

## 5 Tratamento dos Dados

Para cada ensaio, o sistema de aquisição registrou os seguintes dados:

- Rotação do motor (RPM)
- Torque (Nm)
- Vazão mássica de combustível (kg/h)
- Vazão volumétrica de ar úmido (kg/h)
- Temperatura de ambiente (°C)
- Temperatura de ar no canal de admissão do motor (°C)
- Temperatura do óleo lubrificante (°C)
- Temperatura dos gases de escapamento (°C)
- Temperatura da água de refrigeração (°C)
- Pressão de admissão (bar)
- Pressão na câmara de combustão do motor (bar)
- Pressão de injeção-etanol (bar)
- Pressão de injeção-diesel (bar)
- Temperatura Ambiente (°C)
- Posição do Ângulo [°]
- Umidade Absoluta [-]

Os valores obtidos através do software LabView® em função dos testes realizados são os seguintes:

- Potência efetiva (kW)
- Vazão de mássica de ar seco: [kg/h]
- Temperaturas em pontos estratégicos da bancada (T): [°C]
- Fator Lambda [-]
- Consumo Específico de Combustível [g/kWh].
- Rendimento Térmico [%]
- Taxa de Substituição [%]

### 5.1. Potência Efetiva

Denominada também de potência de freio é a potência medida no eixo motor. Conforme mostra a Equação 5.1, a potência efetiva ( $P_e$ ) é obtida pelo produto entre torque ( $\tau$ ), registrado pelo banco dinamométrico, e a velocidade angular ( $N$ ), fornecida pelo sensor de rotação.

$$P_e = \frac{2\pi \cdot \tau \cdot N}{60000} \quad (5.1)$$

Neste trabalho a potência efetiva está expressa em [kW]; o torque, em [N.m]; e a velocidade angular  $N$ , em [RPM].

### 5.2. Consumo Específico de Combustível

Este parâmetro é utilizado para medir a eficiência com que o motor transforma a energia química proveniente do combustível em trabalho útil (Heywood, 1988).

Para calcular o consumo específico de combustível do motor operando apenas com óleo diesel ( $CEC_D$ ) foi utilizada a Equação 5.2.

$$CEC_D = \frac{\dot{m}_D}{P_e} \quad (5.2)$$

Para determinar o consumo específico de combustível do motor operando com óleo diesel e etanol ( $CEC_{D+E}$ ) foi utilizada a Equação 5.3.

Neste caso, foi feita uma correção pela razão entre os poderes caloríficos inferiores de ambos os combustíveis, com a finalidade de estabelecer uma energia equivalente à que foi empregada no motor operando apenas com óleo Diesel (Ferrari 2011).

$$CEC_{D+E} = \frac{\dot{m}_D + \left(\frac{PCI_E}{PCI_D}\right) \dot{m}_E}{P_e} \quad (5.3)$$

- $CEC_D$ : Consumo específico de combustível do motor operando apenas com óleo diesel [g/kWh].
- $CEC_{D+E}$ : Consumo específico de combustível do motor operando com óleo diesel e etanol [g/kWh].
- $\dot{m}_D$ : Vazão de diesel [g/h].
- $\dot{m}_E$ : Vazão de etanol [g/h].
- $PCI_E$ : Poder calorífico inferior do etanol [kJ/kg].
- $PCI_D$ : Poder calorífico inferior do óleo diesel [kJ/kg].

### 5.3 Rendimento Térmico

A razão entre a potência efetiva desenvolvida pelo motor e a energia total fornecida pelo combustível é definida como rendimento térmico. Considerando o motor operando apenas com óleo diesel ( $\eta_D$ ) o rendimento térmico foi obtido por meio das Equações 5.4 e 5.5

$$\eta_D = \frac{P_e}{\dot{m}_D \cdot PCI_D} \quad (5.4)$$

$$\eta_D = \frac{1}{CEC_D \cdot PCI_D} \quad (5.5)$$

O rendimento térmico do motor operando com óleo diesel e etanol ( $\eta_{D+E}$ ) foi obtido por meio das Equações 5.6 e 5.7 (Egúsqiza, 2011; Vasquez, 2009).

$$\eta_{D+E} = \frac{P_e}{\left( \dot{m}_D + \left( \frac{PCI_E}{PCI_D} \right) \dot{m}_E \right) PCI_D} \quad (5.6)$$

$$\eta_{D+E} = \frac{P_e}{\dot{m}_D \cdot PCI_D + \dot{m}_E \cdot PCI_E} \quad (5.7)$$

