

## 7. Referencias Bibliográficas

Agência Nacional do Petróleo (2009); **Boletim Mensal do Gás Natural – Junho 2009**; disponível no site: <http://www.anp.gov.br>.

Alfesio Braga (2007); **Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana; Faculdade de Medicina USP**; São Paulo, SP.

Andrade, J.; Teixeira, P. (2003); **Emissões em Processos de Combustão**; Ed. UNESP; São Paulo, SP.

Bean, H.S (1971); **Fluid Meters, Their Theory na Application**; ASME.

Becerra, E.D.K.V. (1996); **Modelo de Simulação para Motor Diesel/Gás**; Dissertação de Mestrado; Departamento de Engenharia Mecânica; PUC-Rio; Rio de Janeiro, RJ.

Braga, S.L.B.; Pereira, R.H. (2004); **A Possibilidade da Substituição Parcial de Óleo Diesel pelo Gás Natural em Motores de Combustão Interna – Atratividade da Tecnologia Dentro da Realidade Brasileira**; 2º Congresso Internacional de Científicos Peruanos; Lima; Peru.

Casado, L.M. (2005); **Desenvolvimento de um Sistema de Alimentação de Combustível para Motores de Diesel-Gás**. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica; PUC-Rio; Rio de Janeiro, RJ.

Cláudio, J. **Princípio de Funcionamento, Instalação, Operação e Manutenção de Grupo Diesel Geradores**. Disponível na Internet no side: <http://www.joseclaudio.eng.br>, acessado em 22/03/2009.

Companhia Estadual de Gás (2009). **Composição Química e Física do Gás Natural (2007)**. Rio de Janeiro, RJ.

Cuisano, J.C. (2006); **Redução das emissões em motores Diesel-gás**; Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica; PUC-Rio; Rio de Janeiro, RJ.

Dondero, L.Z. (2002); **Uso do Gás Natural em Veículos Leves e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Contexto Brasileiro**; Tese de doutorado, Universidade de São Paulo; São Paulo, SP.

Fox W. Robert (1985); **Introdução a Mecânica dos fluidos**; 3<sup>a</sup> Edição, Ed. Guanabara. São Paulo, SP.

Fundação Estadual de Engenharia do Médio Ambiente (2007); **Relatório de Qualidade do Ar do estado de RJ FEEMA**; Rio de Janeiro, RJ.

Fundação Estadual de Engenharia do Médio Ambiente (2009); **Emissões por tipo de fonte na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**; disponível na Internet no site: <http://www.feema.rj.gov.br>.

Giovanni, S. (2003); **Avaliação experimental da proporção de Diesel + Gás natural e o efeito da variação de injeção na pressão da câmara de combustão utilizando um motor padrão ASTM-CFR**; Departamento de Engenharia Mecânica; UFRGS; Porto Alegre, PA.

Gutiérrez, J. (2000); **Generación Eléctrica en Plantas Diesel**; Revista de Anales de Mecánica y Electricidad; Vol. 77, pp. 59-63.

Heywood, J.B. (1988); **Internal Combustion Engine Fundamentals**; McGraw-Hill Book Co.; New York.

Instituto Estadual do Ambiente (2009); **Relatório Anual de Qualidade do Ar do ERJ – 2008**; disponível na Internet no site: <http://www.inea.rj.gov.br>.

Karim, G. A. (1980); **A Review of Combustion Processes in the Dual Fuel Engine-The Gas Diesel Engine**; Prog. Energy Combust. Sci; Vol; 277-285.

Karim, G. A. (2003); **Combustion in Gas Fueled Compression: Ignition Engines of the dual Type**; Journal of Engineering of Gas Turbines and Power, Vol. 125, pp. 827-836.

Kusaka, J. et al. (2000); **Combustion and Exhaust Gas Emission; Characteristics of a Diesel Engine Dual – Fueled with Natural Gas**; JSAE Review; 21; pp. 489 – 496.

MacLean, H. L. and Lave, L. B (2003); **Evaluating Automobile Fuel / Propulsion System Technologies**; Progress in Energy and Combustion Science; 29; pp. 1-69.

Norma NBR 14489 (2000); **Motor diesel-Análise e determinação dos gases e do material particulado emitidos por motores do ciclo diesel-Ciclo 13 pontos**; ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Norma NBR 5483 (1976); **Desempenho de motores de combustão interna, alternativos, de ignição por compressão**; ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Norma NBR 6396 (1976); **Motores alternativos de combustão interna, não veiculares**; ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Obert, E.F (1971); **Motores de Combustão Interna**; Trad. Por Luiz Carraro. 2<sup>a</sup>Ed.; Porto Alegre; Ed. Globo; 618 p.

Pereira, R. H; Braga, S. L.B: Valois, C. V. M. (2004); **Substituição Parcial do Óleo Diesel pelo Gás Natural em Motores – Atratividade da Tecnologia e sua Avaliação Experimental**; III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém, PA

Pereira, R.H. (2006); **Avaliação Experimental e previsão do Desempenho de Motores Diesel Consumindo Gás Natural**; Tese de Doutorado; Departamento de Engenharia Mecânica; PUC-Rio; Rio de Janeiro, RJ

Petrobrás (2007), **Utilização do Gás Natural Comprimido em Motores veiculares Aspirados do Ciclo Diesel.** Petrobrás Distribuidora S/A – Gerência de Produtos Químicos Comercialização de Energéticos, 198, 31p.

Pires, A. Fernandez, E. (2007), **Política Energética para o Brasil; PUC-Rio; Rio de Janeiro,** 1<sup>a</sup> Ed.; Rio de Janeiro; Ed. Nova Fronteira; 35 p.

Taylor, C.F (1976); **Analise dos Motores de Combustão Interna;** Trad. Por Mauro Ormeu C. Amorelli. 2<sup>a</sup> Ed; São Paulo, Edgar Blücher e Edusp.

Zhao, H (2007); **HCCI na CAI Engines for the Automotive Industry;** Woodhead Publishing; Cambridge.

## Anexo A

### Análise de Incertezas

## Análise da propagação de incerteza nos cálculos

O efeito sobre um erro na medição, tratando de forma individual, pode ser estimado por analogia com a derivada de uma função. (Fox, W.R., 2004).

$$\delta R_i = \frac{\partial R}{\partial x_i} \delta x_i \quad (A1)$$

A variação relativa em  $R$  é

$$\frac{\delta R_i}{R} = \frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_i} \delta x_i = \frac{x_i}{R} \frac{\partial R}{\partial x_i} \frac{\delta x_i}{x_i} \quad (A2)$$

Introduzindo a notação de incerteza relativa temos

$$u_{R_i} = \frac{x_i}{R} \frac{\partial R}{\partial x_i} u_{x_i} \quad (A3)$$

Onde o melhor resultado para esta incerteza é

$$u_R = \pm \left[ \left( \frac{x_1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_1} u_{x_1} \right)^2 + \left( \frac{x_2}{R} \frac{\partial R}{\partial x_2} u_{x_2} \right)^2 + \dots + \left( \frac{x_n}{R} \frac{\partial R}{\partial x_n} u_{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (A4)$$

### A.1. Incerteza na vazão mássica

A vazão mássica está em função de

$$\dot{m} = \dot{m}(C_d, d, \rho, \Delta P) = (\text{cte.}) x C_d x d^2 x \sqrt{2 x \rho x \Delta P} \quad (A5)$$

As derivadas parciais são

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial C_d} = (\text{cte.}) x d^2 x \sqrt{2 x \rho x \Delta P}$$

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial d} = (\text{cte.}) x C_d x 2 x d x \sqrt{2 x \rho x \Delta P}$$

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial \rho} = (\text{cte.}) x C_d x d^2 \sqrt{2 x \rho x \Delta P} x \frac{1}{2} x \rho^{-1/2}$$

