

Previsão da composição de gases de saída de um automóvel empregando as equações para cálculo do equilíbrio químico reacional

Prediction of the composition of exhaust gases from a car employing the equations for chemical equilibrium calculations

M. R. FRANCO JÚNIOR^{1(*)}, K. P. RIBEIRO¹, N. R. A. F. ROCHA², W. A. PEREIRA^{2*}

¹Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia - MG, ² Universidade de Rio Verde - Rio Verde - GO. moilton@ufu.br^{1*}, nattacia@unirv.edu.br²; warley@unirv.edu.br^{2*}; karol18ribeiro@hotmail.com.¹

Resumo

Historicamente, o homem tem melhorado sua qualidade de vida e seu bem-estar transformando substâncias encontradas na natureza. Dessa forma, nos últimos 100 anos, tem-se desenvolvido e criado novas tecnologias e combustíveis através de transformações químicas e industriais que causaram mudanças significativas no meio ambiente. A produção de novos insumos depende dos processos químicos empregados e como consequência, deve estar sintonizada com os tratamentos de água e ar que, inapelavelmente, são prejudicados com o crescimento mundial. Neste sentido, aplicam-se os princípios da Química para a predição e o entendimento do lançamento de poluentes gasosos no ambiente, os quais são provenientes da queima de combustíveis em automóveis. Discute-se também a influência de aspectos relacionados ao quantitativo de ar alimentado ao motor, bem como o efeito da temperatura e pressão na concentração desses poluentes.

Palavras-chave: poluentes gasosos; equilíbrio químico; reações; temperatura; pressão.

Abstract

Historically, man has improved his quality of life and well-being by transforming substances found in nature. Thus, in the last 100 years, new technologies and fuels have been developed and created through chemical and industrial transformations that caused significant changes in the environment. The production of new inputs depends on the chemical processes employed and, as a consequence, must be in tune with the water and air treatments that are inevitably hampered by world growth. In this sense, the principles of chemistry apply to the prediction and understanding of the release of gaseous pollutants into the environment, which come from the burning of fuels in automobiles. It also discusses the influence of aspects related to the quantity of air fed to the engine, as well as the effect of temperature and pressure on the concentration of these pollutants.

Keywords: gaseous pollutants, chemical equilibrium, reactions, temperature, pressure.

Introdução

Uma das áreas da Química que mais cresce rapidamente é a Química Ambiental. Esse campo de estudo permite conhecer o efeito de agentes químicos, naturais ou artificiais que afetam a biosfera. Nesse contexto, ela vem se desenvolvendo para diminuir as ameaças ao meio ambiente tentando compreender a natureza, a magnitude dos problemas e, principalmente, visando encontrar soluções para superação desses problemas [1].

Para essa compreensão é necessário reconhecer que as ciências exatas e a tecnologia desempenham um papel muito importante na resolução dos problemas ambientais através da aplicação adequada do conhecimento e da tecnologia.

A parte da Química denominada, Química Ambiental pode ser definida como um estudo de espécies químicas ou agentes químicos que afetam a biosfera, suas origens, reações, efeitos, movimentação e destino desses agentes na água, ar e solo, bem como a influência da atividade humana sobre esses processos, ou seja, a Química Ambiental é a ciência dos fenômenos químicos no meio ambiente [1,2].

As reações químicas que ocorrem na biosfera (hidrosfera, litosfera e atmosfera) e suas interfaces, podem ser estudadas em cursos de Ciências Exatas de uma forma geral. No caso específico das reações que ocorrem na fase gasosa é adequado o estudo do conhecimento específico da Química da Atmosfera [2].

A Química da Atmosfera é entendida como conceitos relacionados à camada gasosa que envolve a Terra e é dividida em regiões diferentes, dependendo da altitude. A composição da atmosfera depende da altitude, da exposição à radiação. A Figura 1 exemplifica os principais processos físicos e químicos que ocorrem na atmosfera.