## 5.4

### Vazão Mássica de Ar Seco

O valor da vazão mássica de ar seco foi obtido por meio da Equação 5.8.

$$\dot{m}_{ar,s} = \frac{\dot{m}_{ar,u}}{1 + w} \quad (5.8)$$

Onde:

- $(\dot{m}_{ar,s})$  : Vazão mássica de ar seco
- $(\dot{m}_{ar,u})$  : Vazão mássica de ar úmido
- $(w)$  : Umidade absoluta do ar.

Para obter os valores da vazão mássica do ar úmido e a da umidade absoluta do ar foram efetuados cálculos especificados a seguir.

#### 5.4.1

### Vazão Volumétrica de Ar Úmido

Este parâmetro foi determinado utilizando um conjunto formado pelos três equipamentos, especificados no Capítulo 4:

- Medidor de fluxo laminar, tradução livre de *Laminar Flow Element* (LFE);
- Transdutor diferencial de pressão;
- Sensor de temperatura.

A vazão volumétrica de ar úmido é calculada por meio da equação 5.9, conforme com o manual do LFE.

$$\dot{Q}_{ar,u} = \frac{1}{2118,9} (B \cdot \Delta P + C \cdot \Delta P^2) \left( \frac{\mu_{std}}{\mu_f} \right) \quad (5.9)$$

Onde:

- $(\dot{Q}_{ar,u})$  : Vazão de ar úmido (kg/h);
- B e C: Constantes específicas de cada equipamento de medição (LFE), cujos valores são fornecidos pelo manual do equipamento;
- $\Delta P$ : Diferencial de pressões em polegadas de água (in H<sub>2</sub>O);

-  $\left(\frac{\mu_{std}}{\mu_f}\right)$  : Razão entre a viscosidade do gás escoando a 20 °C ( $\mu_{std}$ ), em micropoises, e a viscosidade do fluxo de ar escoando nas condições de operação ( $\mu_f$ ). De acordo com o manual do LFE o valor da viscosidade de referência é  $\mu_{fstd} = 181,87 \cdot 10^{-6}$  poises.

#### 5.4.2 Viscosidade do Fluxo de Ar

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.10, conforme com o manual do LFE.

$$\mu_f = \left( \frac{14.58 T_{ar,u}^{3/2}}{110,4 + T_{ar,u}} \right) \left( \frac{\mu_u}{\mu_s} \right) \quad (5.10)$$

Onde:

- ( $\mu_u$ ) : Viscosidade do ar saturado
- ( $\mu_s$ ) : Viscosidade do ar seco
- $\left(\frac{\mu_u}{\mu_s}\right)$  : Razão entre a viscosidade do ar saturado e a viscosidade do ar seco.

Este valor também é obtido do manual de instruções do LFE.

#### 5.4.3. Vazão Mássica de Ar Úmido

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.11.

$$\dot{m}_{ar,u} = \rho_{ar,u} \dot{Q}_{ar,u} \quad (5.11)$$

#### 5.4.4. Massa específica do Ar Ambiente

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.12.

$$\rho_{ar,u} = \frac{P_{ar}}{R_{ar} (273,15 + T_{amb})} \quad (5.12)$$

Onde:

- $(\rho_{ar})$  : Massa específica do ar ambiente ( $\text{kg/m}^3$ );
- $(P_{ar})$  : Pressão Barométrica (kPa);
- $(R_{ar})$  : Constante do ar ambiente ( $\text{kJ/kgK}$ );
- $(T_{amb})$ : Temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### 5.4.5. Constante do Ar Ambiente

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.13.

$$R_{ar} = \frac{R_{ar,s} + R_v \cdot w}{1 + w} \quad (5.13)$$

Onde:

- $(R_{ar})$  : Constante do ar ambiente ( $\text{kJ/kgK}$ );
- $(R_{ar,s})$ : Constante do ar seco,  $R_{ar,s} = 0,287 \text{ kJ/kgK}$ ;
- $(R_v)$  : Constante de vapor d'água,  $R_v = 0,46152 \text{ kJ/kgK}$ ;
- $(T_{amb})$ : Temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $(w)$  : Umidade absoluta (-).