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial \Delta P} = (\text{cte.}) \times C_d \times d^2 \sqrt{2 \times \rho} \times \frac{1}{2} \times \Delta P^{-1/2}$$

Onde obtemos as incertezas relativas

$$u_{\dot{m}C_d} = \frac{\delta \dot{m}_{C_d}}{\dot{m}} = \frac{C_d}{\dot{m}} \frac{\partial \dot{m}}{\partial C_d} u_{C_d} = u_{C_d}$$

$$u_{\dot{m}d} = \frac{\delta \dot{m}_d}{\dot{m}} = \frac{d}{\dot{m}} \frac{\partial \dot{m}}{\partial d} u_{C_d} = 2 u_{d C_d}$$

$$u_{\dot{m},\rho} = \frac{\delta \dot{m}_\rho}{\dot{m}} = \frac{\rho}{\dot{m}} \frac{\partial \dot{m}}{\partial \rho} u_{C_d} = \frac{1}{2} u_\rho$$

$$u_{\dot{m},\Delta P} = \frac{\delta \dot{m}_{\Delta P}}{\dot{m}} = \frac{\rho}{\dot{m}} \frac{\partial \dot{m}}{\partial \Delta P} u_{\Delta P} = \frac{1}{2} u_{\Delta P}$$

A equação da incerteza no cálculo da vazão é

$$u_{\dot{m}} = \pm \left[ (u_{C_d})^2 + (2u_d)^2 + \left(\frac{u_\rho}{2}\right)^2 + (u_{\Delta P})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{A6})$$

Onde, para o  $C_p$  (Bean 1971) é  $\pm 2\%$ , e a incerteza do diâmetro é estimada em  $\pm 0,05/d$ .

A massa específica está em função de

$$\rho = \rho(P, R, T) = \frac{P}{R \times T} \quad (\text{A8})$$

Diferenciando e considerando as incertezas dos termopares de  $(\pm 0,75)$  obtemos

$$u_\rho = \pm [(u_P)^2 + (-u_T)^2]^{1/2} = \pm [(\pm 0,001)^2 + (\pm 0,0075)^2]^{1/2} = \pm 0,76\%$$

Onde obtemos a equação válida para as incertezas de ar úmido e gás natural

$$u_\rho = \pm \left[ (0,02)^2 + \left(\frac{0,1}{d}\right)^2 + (0,0076^2) + (0,0005^2) \right]^{1/2} \quad (\text{A9})$$

## A.2. Incerteza na vazão de ar seco

A vazão mássica de ar seco é dada a partir da seguinte equação

$$\dot{m}_{ar\_s} = \dot{m}_{ar\_s}(\dot{m}_{ar\_u}, w) = \frac{\dot{m}_{ar\_u}}{1+w} \quad (A10)$$

Diferenciando

$$d\dot{m}_{ar\_s} = \frac{\partial \dot{m}_{ar\_s}}{\partial \dot{m}_{ar\_u}} d\dot{m}_{ar\_u} + \frac{\partial \dot{m}_{ar\_s}}{\partial w} dw \quad (A11)$$

Temos que

$$\begin{aligned} \frac{\partial \dot{m}_{ar\_s}}{\partial \dot{m}_{ar\_u}} &= \frac{1}{1+w} \\ \frac{\partial \dot{m}_{ar\_s}}{\partial w} &= -\frac{\dot{m}_{ar\_u}}{(1+w)^2} \end{aligned}$$

Calculando as incertezas relativas

$$u_{\dot{m}_{ar\_s}, \dot{m}_{ar\_u}} = \frac{\dot{m}_{ar\_u}}{\dot{m}_{ar\_s}} \frac{\partial \dot{m}_{ar\_s}}{\partial \dot{m}_{ar\_u}} u_{\dot{m}_{ar\_u}} = u_{\dot{m}_{ar\_s}}$$

$$u_{\dot{m}_{ar\_s}, w} = \frac{w}{\dot{m}_{ar\_s}} \frac{\partial \dot{m}_{ar\_s}}{\partial w} u_w = \frac{w}{1+w} u_w$$

Onde obtemos que a equação para o cálculo de ar seco é

$$u_{\dot{m}_{ar\_s}} = \pm \left[ \left( u_{\dot{m}_{ar\_s}} \right)^2 + \left( -\frac{w}{1+w} u_w \right)^2 \right]^{1/2} \quad (A12)$$

A equação da umidade é

$$w = w(U_r, P_{sat}, P_{ar}) = \frac{0,622 \times \frac{U_r}{100} \times P_{sat}}{P_{ar} - \left( \frac{U_r}{100} \times P_{sat} \right)} \quad (A13)$$

Diferenciamos e desprezamos a incerteza relativa Psat

$$u_w = \pm \left[ \left( \frac{P_{ar}}{P_{ar} - \left( \frac{U_r}{100} \times P_{sat} \right)} u_{U_r} \right)^2 + \left( \frac{P_{ar}}{P_{ar} - \left( \frac{U_r}{100} \times P_{sat} \right)} u_{P_{sat}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (A14)$$

Substituindo as incertezas da umidade relativa ( $\pm 2\%$ ) e da pressão barométrica ( $\pm 0,1$ ) obtemos

$$u_w = \pm \left( \frac{0,145 P_{ar}}{P_{ar} - \left( \frac{U_r}{100} \times P_{sat} \right)} \right) \quad (A15)$$

Finalmente

$$u_{\dot{m}_{ar\_s}} = \pm \left\{ (0,0215)^2 + \left[ \frac{0,145 P_{ar}}{(1+w)[P_{ar} - \left( \frac{U_r}{100} \times P_{sat} \right)]} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (A16)$$

### A.3 Incerteza na taxa de substituição

Na equação:

$$TS = TS(\dot{m}_{D_0}, \dot{m}_D) = 100 \left( \frac{\dot{m}_{D_0} - \dot{m}_D}{\dot{m}_{D_0}} \right) \quad (A17)$$

Diferenciamos

$$\begin{aligned} TS = TS(\dot{m}_{D_0}, \dot{m}_D) &= 100 \left( \frac{\dot{m}_{D_0} - \dot{m}_D}{\dot{m}_{D_0}} \right) dTS = \frac{\partial TS}{\partial \dot{m}_{D_0}} d\dot{m}_{D_0} + \frac{\partial TS}{\partial \dot{m}_D} d\dot{m}_D \\ &= \left( 100 \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{D_0}^2} \right) d\dot{m}_{D_0} + \left( -\frac{100}{\dot{m}_{D_0}} \right) d\dot{m}_D \end{aligned}$$

Onde resultam as incertezas relativas

$$\begin{aligned} u_{TS,\dot{m}_{D_0}} &= \frac{\dot{m}_{D_0}}{TS} \frac{\partial TS}{\partial \dot{m}_{D_0}} u_{\dot{m}_{D_0}} = \frac{\dot{m}_D}{(\dot{m}_{D_0} - \dot{m}_D)} u_{\dot{m}_{D_0}} \\ u_{TS,\dot{m}_D} &= \frac{\dot{m}_{D_0}}{TS} \frac{\partial TS}{\partial \dot{m}_D} u_{\dot{m}_D} = -\frac{\dot{m}_D}{(\dot{m}_{D_0} - \dot{m}_D)} u_{\dot{m}_D} \end{aligned}$$

A incerteza do medidor de vazão é  $\pm 0,1$ , depois temos que a incerteza relativa é

$$u_{TS} = \pm \frac{0,0028 \dot{m}_D}{\dot{m}_{D,0} - \dot{m}_D} \quad (\text{A18})$$

#### A.4. Incerteza na razão de equivalência

Na operação Diesel-Gás a relação de equivalência é calculada por

$$RE_T = RE_T(\dot{m}_{ar\_s}, \dot{m}_D, \dot{m}_g) = \frac{14,99x\dot{m}_D + 16,99x\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar\_s}} \quad (\text{A20})$$

