

12º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA

Guayaquil, 10 a 13 de Novembro de 2015

ANÁLISE EXERGÉTICA DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA OPERANDO COM MISTURAS DE DIESEL COM BIODIESEL

Jorge Waschington do Carmo Junior^o, Luanda Kivia de Oliveira Rodrigues[#],
Antonio Gabriel Souza Almeida*, Ednildo Andrade Torres⁺

^{o#}Instituto Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil ; ⁺Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia Brasil
^ocarmoifba@gmail.com, [#]luandakivia@ifba.edu.br, ^{*}gabrielalmeida@ifba.edu.br, ⁺ednildo@ufba.br

Área Temática: Energia

RESUMO

Os veículos de transporte coletivo, assim como de transporte de carga, necessitam de motores com torques elevados, o que justifica a escolha de um motor de ignição por compressão, cujo combustível mais comum é o diesel. A escassez energética e os efeitos danosos causados ao meio ambiente são fatores determinantes para o desenvolvimento de novas fontes de energia renováveis, menos agressivas. Diversas misturas de combustíveis são efetuadas com o propósito de manter as principais características do motor de combustão interna do ciclo diesel, mas permitindo uma redução da utilização dos derivados de petróleo. O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais, atendendo estas necessidades. O objetivo deste trabalho é apresentar uma avaliação exergética da operação de um motor de combustão interna do ciclo Diesel operando com misturas de diesel mineral e biodiesel gerado por óleo de gordura residual de alimentos (OGR), à qualquer proporção. A análise do sistema foi desenvolvida com algoritmos na plataforma Engineering Equation Solver (EES), levando em conta o balanço de massa, a Primeira e a Segunda leis da Termodinâmica, identificando rejeitos e perdas no sistema térmico. Os resultados dessa avaliação são apresentados com o objetivo de avaliar o aproveitamento da energia rejeitada.

PALAVRAS CHAVE: motor de combustão interna, exergia, rejeitos térmicos.

INTRODUÇÃO

O aquecimento global, causado pela liberação excessiva de gases de efeito estufa, tem sido um grande problema para a sociedade, que vem buscando novas fontes de energia para tentar reduzir o impacto. Um grande desafio é lidar com a redução das reservas de recursos fósseis, o que vem provocando uma busca insaciável por novas fontes de energia renováveis.

Os biocombustíveis, como o álcool e biodiesel, têm sido atualmente propostos como combustíveis alternativos para motores de combustão por compressão, devido a vários fatores como a diminuição da dependência do petróleo importado, a utilização de recursos renováveis e combustíveis biodegradáveis, redução do aquecimento global e das emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos não queimados e emissões de material particulado proveniente dos motores [1].

O aumento significativo da frota automotiva e das atividades industriais levou a uma necessidade maior de queima de combustível. Devido a uma cautela com o meio ambiente e com a escassez energética de combustíveis fósseis, novas fontes de energia renováveis são desenvolvidas com o objetivo de reduzir ao máximo a agressão ao ambiente e a utilização de combustíveis derivados de petróleo.

O biodiesel é uma energia renovável derivado de óleos vegetais ou gorduras animais, atóxico e biodegradável. Utilizado na formação de biocombustíveis com o objetivo de reduzir a utilização de combustível fóssil, podendo ser utilizado em motores de compressão, sem alterar as características físicas do motor e proporcionando uma emissão menor de gases poluentes, como o monóxido de carbono.

Considerando que a partir de um motor de combustão interna tem-se no máximo 40% da energia química do combustível convertida em energia mecânica útil [2], aproximadamente 30% a 32% é liberado na forma de gases de exaustão, com temperatura superior a 400°C, e 30% a 28% é dissipado através do sistema de arrefecimento, pelo lubrificante ou pela carcaça, com água de resfriamento sendo encaminhada para o radiador a uma temperatura por volta dos 100°C, podemos verificar que mais de 50% da energia disponibilizada pelo combustível é liberada na forma de perdas [3].