#### 5.4.6. Umidade Absoluta

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.14 (Ccacya, 2010).

$$w = \frac{0,622 + w_r \cdot P_{sat}}{P_{ar} - (w_r \cdot P_{sat})} \quad (5.14)$$

Onde:

- $(w_r)$  : Umidade relativa (-);
- $(P_{sat})$ : Pressão de saturação do vapor de água (kPa);
- $(P_{ar})$  : Pressão Barométrica (kPa).

#### 5.4.7. Pressão de Saturação

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.15 (Egúsquiza, 2011).

$$P_{sat} = 100 \times 10^{(28,59051 - 8,2 \log T_{amb} + 0,0024804 \times T_{amb} - 3142,31/T_{amb})} \quad 5.15)$$

Onde:

- ( $P_{sat}$ ): Pressão de saturação do vapor de água (kPa);
- ( $T_{amb}$ ): Temperatura ambiente (°C);

#### 5.5. Eficiência Volumétrica

Os atritos existentes no percurso traçado pelo ar atmosférico impedem que o cilindro seja plenamente preenchido. A eficiência volumétrica, calculada pela Equação 5.16, é a relação entre a massa de ar que realmente é admitida e a máxima quantidade de ar que seria possível admitir.

$$\eta_V = \frac{2 \dot{m}_{ar}}{\rho_{ar} \cdot V_D \cdot N} \quad (5.16)$$

Onde:

- ( $\eta_V$ ) : Eficiência volumétrica (-);
- ( $\dot{m}_{ar}$ ): Vazão mássica de ar seco (kg/h);
- ( $\rho_{ar}$ ) : Massa específica do ar seco (kg/m<sup>3</sup>);
- ( $N$ ) : Rotação (rpm).

#### 5.6. Fator Lambda ( $\lambda$ )

É a razão entre a relação ar combustível real e a relação ar combustível estequiométrica.

$$\lambda = \frac{(A/C)_r}{(A/C)_e} \quad (5.17)$$

Onde:

- $(A/C)_r$  : Relação ar/combustível real
- $(A/C)_e$  : Relação ar/combustível estequiométrica

O fator Lambda ( $\lambda$ ) mede o quanto a mistura real se afasta da mistura estequiométrica:

- Lambda  $> 1$ , identifica as misturas pobres (excesso de ar);
- Lambda  $< 1$ , identifica as misturas ricas (excesso de combustível);
- Lambda  $= 1$ , identifica a mistura estequiométrica ou ideal.

O inverso do fator lambda é a conhecida razão equivalente ( $\phi$ ).

### 5.6.1 Relação Ar/Combustível Real

A relação ar/combustível real representa a proporção das quantidades de massa de ar e de combustível que constituem a mistura, calculada pela Equação 5.18:

$$(A/C)_r = \frac{\dot{m}_{ar,s}}{\dot{m}_{comb}} \quad (5.18)$$

Onde:

- $(\dot{m}_{ar,s})$  : Vazão mássica de ar seco (kg/h);
- $(\dot{m}_{comb})$ : Vazão mássica de combustível (kg/h);

### 5.6.2 Relação Ar/Combustível Estequiométrica

A relação ar/combustível estequiométrica representa a proporção das quantidades de massa de ar e de combustível que constituem a mistura ideal, capaz de queimar todo o combustível, calculada pela Equação 5.19:



$$(A/C)_e = \frac{\dot{m}_{ar,s,e}}{\dot{m}_{comb,e}} \quad (5.19)$$

Onde:

- $(\dot{m}_{ar,s,e})$  : Vazão mássica de ar seco estequiométrica (kg/h);
- $(\dot{m}_{comb,e})$ : Vazão mássica de combustível estequiométrica (kg/h);

## 5.7. Taxa de Substituição

O parâmetro que expressa a porcentagem de massa de óleo diesel que foi substituída pela massa de etanol é denominado de taxa de substituição (TS). É calculado a partir da equação 5.20.

$$TS = \left( 1 - \frac{\dot{m}_{D \text{ motor modificado}}}{\dot{m}_{D \text{ motor original}}} \right) \quad (5.20)$$

## 5.8. Atraso na Combustão

Definido como o intervalo de tempo entre o início da injeção de combustível e o início da combustão. Para determinar o atraso na combustão foi empregado o método baseado nas curvas logarítmicas de pressão e volume (Zegarra, 2016; Egúsquiza, 2014).