Diferenciando e calculando as incertezas relativas

$$\begin{aligned} dRE_T &= \frac{\partial RE_T}{\partial \dot{m}_{ar\_s}} d\dot{m}_{ar\_s} + \frac{\partial RE_T}{\partial \dot{m}_D} d\dot{m}_D + \frac{\partial RE_T}{\partial \dot{m}_g} d\dot{m}_g \\ &= \left( \frac{14,99x\dot{m}_D + 16,99x\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar\_s}^2} \right) d\dot{m}_{ar\_s} + \left( \frac{14,99}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) d\dot{m}_D \\ &\quad + \left( \frac{16,99}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) d\dot{m}_g \\ u_{RE_T, \dot{m}_{ar\_s}} &= \frac{\dot{m}_{ar\_s}}{RE_T} \frac{\partial RE_T}{\partial \dot{m}_{ar\_s}} u_{\dot{m}_{ar\_s}} = -u_{\dot{m}_{ar\_s}} \\ u_{RE_T, \dot{m}_D} &= \frac{\dot{m}_{ar\_s}}{RE_T} \frac{\partial RE_T}{\partial \dot{m}_D} u_{\dot{m}_{ar\_s}} = -u_{\dot{m}_{ar\_s}} \end{aligned}$$

Onde a equação da incerteza da razão de equivalência é

$$u_{RE_T} = \pm \left[ (-u_{\dot{m}_{ar\_s}})^2 + \left( \frac{0,02998 \dot{m}_D}{14,99x\dot{m}_D + 16,99x\dot{m}_g} \right)^2 + \left( \frac{0,400964 \dot{m}_g}{14,99x\dot{m}_D + 16,99x\dot{m}_g} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{A21})$$

Na operação de diesel puro, a razão de equivalência, junto à incerteza relativa é

$$\begin{aligned} RE_T &= RE_T(\dot{m}_{ar\_s}, \dot{m}_D) = \frac{14,99x\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \\ RE_T &= \pm [(0,002)^2 + (-u_{\dot{m}_{ar\_s}})^2]^{1/2} \quad (\text{A22}) \end{aligned}$$

## A.5 Incertezas nas emissões específicas de CO, HC e NO<sub>2</sub>

Na operação Diesel- Gás, as emissões são calculadas em função de (exemplo medida de CO)

$$\begin{aligned} (\text{CO})_s &= (\text{CO})_s(\text{CO}_{C_S}, \dot{m}_D, \dot{m}_g, \dot{m}_{ar\_s}, \dot{m}_{ar\_u}, P) \\ &= \left\{ P^{-1} \times 0,000966 \cdot \text{CO}_{C_S} \times \left[ 1 - 1.85 \times \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - 3.82 \times \left( \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) \right] [\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g] \right\} \end{aligned}$$

Diferenciamos

$$\begin{aligned} d(\text{CO})_s &= \frac{\partial s(\text{CO})_s}{\partial \text{CO}_{C_S}} d\text{CO}_{C_S} + \frac{\partial s(\text{CO})_s}{\partial \dot{m}_D \text{CO}_{C_S}} d\dot{m}_D + \frac{\partial s(\text{CO})_s}{\partial \dot{m}_D \text{CO}_{C_S}} d\dot{m}_g \\ &\quad + \frac{\partial s(\text{CO})_s}{\partial \dot{m}_{ar\_s} \text{CO}_{C_S}} d\dot{m}_{ar\_s} + \frac{\partial s(\text{CO})_s}{\partial \dot{m}_{ar\_u} \text{CO}_{C_S}} d\dot{m}_{ar\_u} + \frac{\partial s(\text{CO})_s}{\partial P \text{CO}_{C_S}} dP \\ u_{(\text{CO})_s \text{CO}_{C_S}} &= \frac{\text{CO}_{C_S}}{(\text{CO})_s} \frac{\partial (\text{CO})_s}{\partial \text{CO}_{C_S}} u_{\text{CO}_{C_S}} = u_{\text{CO}_{C_S}} \end{aligned}$$

Onde as incertezas relativas são

$$\begin{aligned} u_{(\text{CO})_s \dot{m}_g} &= \frac{\dot{m}_g}{(\text{CO})_s} \frac{\partial (\text{CO})_s}{\partial \dot{m}_g} u_{\dot{m}_g} = \\ &\left\{ \frac{\left[ \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar\_s}} \right] [\dot{m}_{ar\_s} - 3,82 \dot{m}_{ar\_u} - 5,67 \dot{m}_D - 7,64 \dot{m}_g]}{\left[ 1 - 1,85 \times \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) - 3,82 \times \left( \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) \right] [\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g]} \right\} u_{\dot{m}_g} \quad (\text{A24}) \\ u_{(\text{CO})_s \dot{m}_{ar\_s}} &= \frac{\dot{m}_{ar\_s}}{(\text{CO})_s} \frac{\partial (\text{CO})_s}{\partial \dot{m}_{ar\_s}} u_{\dot{m}_{ar\_s}} \\ &= \left\{ \frac{\left[ \frac{1}{\dot{m}_{ar\_s}} \right] [1,85 \dot{m}_D - 3,82 \dot{m}_g]}{\left[ 1 - 1,85 \times \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) - 3,82 \times \left( \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) \right]} \right\} u_{\dot{m}_{ar\_s}} \\ u_{(\text{CO})_s \dot{m}_{ar\_u}} &= \frac{\dot{m}_{ar\_u}}{(\text{CO})_s} \frac{\partial (\text{CO})_s}{\partial \dot{m}_{ar\_u}} u_{\dot{m}_{ar\_u}} = \left\{ \frac{\dot{m}_{ar\_u}}{\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g} \right\} u_{\dot{m}_{ar\_s}} \end{aligned}$$

$$u_{(CO)s.P} = \frac{P}{(CO)s} \frac{\partial (CO)s}{\partial P} u_P = -u_P(A25)$$

O cálculo da incerteza da potência relativa, onde leva-se em conta as incertezas do voltímetro e amperímetro ( $u_V = \pm 0,0016$  e  $u_I = \pm 0,0021$ ), potência em kW, temos a equação em função de

$$P = P(V, I) = V \times I \times \sqrt{3}(A26)$$

Onde as incertezas das leituras dos aparelhos de medição são

$$u_P = u_I + u_V = 0,0037$$

Logo, para termos a equação das incertezas relativas para a medição de emissões (incerteza de concentrações  $\pm 5\%$  PPM) obtemos a incerteza parcial para emissões específicas de CO

$$u_{(CO)s} =$$

$$\begin{aligned} & \left\{ \left[ \frac{0,002 \left[ \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar_s}} \right] [\dot{m}_{ar_s} - 1,85 \dot{m}_{ar_u} - 3,7 \dot{m}_D - 5,67 \dot{m}_g]} {1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar_s}} \right) - 3,82x \left( \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar_s}} \right)} [\dot{m}_{ar_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g] \right]^2 + \right. \\ & \left[ \frac{0,0236 \left[ \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar_s}} \right] [\dot{m}_{ar_s} - 3,82 \dot{m}_{ar_u} - 5,67 \dot{m}_D - 7,64 \dot{m}_g]} {1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar_s}} \right) - 3,82x \left( \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar_s}} \right)} [\dot{m}_{ar_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g] \right]^2 + \left[ \frac{\left[ \frac{1}{\dot{m}_{ar_s}} \right] [1,85 \dot{m}_D + 3,82 \dot{m}_g]} {1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar_s}} \right) - 3,82x \left( \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar_s}} \right)} u_{\dot{m}_{ar_s}} \right]^2 + \\ & \left. \left[ \frac{0,0215 \dot{m}_{ar_u}} {\dot{m}_{ar_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g} \right]^2 + [0,05]^2 + [1 + 0,015V + 0,02I]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} (A28) \end{aligned}$$