Efetuada uma análise exérgica no motor de compressão é possível localizar as irreversibilidades e as perdas e, assim, analisar a qualidade dos rejeitos térmicos e utiliza-los para alimentar outro sistema.

O objetivo do trabalho foi desenvolver uma avaliação energética e exérgica do motor de compressão do ciclo diesel, útil na determinação das eficiências dos processos, com base na primeira e segunda lei da termodinâmica, e nas propriedades termodinâmicas dos fluidos de trabalho. A simulação do modelo foi desenvolvida na plataforma Engineering Equation Solver (EES). Através da metodologia empregada pode-se identificar os principais pontos de perda de eficiência e direcionar os esforços no sentido de otimizar o desempenho do motor, além de quantificar a energia desperdiçada que pode ser utilizada em outros sistemas térmicos, como, por exemplo, alimentar um sistema de ar-condicionado veicular por absorção ou adsorção.

MATERIAL E MÉTODOS

Biodiesel e Seus Efeitos no Desempenho dos Motores de Combustão

Óleo de girassol, diesel e biodiesel foram comparados em cargas totais ou parciais e em diferentes velocidades num motor 2,5 L com potência de 53 kW, obtendo perda de potência inferior a 10%. De acordo a [4] a redução de potência com o uso do biodiesel é justificada pelo menor poder calorífico do biocombustível.

O consumo específico de combustível (CEC) é a razão entre o consumo mássico de combustível e a energia gasta pelo motor. Como uso do biodiesel é esperado um aumento de até 14% em relação ao consumo de combustível diesel, correspondente à diminuição do poder calorífico em base mássica do biodiesel [5]. [6] confirmaram isso em testes com biodiesel puro (B-100) num motor de 57 kW.

A presença de oxigênio ligado quimicamente a molécula do biodiesel tem o efeito de reduzir a concentração de poluentes nos gases de escape devido a uma melhor queima do combustível no motor. Estas emissões com biodiesel puro e suas misturas com óleo diesel têm sido relatadas em estudos conduzidos pela Agência Americana de Proteção Ambiental [7]. Segundo este estudo, as emissões de monóxido de carbono (CO), apresentam uma redução exponencial com o aumento da porcentagem de biodiesel. A maioria dos estudos analisados mostra um ligeiro aumento das emissões de NO_x com o uso do biodiesel, embora este resultado seja dependente das condições de operação e tipo do motor.

Com o aumento da utilização de combustíveis alternativos, surge a oportunidade da utilização de misturas ternárias de diesel, biodiesel e compostos oxigenados como, por exemplo, etanol (e-diesel) ou dimetil-eter (DME). Segundo [1], os aditivos oxigenados têm sido utilizados para a redução da temperatura de ignição,

visando uma diminuição das emissões de NO_x . O efeito da mistura de combustível oxigenado nas emissões de NO_x é complexa e não é conclusiva. [8] testaram as emissões de 45 misturas ternárias envolvendo diesel, biodiesel proveniente de resíduos de cozinha, álcool anidro e óleos vegetais em um motor bi-cilíndrico de 22 kW de injeção direta. Nestes testes foi observada uma ligeira diminuição nas emissões de NO_x com o uso da mistura ternária.

Análise da Energia e Exergia

A primeira lei da termodinâmica ou a análise energética determina o efeito quantitativo do sistema. A análise qualitativa é desenvolvida com base na segunda lei da termodinâmica, também conhecida como análise exérgica. A mesma considera as quantidades de energia perdidas e as irreversibilidades dos processos, e permite quantificar a disponibilidade de energia que ainda é possível se aproveitar em tal equipamento. Em conjunto com a análise energética, permite uma avaliação mais abrangente em relação ao desperdício termodinâmico que ocorre em tal planta térmica.

