia Estadual de Gás), é enviado com uma pressão de aproximadamente 1 bar, sendo esta insuficiente para atingir a vazão necessária para o uso bicomustível no grupo gerador. Para isso, foi necessário usar um sistema de compressão de gás natural, que será explicado mais adiante.



Figura 12: Tambor de medição de gás natural.

3.9. Medição de Pressões e Temperaturas

Para as medições de pressões foram empregados transdutores de pressão de saídas analógicas de 4-20 mA da OMEGADYNE com uma incerteza de $\pm 0,50\%$. Para as medições de temperatura foram utilizados Termopares do tipo K (NiCr-NiAl), da marca OMEGA podendo ser utilizados na faixa de 0 até 750°C, com uma incerteza de $\pm(0,75\%)$.

Seguidamente serão apresentados as especificações dos transdutores de pressão e os pontos de medição de temperaturas.

- Temperatura na entrada do tambor de ar.
- Temperatura na entrada do tambor de gás natural.
- Temperatura na saída do compressor.
- Temperatura de água na saída e na entrada do *intercooler*.
- Temperatura de entrada no coletor de admissão.
- Temperatura no escapamento.

Tabela 5: Dados técnicos dos transdutores de pressão (OMEGADYNE, 2009).

Tipo de Transdutor	Modelo	Faixa de Operação	Medição
Diferencial	FPW-1-WA-2p-5a-6q	0-10 inH ₂ O	Pressão diferencial no tambor de ar
Diferencial	FPW-1-WA-2p-5a-6q	0-10 inH ₂ O	Pressão diferencial no tambor de gás
Absoluto	PX209-060AI	0-60 psia	Pressão de entrada do gás natural
Absoluto	PX209-060AI	0-60 psia	Pressão na descarga do compressor
Absoluto	PX209-100AI	0-100 psia	Pressão de saída do sistema de compressão de gás natural
Absoluto	PX209-060AI	0-60 psia	Pressão de entrada no tambor de ar



Figura 13: Arranjo dos transdutores de pressão e tomadas de temperatura; no lado direito a tomada dos sensores para a leitura de dados

3.10. Software de Controle

O software empregado foi o programa *labVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)* instalado em um computador do LEV, onde foi programado pela equipe de engenheiros eletrônicos do laboratório.

Utilizou-se um sistema da NACIONAL INSTRUMENT composto por:

- Um sistema de aquisição de dados modelo SCX11000DC tipo *chassis*, que é utilizado diretamente para a leitura de pressões e temperaturas.
- Uma tarjeta de geração tipo PWM para o controle de *duty cycle* dos bicos injetores de gás natural.
- Um transdutor de sinal tipo PCI 6052E *multifunction* acoplado no *chassi* do CPU do computador.

Na tela do computador é possível visualizar um arranjo das medidas de grandeza desejadas em tempo real com a possibilidade de gravar as medições no intervalo de um segundo. O arranjo de grandezas é composto por três partes, as variáveis de entrada, variáveis de saída e o sistema de controle do *duty cycle* em tempo real.



Figura 14: Software e Sistema de aquisição de dados

3.11. Medição de Emissões

O LEV conta com um sistema portátil da marca TESTO, modelo 350XL, que torna possível a análise das concentrações de emissões de CO, HC e NO₂ nos gases de escapamento. O sistema é composto por uma caixa analisadora dos gases de escape, unidade de controle, sonda de escape e cabos de conexão de data e energia. Além disso, a caixa analisadora conta com uma bomba para transporte de amostra dos gases de escape, uma unidade condensadora, uma bomba de purga de condensados, filtros de células de medição de gás (O₂, CO, NO, NO₂, SO₂ e HC), e a eletrônica de avaliação e armazenamento.

A sonda foi instalada na saída dos gases de exaustão, onde uma bomba de transporte leva a amostragem dos gases, depois a amostra de gás é levada até uma unidade de condensação, onde o gás é resfriado rapidamente, originando uma precipitação de condensado com absorção baixa de SO₂ e NO₂. A seguir, os condensados são transportados por uma bomba peristáltica, em intervalos regulares, até um tanque de condensados, que está ilustrado na parte inferior do texto. Em seguida, o gás seco passa através do filtro de partículas e então é liberado de MP. Bombeado até os sensores de medição de gás, uma pequena porção é levada aos diafragmas dos sensores, dos quais emitem um sinal para o controle do texto. Finalmente, a quantidade não utilizada é jogada para a atmosfera através de um orifício na caixa analisadora.



Figura 15: Equipamento de medição de gases de escapamento

3.12. Dissipador de Carga Elétrica

Para a dissipação de carga elétrica, foi utilizado um sistema que conta com condutores de cobre ligados às três fases do grupo gerador, uma resistência elétrica de cobre em forma de pás, um tanque de amianto de 100 litros de capacidade e uma talha de 2 toneladas de capacidade. A resistência foi suspensa pela talha e submergida na caixa d'água cheia de salmoura. Conectado pelos condutores de cobre às três fases do grupo gerador, a medida que se aumentava a área molhada da resistência aumentava também a carga dissipada, até chegar à temperatura de ebulição da água. Quando isso acontecia, era necessário repor a água evaporada com água doce.



Figura 16: Arranjo do dissipador de carga

3.13. Sistema de Compressão de Gás Natural

Foi necessário empregar um sistema de compressão de gás natural, que conta com três unidades de condensação (compressor, filtro, condensador e caixa preta), adaptadas ao sistema, com a finalidade de comprimir o gás natural para seu posterior armazenamento. Os compressores foram fabricados pela TECUMSEH modelo AK5510ES para R22 de 1 HP de potência, trabalhando em paralelo. Conta-se também com dois tanques de armazenamento de GLP ou GN de 452 litros, cada um fabricados seguindo a norma NBR 8460 com uma pressão máxima de trabalho de 1.7 MPa.

A máxima pressão de armazenamento nos tanques foi de 15 bar, e na saída tinha-se um regulador de pressão manual marca GASCAT modelo IR-A que foi regulado em 2,5 bar. Também foram utilizadas duas válvulas solenóides, normalmente fechadas, para

a proteção dos compressores no momento em que estes se desligavam quando se atingia a pressão máxima de armazenamento. Além disso, tinham-se dois manômetros para a medição da pressão de armazenamento e de saída.



Figura 17: Sistema de compressão do gás natural