Analogamente, temos para ES emissões específicas de HC e NO<sub>2</sub> (concentrações de HC=  $\pm 10\%$  PPM, e NO<sub>2</sub>= $\pm 5\%$  PPM) onde

$$u_{(HC)s} =$$

$$\pm \left\{ \left[ \frac{0,002 \left[ \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar_s}} \right] [\dot{m}_{ar_s} - 1,85 \dot{m}_{ar_u} - 3,7 \dot{m}_D - 5,67 \dot{m}_g]} {1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar_s}} \right) - 3,82x \left( \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar_s}} \right)} [\dot{m}_{ar_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g] \right]^2 + \right.$$

$$\begin{aligned}
& \left[ \frac{0,0236 \left[ \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar\_s}} \right] [\dot{m}_{ar\_s} - 3,82 \dot{m}_{ar\_u} - 5,67 \dot{m}_D - 7,64 \dot{m}_g]}{\left[ 1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) - 3,82x \left( \frac{\dot{m}_{gás}}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) \right] [\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g]} \right]^2 + \\
& \left[ \frac{\left[ \frac{1}{\dot{m}_{ar\_s}} \right] [1,85 \dot{m}_D + 3,82 \dot{m}_g]}{1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) - 3,82x \left( \frac{\dot{m}_{gás}}{\dot{m}_{ar\_s}} \right)} u_{\dot{m}_{ar\_s}} \right]^2 + \left[ \frac{0,0215 \dot{m}_{ar\_u}}{\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g} \right]^2 + [0,1]^2 + [1 + 0,015V + \\
& 0,02I]^2 \}^{1/2} \quad (A29)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
u_{(NO2)s} = & \pm \left\{ \left[ \frac{0,002 \left[ \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right] [\dot{m}_{ar\_s} - 1,85 \dot{m}_{ar\_u} - 3,7 \dot{m}_D - 5,67 \dot{m}_g]}{\left[ 1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) - 3,82x \left( \frac{\dot{m}_{gás}}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) \right] [\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g]} \right]^2 + \right. \\
& \left. \left[ \frac{0,0236 \left[ \frac{\dot{m}_{gás}}{\dot{m}_{ar\_s}} \right] [\dot{m}_{ar\_s} - 3,82 \dot{m}_{ar\_u} - 5,67 \dot{m}_D - 7,64 \dot{m}_g]}{\left[ 1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) - 3,82x \left( \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) \right] [\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g]} \right]^2 + \right. \\
& \left. \left[ \frac{\left[ \frac{1}{\dot{m}_{ar\_s}} \right] [1,85 \dot{m}_D + 3,82 \dot{m}_g]}{1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) - 3,82x \left( \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_{ar\_s}} \right)} u_{\dot{m}_{ar\_s}} \right]^2 + \left[ \frac{0,0215 \dot{m}_{ar\_u}}{\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D + \dot{m}_g} \right]^2 + [0,05]^2 + [1 + \right. \\
& \left. 0,015V + 0,02I]^2 \}^{1/2} \quad (A30)
\right.
\end{aligned}$$

Agora, para a operação diesel, repetimos o cálculo para calcular as emissões específicas, tendo em vista que a vazão de gás natural = 0.

$$u_{(CO\_D)s} = \pm \left\{ \left[ \frac{0,002 \left[ \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right] [\dot{m}_{ar\_s} - 1,85 \dot{m}_{ar\_u} - 3,7 \dot{m}_D]}{\left[ 1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) \right] [\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D]} \right]^2 + \left[ \frac{0,0215 \dot{m}_{ar\_u}}{\dot{m}_{ar\_u} \dot{m}_D} \right]^2 + \right. \\
\left. \left[ \frac{\left[ \frac{1,85 \dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right]}{1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right)} u_{\dot{m}_{ar\_s}} \right]^2 + [0,05]^2 + \left[ 0,002 + \frac{0,5}{N} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (A31)$$

$$u_{(HC\_D)s} = \pm \left\{ \left[ \frac{0,002 \left[ \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right] [\dot{m}_{ar\_s} - 1,85 \dot{m}_{ar\_u} - 3,7 \dot{m}_D]}{\left[ 1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right) \right] [\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D]} \right]^2 + \left[ \frac{0,0215 \dot{m}_{ar\_u}}{\dot{m}_{ar\_u} \dot{m}_D} \right]^2 + \right. \\
\left. \left[ \frac{\left[ \frac{1,85 \dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right]}{1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right)} u_{\dot{m}_{ar\_s}} \right]^2 + [0,05]^2 + \left[ 0,002 + \frac{0,5}{N} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (A32)$$

$$u_{(NO_2)_s} = \pm \left\{ \left[ \frac{0,002 \left[ \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right] [\dot{m}_{ar\_s} - 1,85 \dot{m}_{ar\_u} - 3,7 \dot{m}_D]}{1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right)} [\dot{m}_{ar\_u} + \dot{m}_D] \right]^2 + \left[ \frac{0,0215 \dot{m}_{ar\_u}}{\dot{m}_{ar\_u} \dot{m}_D} \right]^2 + \left[ \frac{\left[ \frac{1,85 \dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right]}{1 - 1,85x \left( \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{ar\_s}} \right)} u_{\dot{m}_{ar\_s}} \right]^2 + [0,05]^2 + \left[ 0,002 + \frac{0,5}{N} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (A33)$$

**Anexo B**

**Planilhas de Medições**

Rotação (RPM)	Carga (%)	Potência ao eixo (kW)	Restrição de ar (%)	Taxa de subtração (%)	Potência elétrica (kW)	Pressão de ar no coletor de admissão (psia)	Temperatura de ar na admissão (°C)	Consumo de ar úmido (kg/h)	Consumo de ar seco (kg/h)	Consumo de Diesel (kg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Relação de equivalência (-)	Relação de ar/gás (-)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	HC (g/kWh)	Consumo específico (g/kWh)	Rend. Térmico (%)	Ef. Volumétrica (%)	Temperatura de gases de escape (°C)
1800	16	21	0	0,0	19	16,0	30,5	360,5	354,8	8,02	0,00	0,34	-	4,31	1,01	0,00	379,8	22,3	88,0	253
1800	16	21		22,1	19	16,0	30,7	356,7	350,8	6,07	1,79	0,35	196,3	25,08	2,33	21,48	383,7	22,0	87,6	254
1800	16	21		40,5	19	16,1	31,2	355,3	349,6	4,64	3,02	0,35	115,8	40,47	1,82	59,44	385,4	22,1	87,7	266
1800	16	21		61,9	19	16,3	31,6	358,4	352,3	2,97	4,95	0,37	71,2	50,58	1,01	104,98	412,1	20,7	88,1	283
1800	16	21		79,9	19	16,8	32,0	361,8	356,0	1,37	6,83	0,39	52,1	41,73	0,36	153,38	448,8	19,0	87,4	303
1800	16	21	20	0,0	19	15,9	31,1	356,9	351,3	7,78	0,00	0,33	-	4,52	0,88	0,00	368,6	23,0	88,0	259
1800	16	21		20,4	19	16,0	30,8	353,0	347,3	6,15	1,67	0,35	207,6	24,23	2,32	19,55	383,1	22,2	87,0	262
1800	16	21		48,3	19	16,2	31,3	353,8	347,9	4,47	3,36	0,36	103,6	45,80	1,65	67,93	396,0	21,5	86,9	274
1800	16	21		67,3	19	16,5	31,7	364,9	359,2	2,92	5,38	0,38	66,8	48,97	1,15	78,57	433,2	19,7	88,8	282
1800	16	21		76,2	19	16,4	32,0	362,1	356,1	2,32	5,64	0,37	63,2	42,83	0,37	144,99	419,2	20,4	88,9	299
1800	16	21	40	0,0	19	15,6	31,2	350,0	344,2	7,78	0,00	0,34	-	4,62	0,30	0,00	368,6	23,0	87,6	261
1800	16	21		21,0	19	15,8	30,7	350,1	344,6	6,13	1,73	0,35	199,6	24,31	2,39	17,67	383,1	22,1	87,4	263
1800	16	21		41,5	19	16,0	30,9	351,7	346,0	4,34	3,50	0,37	99,0	42,81	1,78	54,70	406,7	20,9	87,4	275
1800	16	21		61,9	19	16,4	31,5	354,4	348,6	2,96	5,32	0,39	65,6	52,68	0,00	91,25	431,8	19,8	87,0	295
1800	16	21		83,3	19	16,2	31,2	352,5	346,7	1,14	6,28	0,36	55,2	45,15	0,32	121,84	398,7	21,4	87,9	302
1800	16	21	60	0,0	19	14,8	26,4	355,6	351,0	7,89	0,00	0,34	-	5,31	1,09	0,00	373,6	22,7	92,6	245
1800	16	21		19,7	19	14,7	26,0	350,9	346,5	6,30	2,03	0,37	170,5	24,53	1,74	22,35	410,0	20,7	92,8	266
1800	16	21		40,5	19	14,8	26,1	349,9	345,6	4,67	3,38	0,37	102,4	43,64	0,92	52,44	406,4	21,0	92,3	288
1800	16	21		62,8	19	15,2	26,6	352,7	348,5	2,92	5,20	0,38	67,0	52,21	0,17	82,77	423,7	20,1	91,9	314
1800	16	21		73,3	19	15,4	26,9	355,1	350,7	2,10	6,20	0,39	56,6	49,30	0,57	84,41	439,6	19,4	91,7	323
1800	Mercado Lento	-	0	0	0	15,1	27,2	355,4	350,3	4,66	0,00	0,20	-	4,28	0,83	0,00	-	-	91,0	171