Diferentemente da energia, a exergia não se conserva, a mesma é destruída pelas irreversibilidades. A maioria dos sistemas térmicos é abastecida com influxos de exergia derivados direta ou indiretamente do consumo de combustíveis fósseis. Consequentemente, destruições e perdas evitáveis de exergia representam um desperdício desses recursos. Por meio do desenvolvimento de caminhos para se reduzirem tais ineficiências, pode-se fazer um melhor uso desses combustíveis. O balanço de exergia pode ser aplicado para determinar a localização, os tipos e a verdadeira magnitude do desperdício de recursos energéticos e, assim, pode representar uma parte importante no desenvolvimento de estratégias para um uso mais eficiente dos combustíveis [9].

Análise das perdas de calor em um automóvel

Conforme o enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica:

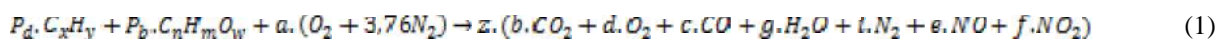
“É impossível construir um dispositivo que opere num ciclo termodinâmico e que não produza outros efeitos além da realização de trabalho e troca de calor com um único reservatório térmico.”

Este enunciado estabelece que é impossível construir um motor térmico com uma eficiência de 100%, ou seja, que opere segundo um ciclo e receba uma certa quantidade de energia na forma de calor e que a converta totalmente em trabalho sem que ocorra perdas [10].

O motor de combustão interna, devido a sua função motriz e em proporcionar a conversão de energia, apresenta diversas formas de irreversibilidades. Em média 35% (no máximo 40%) do poder calorífico do combustível é convertida em energia mecânica, portanto mais de 50% dessa energia é desperdiçada. Essa energia perdida é distribuída pelo sistema de arrefecimento do motor, atrito, irradiação e principalmente pelos gases do produto da combustão ou gases de exaustão.

A Eq. (1) mostra a modelagem da combustão baseada na queima estequiométrica do biocombustível, dado por uma mistura em qualquer proporção de diesel fóssil mais biodiesel, onde o biodiesel é gerado por óleo de gordura residual (OGR).

Para efeito de simplificação da equação química da combustão foi introduzido o conceito de combustível equivalente, denotado por C_xH_y para o diesel fóssil e $C_nH_mO_w$ para o biodiesel, onde C, H e O são os átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio respectivamente, e “x”, “y”, “n”, “m” e “w” são a quantidade de átomos presentes na fórmula química do combustível.



Na equação acima, a proporção da mistura do biocombustível é dada por P_d para o diesel fóssil e P_b para o biodiesel, os coeficientes “b”, “d”, “c”, “g”, “l”, “e” e “f” representam as frações dos produtos da combustão, enquanto que “a” e “z” representam os coeficientes a serem determinados.

As emissões dos gases de escape devem ser obtidas com o auxílio de um analisador de gases portátil, capaz de avaliar as concentrações de CO , CO_2 , NO , NO_2 e O_2 instalando uma sonda no escapamento do motor e mantendo a uma rotação constante.

É preciso de algumas considerações para efetuar as análises energética e exérgica do motor de combustão interna:

- O motor opera no estado estacionário
- Os produtos da combustão são tratados como uma mistura de gás ideal

- Para o cálculo da exergia os efeitos de movimento e gravidade, são desprezados.

Análise Energética

O poder calorífico de um combustível, líquido ou sólido, é o calor liberado durante a combustão completa de um quilograma do mesmo. Durante essa combustão a água é produzida pela oxidação do hidrogênio e passa a fazer parte dos produtos da combustão, sendo assim a quantidade de energia que foi liberada neste processo depende do estado em qual a água é encontrada nos produtos. A energia é chamada de poder calorífico superior (PCS), quando a água é encontrada na fase líquida, e chamada de poder calorífico inferior (PCI), quando a água for encontrada na fase de vapor.