Rotação (rpm)	Carga (%)	Potência ao eixo (kW)	Restrição de ar (%)	Taxa de substituição (%)	Potência elétrica (kW)	Pressão de ar no coletor de admissão (pa/s)	Temperatura de ar na admissão (°C)	Consumo de ar úmido (kg/h)	Consumo de ar seco (kg/h)	Consumo de gás (kg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Relação de equivalência (-)	Relação de ar/gás (-)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	HCl (g/kWh)	Consumo específico (g/kWh)	Rend. Térmico (%)	Ef. Volumétrica (%)	Temperatura de gases de escape (°C)
1800	35	47	0	0,0	42	18,4	28,2	437,5	432,3	12,5	0,0	0,43	-	2,06	0,10	0,00	266,6	31,8	92,2	337,0
1800	35	47		18,6	42	18,2	28,3	431,7	426,5	10,0	2,2	0,44	191,3	10,58	0,10	7,94	269,5	31,5	92,9	344,0
1800	35	47		39,1	42	18,0	28,2	422,2	417,1	7,5	4,6	0,46	91,5	16,78	0,12	14,27	273,3	31,2	92,7	342,0
1800	35	47		62,1	42	18,4	28,7	426,3	421,1	4,7	7,4	0,47	56,6	22,12	0,10	21,00	284,2	30,0	92,6	349,0
1800	35	47		78,0	42	18,8	28,0	440,3	435,1	2,7	9,5	0,47	45,6	26,61	0,07	43,81	294,1	29,1	94,0	368,0
1800	35	47	20	0,0	42	18,3	30,6	428,5	422,2	12,5	0,0	0,44	-	1,75	0,04	0,00	258,1	31,6	91,7	326,0
1800	35	47		23,8	42	18,0	31,4	418,6	412,4	9,5	2,9	0,47	140,4	11,62	0,07	8,89	278,6	30,5	92,9	336,0
1800	35	47		41,5	42	17,9	31,2	411,8	405,7	7,4	5,3	0,49	77,0	17,29	0,07	14,81	288,6	29,5	92,2	338,0
1800	35	47		60,2	42	18,4	32,5	417,7	411,1	5,0	8,4	0,53	48,9	26,73	0,05	27,77	316,0	27,0	91,8	355,0
1800	35	47		78,0	42	18,8	32,2	424,3	418,0	2,8	11,2	0,55	37,4	23,73	0,02	41,07	336,2	25,4	91,4	370,0
1800	35	47	40	0,0	42	18,0	32,4	418,6	411,9	12,5	0,0	0,46	-	1,98	0,05	0,13	267,7	31,7	93,0	351,0
1800	35	47		21,9	42	17,8	32,3	411,2	405,0	9,8	2,7	0,48	150,8	9,60	0,06	6,16	277,3	30,7	92,6	350,0
1800	35	47		49,2	42	17,9	31,7	407,5	401,4	6,4	6,6	0,52	61,2	16,83	0,07	13,56	299,7	28,4	91,6	348,0
1800	35	47		58,9	42	18,1	31,9	409,6	403,4	5,2	8,1	0,54	49,6	25,89	0,04	24,92	312,7	27,3	91,4	360,0
1800	35	47		77,6	42	18,5	32,2	415,4	409,3	2,8	11,0	0,56	37,2	23,56	0,02	38,42	333,0	25,7	91,0	377,0
1800	35	47	60	0,0	42	16,9	31,1	391,0	385,0	12,8	0,0	0,50	-	2,08	0,04	0,00	273,1	31,1	92,4	375,0
1800	35	47		17,2	42	16,8	31,2	385,2	379,5	10,4	2,3	0,52	163,7	8,34	0,05	4,23	281,2	30,2	92,1	375,0
1800	35	47		39,0	42	16,5	31,6	375,0	369,3	7,7	5,0	0,54	74,5	19,45	0,06	9,54	287,8	29,6	91,5	371,0
1800	35	47		59,1	42	16,8	31,9	376,5	370,8	5,2	7,9	0,57	46,7	21,57	0,04	18,36	307,5	27,7	90,9	383,0
1800	35	47		80,7	42	17,1	31,3	382,5	377,0	2,4	10,7	0,58	35,1	17,91	0,01	25,93	318,5	26,8	90,2	398,0