Segundo [11], a Eq. (2) determina o poder calorífico inferior de um biocombustível, apenas indicando a proporção de biodiesel na mistura. E a Eq. (3) determina a densidade de forma semelhante, segundo [12].

$$PCI_{comb} = -0.041 * P_b + 42.32 \quad [\text{MJ/kg}] \quad (2)$$

$$d_{comb} = 0.0004 * P_b + 0.8424 \quad [\text{kg/L}] \quad (3)$$

Logo, é possível determinar a massa, vazão e energia do combustível líquido, através das Eq. (4), (5) e (6), respectivamente:

$$m_{comb} = d_{comb} * V_{comb} \quad [\text{kg}] \quad (4)$$

$$Vazão_{comb} = \frac{m_{comb}}{t_{comb}} \quad [\text{kg/s}] \quad (5)$$

$$En_{comb} = Vazão_{comb} * PCI_{comb} \quad [\text{MW}] \quad (6)$$

Onde V_{comb} é o volume do combustível consumido, em litros, por um determinado tempo t_{comb} de operação em segundos.

A energia transferida na forma de calor para o fluxo de água é apresentada na Eq. (7):

$$Q_{água} = \dot{m}_{água} * cp_{água} * \Delta T \quad [\text{KW}] \quad (7)$$

Sendo $\dot{m}_{água}$ a vazão da água, $cp_{água}$ o seu calor específico e ΔT a variação de temperatura do fluxo de água na entrada e na saída do sistema de arrefecimento do motor.

O calor de radiação é dado através da Eq. (8), onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann, A é a área da superfície irradiada e ϵ é a emissividade do material do motor, como essa radiação é aleatória e em toda parte física do motor, a área utilizada para o cálculo da dispersão de energia em torno do motor foi a de uma superfície de um cubo.

$$Q_{rad} = \sigma * A * \epsilon * (T_{superf}^4 - T_{ar}^4) \quad [\text{KW}] \quad (8)$$

O calor dos gases de exaustão é determinado através da Eq. (9), onde $Vazão_{gases}$ é a vazão volumétrica dos gases do escapamento, d_{gases} e cp_{gases} são a densidade e o calor específico dos gases, respectivamente:

$$Q_{gases} = d_{gases} * Vazão_{gases} * cp_{gases} * (T_{gases} - T_{amb}) \quad [\text{KW}] \quad (9)$$

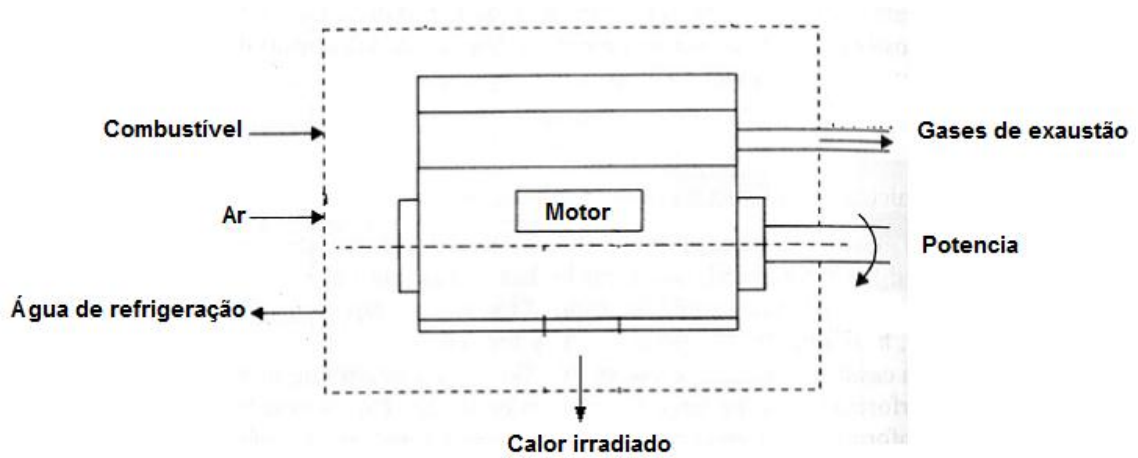


Figura 1. Balanço energético do motor

Analisando a Figura 1 e aplicando os conceitos da primeira lei da termodinâmica, a conservação de energia, onde toda energia fornecida ao sistema é transformada ou transferida. Pode-se determinar a potência real do motor e a sua eficiência energética através das Eq. (10) e (11), respectivamente:

$$E_{m_{comb}} = Q_{\text{água}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{gases}} + Pot_{\text{motor}} \quad [\text{KW}] \quad (10)$$

$$R_{\text{motor}} = \left(\frac{Pot_{\text{motor}}}{E_{m_{comb}}} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (11)$$

Análise Exergética

A determinação da exergia de um combustível industrial líquido ou sólido é apresentada por [13], onde a razão da exergia química de um combustível com o seu poder calorífico inferior é igual a um fator φ . Para um combustível líquido esse fator é dado pela Eq. (12):

$$\varphi = 1.0401 + 0.1728 \frac{h}{c} + 0.0432 \frac{o}{c} + 0.2169 \frac{s}{c} \left(1 - 2.0628 \frac{h}{c} \right) \quad (12)$$

Na qual h , c , o , s são os percentuais em massa da análise elementar do combustível. Note que o valor desse fator será sempre maior ou igual a 1,0401. Então, a exergia química do combustível líquido é encontrada a partir da multiplicação desse fator com o poder calorífico inferior (PCI_{comb}), como segue a Eq. (13):

$$Ex_{comb} = \varphi \cdot PCI_{comb} \quad [\text{MJ/kg}] \quad (13)$$

Portanto, a exergia do combustível líquido, que será a multiplicação da vazão do combustível com a exergia química do combustível líquido, terá sempre um valor maior do que a energia do mesmo.

A energia transferida na forma de calor, tanto pelo sistema de arrefecimento quanto na radiação do motor, podem ter suas respectivas exergias calculadas de um estado determinado até o estado morto ou ambiente, de acordo com as Eq. (14) e (15):

$$Ex_{\text{água}} = Q_{\text{água}} * \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad [\text{KW}] \quad (14)$$

$$Ex_{\text{rad}} = Q_{\text{rad}} * \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad [\text{KW}] \quad (15)$$

Exergia é o potencial máximo de trabalho útil de uma determinada fonte energética, a análise exergética é desenvolvida de um ponto arbitrário até o seu estado morto, assim ao atingir a temperatura e pressão ambiente, essa fonte de energia não é mais capaz de gerar trabalho.

A Eq. (16) demonstra que a exergia pode ser composta por duas partes, a exergia termofísica e a química :

$$Ex_{total} = Ex_{term} + Ex_{quim} = \left[(h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{v^2}{2} + gz \right] + Ex_{quim} \quad (16)$$

Em que o termo em colchetes representa a contribuição termomecânica, proveniente das energias interna, de trabalho de fluxo, entalpia, cinética e potencial. Quando o fluxo apresenta a mesma composição química na substância, entre dois estados analisados, a contribuição química se cancela, e a exergia de fluxo só apresenta a diferença das contribuições termomecânica.

O principal objetivo da análise é a localização dos rejeitos térmicos, considerando os gases da combustão de um motor de compressão como sendo gases ideais e, desprezando a atuação da energia cinética e potencial, [13] apresenta como obter a exergia total dos gases, que seria o somatório da exergia termomecânica com a química. Portanto, torna-se de interesse apenas o potencial de trabalho útil da parte térmica desses gases, sendo apresentada na Eq. (17):

$$Ex_{ter} = c_p(T - T_0) - T_0 \left(c_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0} \right) \quad [\text{kJ/kg}] \quad (17)$$

A irreversibilidade do sistema apresenta a destruição de exergia e pode ser demonstrada na Eq. (18) e a eficiência exergética pela equação (19):

$$Ex_{dest} = Ex_{comb} - Ex_{\text{água}} - Ex_{\text{rad}} - Ex_{total} - Pot_{motor} \quad [\text{KW}] \quad (18)$$

$$Efi_{c_{ex}} = \left(\frac{Pot_{motor}}{Ex_{comb}} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (19)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o auxílio do algoritmo desenvolvido e do software Engineering Equation Solver (EES), onde a sua interface é apresentada na figura 2, foi possível elaborar uma simulação de um motor de compressão alimentado com uma mistura de biocombustível com qualquer proporção de diesel fóssil e biodiesel.