Rotação (RPM)	Carga (%)	Potência ao eixo (kW)	Restrição de ar (%)	Taxa de substituição (%)	Potência elétrica (kW)	Pressão de ar no coletor de admissão (pascal)	Temperatura de ar na admissão (°C)	Consumo de ar seco(kg/h)	Consumo de ar úmido(kg/h)	Consumo de Oxigénio(kg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Relação de equivalência, (ε)	Relação de ar/gás (-)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	HCl (g/kWh)	Consumo específico (g/kWh)	Rend. Térmico (%)	EF. Volumétrica (%)	Temperatura de gases de escape (°C)
1800	60	72	0	0,0	65	21,4	34,9	493,8	486,5	17,68	0,00	0,54	-	2,3	0,042	0,1	244,1	34,7	91,3	417
1800	60	72		20,1	65	21,3	35,2	483,3	476,2	14,16	3,03	0,55	157,19	6,9	0,047	3,1	244,7	34,7	91,1	420
1800	60	72		41,0	65	21,0	34,4	474,3	467,7	10,45	6,64	0,58	70,46	13,3	0,074	10,1	251,2	33,9	91,3	412
1800	60	72		59,9	65	20,4	33,4	455,7	449,3	7,10	9,61	0,60	46,74	12,7	0,075	11,6	252,5	33,8	91,2	414
1800	60	72		80,4	65	20,8	33,3	461,0	454,7	3,47	13,07	0,60	34,80	11,0	0,029	13,1	257,7	33,2	91,6	423
1800	60	72	20	0,0	65	21,8	37,1	470,1	462,5	18,07	0,00	0,59	-	1,4	0,035	0,6	250,3	33,9	86,3	428
1800	60	72		20,7	65	21,5	36,6	458,3	451,0	14,06	3,67	0,61	122,91	7,0	0,047	4,8	253,5	33,5	86,1	429
1800	60	72		39,7	65	21,1	36,4	445,2	437,9	10,66	6,90	0,63	63,48	12,0	0,050	8,6	258,4	33,0	85,7	426
1800	60	72		59,9	65	20,4	35,7	421,7	414,9	7,10	9,77	0,66	42,43	11,9	0,065	10,6	255,2	33,4	84,9	416
1800	60	72		80,0	65	20,7	35,4	428,0	421,2	3,54	12,95	0,65	32,54	10,3	0,025	12,1	256,6	33,3	85,8	424
1800	60	72	40	0,0	65	21,5	36,5	465,2	457,6	18,05	0,00	0,59	-	1,4	0,043	0,7	250,0	33,9	86,2	432
1800	60	72		21,4	65	21,2	36,6	451,1	443,8	14,01	3,60	0,61	123,40	7,0	0,049	4,8	251,7	33,8	85,8	433
1800	60	72		40,2	65	20,9	36,1	438,9	431,7	10,63	7,27	0,66	19,38	11,9	0,046	8,3	263,9	32,3	85,7	432
1800	60	72		60,3	65	20,1	35,3	416,6	409,9	7,04	10,04	0,67	40,82	11,5	0,054	10,1	258,6	33,0	85,0	423
1800	60	72		80,7	65	20,4	35,4	419,4	412,7	3,44	13,28	0,67	31,08	9,4	0,028	10,8	260,7	32,8	85,5	428
1800	60	72	60	0,0	65	20,7	35,0	444,8	438,4	19,51	0,00	0,67	-	1,9	0,039	0,5	270,2	31,4	85,2	432
1800	60	72		20,8	65	20,2	35,1	427,4	421,1	15,22	3,52	0,68	119,73	5,7	0,044	9,1	267,2	31,8	84,7	438
1800	60	72		39,6	65	20,0	35,1	415,7	409,6	11,59	6,16	0,68	66,46	10,4	0,051	5,9	259,4	32,8	84,3	462
1800	60	72		60,7	65	18,8	35,9	382,5	377,0	7,54	9,75	0,74	38,68	9,3	0,064	6,6	260,8	32,7	83,3	452
1800	60	72		82,3	65	18,7	35,3	375,1	369,7	3,39	12,77	0,73	28,93	8,7	0,045	6,9	251,8	33,9	83,0	449

Rotação (RPM)	Carga (%)	Potência ao eixo (kW)	Restrição de ar (%)	Taxa de substituição (%)	Potência elétrica (kW)	Pressão de ar no coletor de admissão (psia)	Temperatura de ar na admissão (°C)	Consumo de ar seco(kg/h)	Consumo de ar seco(kg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Relação de equivalência (-)	Relação de ar/gás (-)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	HCl (g/kWh)	Consumo específico (g/kWh)	Rend. Térmico (%)	EF. Volumétrica (%)	Temperatura de gases de escape (°C)
1800	73	88	0	0,0	65	26,2	44,0	560,5	550,5	23,84	0,00	0,65	-	2,31	0,055	0,76	272,4	31,1	87,3	478
1800	73	88		19,7	65	26,0	44,0	551,6	542,0	19,26	4,03	0,66	134,47	8,13	0,056	4,07	273,4	31,1	87,6	481
1800	73	88		40,9	65	25,0	43,3	518,7	509,7	14,19	7,50	0,67	67,93	12,44	0,065	7,06	261,5	32,6	86,4	478
1800	73	88		59,6	65	23,6	41,2	485,2	476,8	9,70	11,05	0,70	43,11	12,09	0,083	8,30	257,1	33,2	86,2	464
1800	73	88		80,7	65	22,5	39,4	455,5	447,7	4,63	15,40	0,74	29,08	8,42	0,082	8,69	256,7	33,3	85,6	452
1800	73	88	20	0,0	65	26,2	44,5	562,5	552,5	23,83	0,00	0,65	-	2,07	0,053	0,76	272,3	31,1	87,7	477
1800	73	88		20,4	65	26,0	44,5	548,3	538,6	19,11	3,00	0,63	179,46	7,67	0,065	4,07	258,2	32,9	87,1	481
1800	73	88		39,4	65	24,9	42,7	520,5	511,7	14,35	8,38	0,71	61,07	11,52	0,072	6,73	277,1	30,7	87,0	475
1800	73	88		59,8	65	23,5	40,8	485,3	477,1	9,54	10,28	0,67	46,39	11,14	0,084	8,36	246,3	34,6	86,0	461
1800	73	88		79,4	65	22,5	40,3	451,7	443,6	4,94	12,79	0,66	34,69	7,89	0,091	8,46	225,7	37,8	84,5	452
1800	73	88	40	0,0	65	26,1	44,3	559,2	549,4	24,21	0,00	0,66	-	2,00	0,055	0,68	276,7	30,6	87,3	479
1800	73	88		21,0	65	25,7	44,1	542,6	533,1	18,96	3,47	0,64	153,44	7,66	0,054	3,91	262,7	32,3	86,9	486
1800	73	88		40,1	65	24,6	42,9	512,9	504,2	14,37	7,49	0,68	67,33	10,97	0,076	6,30	263,4	32,3	86,6	479
1800	73	88		61,0	65	23,0	40,7	468,9	460,8	9,35	10,28	0,68	44,81	10,03	0,091	7,59	243,0	35,1	85,3	465
1800	73	88		80,2	65	22,1	39,8	444,3	436,4	4,73	14,84	0,74	29,42	8,08	0,091	8,01	230,7	34,1	83,0	456
1800	73	88	60	0,0	65	24,5	44,4	513,7	504,3	25,01	0,00	0,74	-	3,06	0,050	0,55	285,9	29,7	85,8	515
1800	73	88		21,3	65	24,5	44,5	507,5	498,6	19,37	3,76	0,71	132,61	8,24	0,051	2,46	271,1	31,3	85,8	516
1800	73	88		41,2	65	23,0	42,6	468,6	460,6	14,46	7,65	0,75	60,23	10,18	0,060	4,19	266,5	31,9	84,9	515
1800	73	88		60,8	65	21,3	40,3	422,9	413,5	9,54	10,67	0,79	38,93	8,42	0,089	5,21	251,5	33,9	83,3	497
1800	73	88		79,9	65	20,5	39,1	398,0	391,2	4,96	13,85	0,79	28,23	9,14	0,151	4,97	239,9	35,6	82,2	488