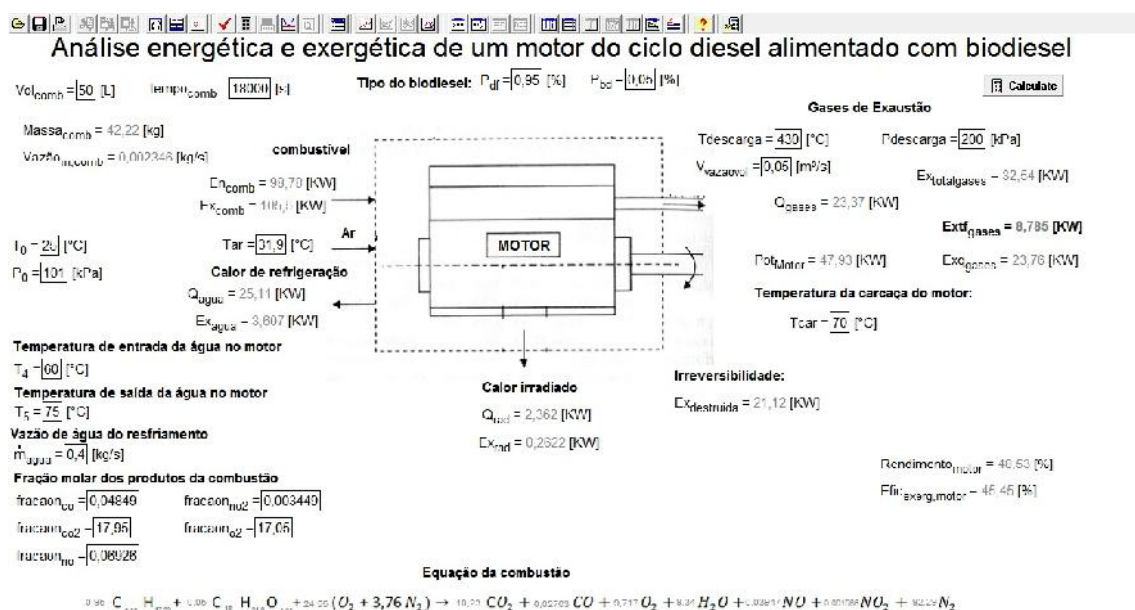


Figura 2. Interface gráfica do software Engineering Equation Solver (EES)

A simulação apresenta uma análise energética e exérgica desse sistema, onde uma das principais características é a flexibilidade do uso do combustível. O trabalho torna-se interessante devido a intensa busca por novas fontes

energéticas, que reduzam a agressão ao meio ambiente e sejam renováveis. O objetivo é alimentar a simulação com dados reais para obter a performance do motor e, assim, analisar de forma prática e instantânea qual fração de biocombustível seria mais viável ao sistema. Além de localizar os rejeitos térmicos e avaliar uma possível utilização dessa fonte de energia rejeitada para alimentar um sistema de refrigeração veicular por absorção. Os resultados da simulação ao manipular a flexibilidade do biocombustível em relação aos rejeitos térmicos e a irreversibilidade do motor são apresentados nas figuras a seguir:

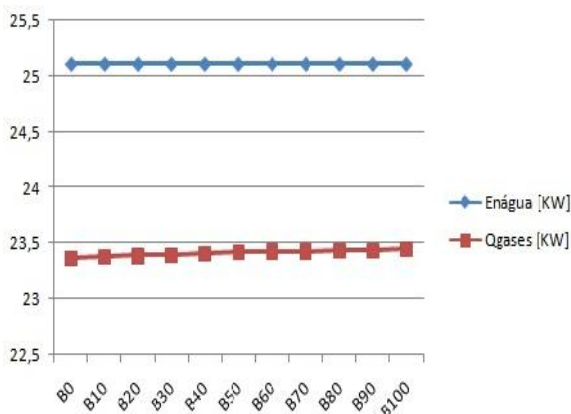


Figura 3. Composição x Rejeitos Térmicos (Energia)

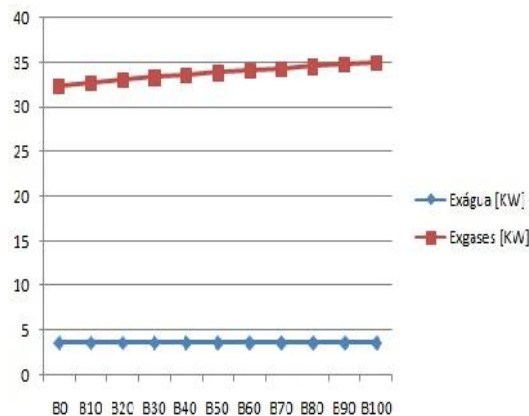


Figura 4. Composição x Rejeitos Térmicos (Exergia)

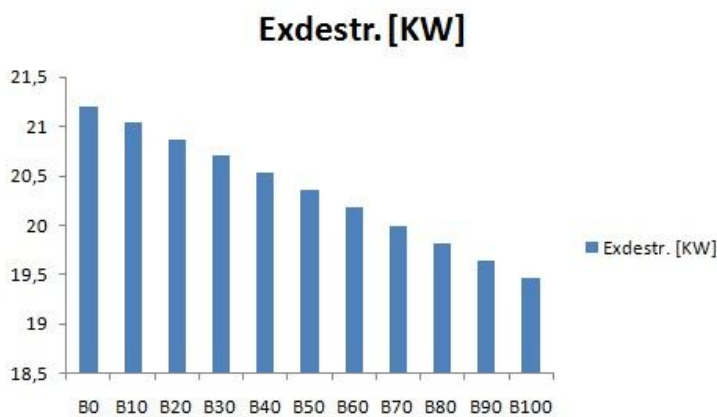


Figura 5. Composição x Irreversibilidade

As figuras 3 e 4 demonstram que tanto a energia transferida à água do sistema de arrefecimento quanto a sua exergia associada apresentam um comportamento constante em relação a alteração da composição do biocombustível utilizado no motor, devido ao fluxo de água ser determinado constante a uma dada rotação do motor. O comportamento da energia e exergia dos gases de escape é crescente em relação a diminuição do uso de diesel fóssil na composição do biocombustível.

A figura 5 apresenta ser viável a redução do uso de diesel fóssil na composição, visto que apresenta um decréscimo na irreversibilidade do motor, ou seja, nas perdas exergéticas do motor.

CONCLUSÃO

Apesar de não efetuar um levantamento de dados com a variação da rotação do motor, considera-se que a simulação apresenta importantes indicações de ser uma ferramenta eficaz na determinação do comportamento de um motor de combustão interna do ciclo diesel, alimentado com qualquer mistura de biocombustível.

A energia de alimentação do motor e as perdas, no sistema de arrefecimento, radiação e gases de escape são determinadas com certa confiabilidade.

A análise exergetica é uma importante ferramenta para avaliar as irreversibilidades do sistema, permitindo identificar os componentes com maior perda e para os quais devem ser direcionados recursos para otimização do sistema.

A simulação demonstra que a flexibilidade do uso de biocombustível na alimentação do motor, não implica em uma variação drástica dos valores de energia e exergia do sistema, permitindo tranquilamente a utilização dos fatores desperdiçados para alimentar um outro sistema. A utilização de misturas mais ricas em biodiesel se mostra uma forma de redução das irreversibilidades.