Notação (RPM)	Carga (%)	Potência ao eixo (kW)	Restrição de ar (%)	Taxa de substituição (%)	Potência elétrica (kW)	Pressão de ar no coletor de admissão (pascal)	Temperatura de ar na saída (graus Celsius)	Consumo de ar úmido (kg/h)	Consumo de ar seco (kg/h)	Consumo de Diesel (kg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Relação de equivalência, (-)	Relação de ar/gás (-)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	HC (g/kWh)	Consumo específico (g/kWh)	Rend. Térmico (%)	EF. Volumétrica (%)	Temperatura de gases de escape (C)
1800	90	119	0	0	107	30,0	52,02	634,27	621,54	17,50	0	0,71	-	8,23	0,142	0,13	249,0	34,06	88,4	510
1800	90	119		22,20	107	30,2	53,07	627,57	615,30	22,54	4,36	0,68	134,98	20,76	0,129	5,46	234,0	36,30	88,1	520
1800	90	119		41,08	107	28,4	50,36	582,32	570,61	17,10	7,08	0,70	68,94	20,58	0,143	8,33	224,4	37,92	87,4	508
1800	90	119		60,73	107	25,5	46,22	513,10	502,55	11,59	9,37	0,73	43,44	12,98	0,252	10,53	208,5	40,88	85,3	485
1800	90	119		79,42	107	25,3	40,83	517,35	509,20	5,01	14,65	0,75	29,69	13,24	0,478	10,57	216,8	39,42	85,9	445
1800	90	119	20	0	107	29,6	51,84	626,08	613,98	27,78	0	0,66	-	6,83	0,199	0,20	233,6	36,30	88,3	498
1800	90	119		19,40	107	30,0	51,99	628,59	615,90	25,55	9,21	0,66	180,56	16,54	0,131	4,59	229,9	36,94	88,5	509
1800	90	119		47,15	107	27,2	49,19	558,10	547,04	15,50	7,70	0,70	61,49	20,07	0,142	8,26	215,4	39,53	87,1	501
1800	90	119		58,28	107	26,1	47,63	527,09	516,31	12,11	9,00	0,71	46,94	14,52	0,186	10,82	209,0	40,77	86,1	485
1800	90	119		79,42	107	24,6	45,01	492,33	482,15	5,41	11,21	0,75	35,17	12,66	0,466	10,80	204,3	41,77	85,3	456
1800	90	119	40	0	107	29,4	50,19	623,46	613,29	25,21	0	0,69	-	6,78	0,179	0,00	237,3	32,74	88,3	499
1800	90	119		19,01	107	29,7	52,25	620,05	607,49	22,66	9,74	0,67	154,12	17,68	0,102	4,80	229,0	37,09	88,2	513
1800	90	119		42,06	107	27,6	48,80	569,58	558,91	16,25	6,98	0,68	68,32	20,00	0,139	8,52	216,2	39,36	87,4	502
1800	90	119		58,16	107	25,8	45,56	527,95	518,29	11,70	9,33	0,71	45,76	14,34	0,186	10,51	208,8	40,83	86,7	486
1800	90	119		79,75	107	24,3	40,65	494,58	486,58	5,67	13,73	0,74	29,98	12,41	0,376	9,70	205,8	41,51	86,4	460
1800	90	119	60	0	107	27,7	49,68	587,72	576,54	25,50	0	0,73	-	9,58	0,156	0,00	233,1	36,08	88,1	526
1800	90	119		18,55	107	28,2	51,09	585,81	574,47	22,81	4,11	0,72	133,29	20,27	0,072	2,71	233,8	36,33	87,7	543
1800	90	119		42,24	107	25,8	48,55	526,14	516,25	16,16	7,24	0,75	61,17	19,89	0,121	5,14	218,2	39,01	86,6	530
1800	90	119		58,28	107	24,2	45,51	485,33	476,14	11,75	9,95	0,80	39,83	16,39	0,157	4,67	215,1	39,63	85,5	517
1800	90	119		69,65	107	23,0	40,25	447,91	440,60	5,50	12,77	0,86	29,83	29,07	0,433	7,89	215,4	39,63	82,6	500

Motropo (kWh/h)	Carga (kW)	Potência ac cima (kW)	Mistura de ar (%)	Taxa de substituição (%)	Potência elétrica (kW)	Pressão de ar no coletor da admissão (psia)	Temperatura de ar na admissão (°C)	Consumo de ar úmido (kg/h)	Consumo de ar seco (kg/h)	Consumo de gás (kg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Razão de equivalência, (.)	Razão de ar/gás (-)	CO (g/kWh h)	NOx (g/kWh)	HC (g/kWh)	Consumo específico (g/kWh)	Rend. Térmico (%)	Ef. Volumétrica (%)	Temperatura do gás de escape (°C)
1800	100	133	0	0,0	120	32,8	14,9	692,7	680,6	31,93	0,000	0,70	-	8,41	0,174	0,00	239,5	34,74	89,2	523
1800	100	133		18,1	120	33,4	16,8	691,7	678,9	26,20	4,560	0,69	148,91	22,37	0,166	3,08	236,1	35,98	89,0	534
1800	100	133		37,5	120	31,7	14,8	647,9	635,6	20,01	9,279	0,72	68,50	24,61	0,184	5,97	230,7	36,88	88,2	530
1800	100	133		58,1	120	28,2	45,2	579,8	570,6	13,41	13,518	0,76	42,21	16,57	0,408	5,18	218,0	39,10	87,3	496
1800	100	133	50	0,0	120	32,1	15,3	667,4	654,6	32,35	0	0,75	-	10,47	0,137	0,00	244,1	34,74	87,9	537
1800	100	133		18,6	120	32,4	16,8	661,9	649,7	26,05	4,563	0,72	142,39	23,17	0,133	2,00	235,0	36,14	87,8	530
1800	100	133		38,0	120	30,6	13,9	623,2	611,9	19,85	7,814	0,70	78,30	25,13	0,110	4,34	216,8	39,24	87,6	545
1800	100	133		49,0	120	28,6	50,6	570,0	559,5	16,32	10,043	0,74	55,70	23,54	0,146	5,54	209,6	40,62	85,4	531

**Anexo C**  
**Planilhas de Incertezas**

Restrição de ar(%)	Carga (%)	Consumo de ar úmido (hg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Consumo de ar seco (kg/h)	Taxa de Substituição (-)	Razão de equivalencia (kg/kg)	CO (g/kWh)	NO2 (kg/kWh)	HC (kg/kWh)
0	16	7,768	0	7,610	0	0,007	0,283	0,066	0
0	16	7,685	0,042	7,525	0,069	0,002	1,647	0,166	2,335
0	16	7,656	0,071	7,499	0,056	0,003	2,658	0,120	5,809
0	16	7,721	0,117	7,556	0,036	0,006	3,322	0,066	11,411
0	16	7,795	0,161	7,636	0,019	0,008	2,742	0,024	16,673
20	16	7,691	0	7,534	0,000	0,007	0,297	0,058	0
20	16	7,605	0,040	7,451	0,067	0,002	1,591	0,153	2,125
20	16	7,622	0,079	7,463	0,055	0,004	3,008	0,109	7,384
20	16	7,862	0,127	7,705	0,039	0,006	3,217	0,076	8,540
20	16	7,803	0,133	7,641	0,031	0,006	2,742	0,037	15,760
40	16	7,540	0	7,383	0	0,007	0,303	0,059	0
40	16	7,543	0,041	7,392	0,068	0,002	1,636	0,157	1,921
40	16	7,578	0,083	7,423	0,054	0,004	2,812	0,117	5,946
40	16	7,636	0,126	7,478	0,036	0,006	3,460	0,059	9,919
40	16	7,596	0,148	7,437	0,014	0,007	2,967	0,021	13,245
60	16	7,662	0	7,528	0	0,007	0,362	0,072	0
60	16	7,560	0,048	7,432	0,072	0,002	1,611	0,114	2,429
60	16	7,539	0,080	7,413	0,057	0,004	2,866	0,060	5,700
60	16	7,601	0,123	7,474	0,036	0,006	3,429	0,011	8,997
60	16	7,652	0,146	7,523	0,026	0,007	2,858	0,044	9,176
0	Marcha Lenta	7,657	0	7,514	0	0,004	0,282	0,055	0

Restrição de ar(%)	Carga (%)	Consumo de ar úmido (hg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Consumo de ar seco (kg/h)	Taxa de Substituição (-)	Razão de equivalencia (kg/kg)	CO (g/kWh)	NO2 (kg/kWh)	HC (kg/kWh)
0	35	9,426	0	9,272	0	0,009	0,135	0,007	0
0	35	9,301	0,053	9,149	0,076	0,002	0,695	0,007	0,862
0	35	9,097	0,108	8,946	0,059	0,004	1,101	0,008	1,551
0	35	9,186	0,176	9,032	0,037	0,007	1,453	0,007	2,283
0	35	9,488	0,225	9,333	0,021	0,009	1,748	0,004	4,767
20	35	9,233	0	9,057	0	0,010	0,115	0,002	0
20	35	9,019	0,069	8,846	0,080	0,003	0,763	0,004	0,966
20	35	8,873	0,124	8,702	0,060	0,005	1,135	0,005	1,610
20	35	8,999	0,199	8,818	0,041	0,008	1,755	0,002	3,018
20	35	9,143	0,264	8,966	0,022	0,011	1,559	0,001	4,464
40	35	9,020	0	8,834	0	0,010	0,130	0,003	0,015
40	35	8,861	0,063	8,687	0,082	0,003	0,630	0,004	0,669
40	35	8,780	0,155	8,610	0,052	0,007	1,105	0,004	1,474
40	35	8,827	0,192	8,654	0,042	0,008	1,700	0,003	2,708
40	35	8,950	0,260	8,778	0,023	0,011	1,547	0,001	4,176
60	35	8,424	0	8,259	0	0,011	0,136	0,003	0
60	35	8,299	0,055	8,141	0,090	0,003	0,547	0,003	0,459
60	35	8,079	0,117	7,921	0,063	0,005	0,883	0,004	1,037
60	35	8,112	0,188	7,955	0,042	0,009	1,416	0,002	1,995
60	35	8,243	0,254	8,086	0,020	0,011	1,176	0,001	2,818