Um sistema de refrigeração por absorção depende de uma fonte de alta temperatura para propiciar a vaporização do fluido de refrigeração e sua dissociação da solução absorvente. Estudos já comprovam ser possível utilizar fontes de calor com temperaturas de 100°C a 200°C para utilização em sistemas de absorção, com COP próximo de 1 [14].

Alguns sistemas de refrigeração por absorção, como os que utilizam o par água amônia, podem trabalhar com temperaturas de evaporação inferiores a -50°C [15]. Desta forma, parte da energia que normalmente é liberada na forma de calor para o ambiente poderia ser aproveitada para a implementação de um sistema de ar condicionado veicular por absorção.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ribeiro, N.M.; Pinto, A.C.; Quintella, C.M.; Rocha, G.O.; Teixeira, L.S.G.; Guarieiro, L.L.N.; Rangel, M.C.; Veloso, M.C.C.; Rezende, M.J.C.; Cruz, R.S.; Oliveira, A.M.; Torres, E.A.; Andrade, J.B. The role of additives for diesel and diesel blended (ethanol or biodiesel). *Fuels: a review* (2007).
2. Koehler, J.; Tegehoff, W. J.; Westphalen, D.; Sonnekalb, M.; “Absorption refrigeration system for mobile applications utilizing exhaust gases”, *Heat and Mass Transfer*, 32, pp. 333-340, 1997.
3. Horuz, I., “Vapor absorption refrigeration in road transport vehicles”, *Journal of Energy Engineering*, vol. 125, no. 2, pp. 48-58, 1999.
4. Çetinkaya, M.; Ulusoy, Y.; Tekin, Y.; Karaosmanoglu, F. Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel. *Energy Conv. Manag.*, 46 (2005), 1279–1291.
5. Lapuerta, M.; Armas, O.; Rodríguez-Fernández, J. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progr. Energy Comb. Sci.*, 34 (2008), 198-223.
6. Canakci, M.; Van Gerpen, J. The performance and emissions of a Diesel engine fueled with biodiesel from yellow grease and soybean oil. *ASAE International Meeting*, (2001), 016050.
7. EPA. *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*, EPA 420-P-02-001; U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, 2002.
8. Guarieiro, L.L.N.; Souza, A.F.; Torres, E.A.; Andrade, J.B. Emission profile of 18 carbonyl compounds, CO, CO₂, and NO_x emitted by a diesel engine fuelled with diesel and ternary blends containing diesel, ethanol and biodiesel or vegetable oils. *Atm. Envir.*, 43 (2009), 2754–2761.
9. Moran J. M.; Shapiro N. H., *Princípios de Termodinâmica para Engenharia*, 6ª ed., LTC Editora S.A., São Paulo, 2009.
10. Van Wylen, G.; Sonntag, R.; “Fundamentos da Termodinâmica Clássica”, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 2008.
11. B. Tesfa, F. Gu, R. Mishra, A.D. Ball. LHV predication models and LHV effect on the performance of CI engine running with biodiesel blends, *Energy Conversion and Management*, UK, 2013.
12. ErtanAlptekin, Mustafa Canak ci. Determination of the density and the viscosities of biodiesel-diesel fuel blends, *Renewable Energy*, Turkey, 2008
13. Ferreira, V.P.; Almeida, A.G.S.; Silva, L.F.; Torres. E.A. Pepe, I.M., 2011, Evaluation of exergy and emission profile of an engine fueled diesel cycle with various fuels; *Proceedings of the VI Brazilian Congress of Applied Thermodynamics*, Salvador, Bahia, Brazil.
14. Talom, H. L.; Beyene, A.; “Heat recovery from automotive engine”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, pp. 439-444, 2009.
15. Manzela, A. A.; Hanriot, S. M.; Gomez, L. C.; Sodr , J. R.; “Using engine exhaust gas as energy source for an absorption refrigeration system”, *Applied Energy*, vol. 87, pp. 1141-1148, 2010.