Restrição de ar(%)	Carga (%)	Consumo de ar úmido (hg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Consumo de ar seco (kg/h)	Taxa de Substituição (-)	Razão de equivalencia (kg/kg)	CO (g/kWh)	NO2 (kg/kWh)	HC (kg/kWh)
0	60	10,639	0	10,435	0	0,012	0,151	0,003	0,011
0	60	10,418	0,072	10,214	0,082	0,003	0,453	0,003	0,337
0	60	10,220	0,157	10,032	0,060	0,006	0,873	0,005	1,097
0	60	9,818	0,227	9,639	0,040	0,009	0,834	0,005	1,261
0	60	9,933	0,309	9,753	0,020	0,012	0,723	0,002	1,424
20	60	10,130	0	9,921	0	0,013	0,092	0,002	0,065
20	60	9,876	0,087	9,674	0,081	0,003	0,459	0,003	0,521
20	60	9,592	0,163	9,393	0,061	0,006	0,787	0,003	0,934
20	60	9,087	0,231	8,900	0,040	0,009	0,781	0,004	1,152
20	60	9,222	0,306	9,035	0,020	0,012	0,677	0,002	1,315
40	60	10,024	0	9,816	0	0,013	0,092	0,003	0,076
40	60	9,720	0,085	9,520	0,083	0,003	0,459	0,003	0,521
40	60	9,457	0,172	9,261	0,061	0,007	0,781	0,003	0,902
40	60	8,976	0,237	8,793	0,040	0,010	0,755	0,004	1,098
40	60	9,036	0,314	8,852	0,020	0,013	0,617	0,002	1,174
60	60	9,585	0	9,403	0	0,014	0,125	0,003	0,054
60	60	9,209	0,083	9,033	0,131	0,004	0,374	0,003	0,337
60	60	8,956	0,146	8,785	0,076	0,006	0,682	0,003	0,641
60	60	8,242	0,230	8,087	0,045	0,010	0,610	0,004	0,717
60	60	8,082	0,302	7,930	0,020	0,014	0,572	0,003	0,750

Restrição de ar(%)	Carga (%)	Consumo de ar úmido (hg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Consumo de ar seco (kg/h)	Taxa de Substituição (-)	Razão de equivalencia (kg/kg)	CO (g/kWh)	NO2 (kg/kWh)	HC (kg/kWh)
0	73	12,077	0	0,511	0	0,001	0,151	0,004	0,083
0	73	11,885	0,095	0,413	0,017	0,003	0,533	0,004	0,442
0	73	11,177	0,177	0,304	0,011	0,006	0,816	0,004	0,767
0	73	10,455	0,261	0,208	0,008	0,009	0,793	0,005	0,902
0	73	9,814	0,364	0,099	0,004	0,014	0,553	0,005	0,945
20	73	12,121	0	0,511	0	0,001	0,136	0,005	0,083
20	73	11,814	0,071	0,410	0,012	0,002	0,503	0,004	0,442
20	73	11,216	0,198	0,312	0,013	0,007	0,756	0,005	0,731
20	73	10,456	0,243	0,207	0,007	0,009	0,731	0,006	0,908
20	73	9,733	0,302	0,106	0,003	0,012	0,518	0,006	0,919
40	73	12,049	0	0,519	0	0,001	0,131	0,004	0,074
40	73	11,692	0,082	0,407	0,014	0,003	0,502	0,004	0,425
40	73	11,052	0,177	0,308	0,011	0,006	0,720	0,005	0,684
40	73	10,104	0,243	0,201	0,007	0,009	0,658	0,006	0,836
40	73	9,574	0,350	0,102	0,004	0,014	0,531	0,006	0,871
60	73	11,069	0	0,537	0	0,002	0,201	0,003	0,060
60	73	10,934	0,089	0,415	0,016	0,003	0,540	0,003	0,267
60	73	10,097	0,181	0,310	0,012	0,007	0,668	0,004	0,455
60	73	9,111	0,252	0,207	0,007	0,010	0,553	0,006	0,566
60	73	8,576	0,327	0,106	0,004	0,014	0,600	0,010	0,540

Restrição de ar(%)	Carga (%)	Consumo de ar úmido (hg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Consumo de ar seco (kg/h)	Taxa de Substituição (-)	Razão de equivalencia (kg/kg)	CO (g/kWh)	NO2 (kg/kWh)	HC (kg/kWh)
0	90	13,666	0	13,332	0	0,015	0,540	0,009	0,014
0	90	13,522	0,103	13,198	0,095	0,003	1,361	0,008	0,593
0	90	12,547	0,167	12,240	0,066	0,005	1,350	0,009	0,905
0	90	11,056	0,226	10,780	0,042	0,008	0,852	0,017	1,144
0	90	11,147	0,346	10,922	0,021	0,013	0,869	0,031	1,148
20	90	13,490	0	13,157	0	0,015	0,448	0,013	0,021
20	90	13,544	0,076	13,211	0,103	0,002	1,084	0,009	0,499
20	90	12,025	0,182	11,734	0,058	0,006	1,316	0,009	0,897
20	90	11,357	0,213	11,075	0,045	0,008	0,953	0,012	1,176
20	90	10,608	0,265	10,342	0,034	0,011	0,831	0,031	1,173
40	90	13,477	0	13,155	0	0,015	0,444	0,012	0
40	90	13,360	0,088	13,031	0,084	0,003	1,159	0,007	0,522
40	90	12,273	0,165	11,989	0,059	0,005	1,312	0,009	0,926
40	90	11,376	0,220	11,117	0,042	0,008	0,941	0,012	1,142
40	90	10,656	0,324	10,437	0,020	0,013	0,815	0,038	1,054
60	90	12,663	0	12,367	0	0,016	0,635	0,010	0
60	90	12,622	0,097	12,322	0,085	0,003	1,329	0,005	0,295
60	90	11,337	0,171	11,073	0,059	0,006	1,304	0,008	0,558
60	90	10,457	0,235	10,213	0,043	0,009	1,075	0,010	0,508
60	90	9,651	0,302	9,451	0,031	0,013	1,908	0,028	0,858

Restrição de ar(%)	Carga (%)	Consumo de ar úmido (hg/h)	Consumo de gás natural (kg/h)	Consumo de ar seco (kg/h)	Taxa de Substituição (-)	Razão de equivalencia (kg/kg)	CO (g/kWh)	NO2 (kg/kWh)	HC (kg/kWh)
0	100	14,925	0	14,599	0	0,015	0,546	0,011	0
0	100	14,903	0,108	14,563	0,083	0,003	1,454	0,011	0,334
0	100	13,959	0,219	13,634	0,063	0,006	1,600	0,009	0,647
0	100	12,493	0,319	12,240	0,042	0,010	1,078	0,027	0,561
50	100	14,380	0	14,042	0	0,016	0,680	0,009	0
50	100	14,262	0,108	13,936	0,082	0,003	1,506	0,009	0,217
50	100	13,429	0,185	13,124	0,062	0,005	1,634	0,007	0,470
50	100	12,283	0,237	12,000	0,051	0,007	1,531	0,009	0,611