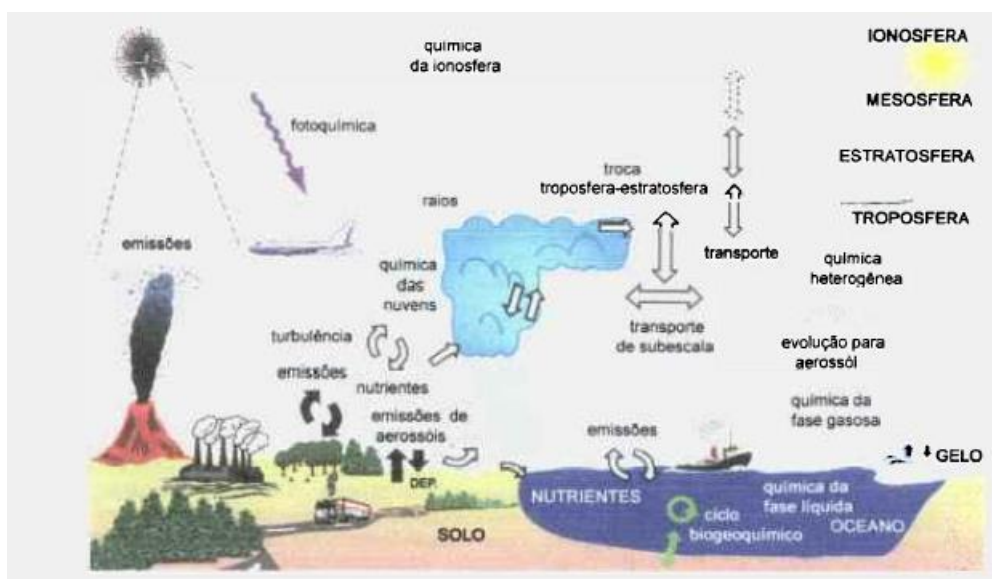


Figura 1 – Esquema dos principais processos químicos e físicos que alteram os compostos na troposfera (Figura adaptada de Wuebbles et al., 2003 [3])

É interessante iniciar a apresentação do assunto com o estudo dos gases e seus efeitos do ponto de vista da Química Ambiental, conhecendo um pouco sobre a atmosfera terrestre. Atmosfera terrestre é a denominação da camada de ar que envolve o planeta Terra. De acordo com LENZI (2009) [4] é possível distinguir três momentos distintos ao longo de sua formação, abordados a seguir.

O primeiro momento, iniciado anterior à vida, e caracterizado pelo fato da atmosfera apresentar características redutoras bem como acúmulo de nitrogênio (N_2). A água contida na superfície terrestre dá

origem aos mares e oceanos em um prelúdio ao ciclo hidrológico. Estabelecido o ciclo hidrológico, as condições suporte para o princípio da vida também foram estabelecidas.

Relaciona-se o segundo momento com o aparecimento da vida. Durante esse período 21% de ar seco da atmosfera é composto de O_2 . A formação da camada de ozônio surgiu nesta etapa, permitindo que os seres vivos de então estivessem protegidos da ação dos raios ultravioleta. Com uma significativa quantidade de oxigênio em sua constituição surgem os indivíduos chamados de aeróbios. [5]

A atmosfera atual apresenta uma mistura gasosa significativamente diversificada, porém, sendo constituída com cerca de 98% de nitrogênio e oxigênio [5]. Normalmente, engenheiros e químicos costumam expressar a quantidade traço de substâncias empregando a unidade de concentração usualmente utilizada que é o ppm. Para soluções aquosas, a unidade de ppm, refere-se a gramas de substância em um milhão de gramas de solução. Para gases as unidades, ppm ou ppmv referem-se a parte por volume em um milhão de volume do todo [1,2].

Baseando-se na lei dos gases ideais, em que o volume do gás é proporcional à quantidade de moléculas do gás, a fração de volume e a fração em quantidade de matéria são as mesmas.

Assim, 1 ppm de um constituinte em traço da atmosfera é correspondente a um mol do constituinte em um milhão de mols de gás total. Ou seja, a concentração em ppm é igual a fração em quantidade de matéria multiplicada por 106.

A atmosfera terrestre é afetada pela temperatura e pela pressão, bem como pela gravidade. As moléculas e os átomos mais leves são encontrados em altitudes maiores. A densidade do ar diminui com a altitude. A pressão atmosférica também diminui à medida que se sobe às camadas superiores da atmosfera e vai caindo significativamente seu conteúdo de oxigênio, cuja densidade é maior que a do nitrogênio. A pressão diminui de um valor médio de 760 torr ao nível do mar, para $2,3 \times 10^{-3}$ torr a 100 km e 1×10^{-6} a 200 km de altura [5].

A troposfera e estratosfera juntas, respondem por 99,9% da massa da atmosfera, com 75% da massa sendo da troposfera. Essas duas camadas destacam-se do ponto vista ambiental. Na troposfera, desenvolvem-se todos os processos climáticos importantes para a manutenção da vida na terra. Além disso, é nessa região que ocorre a maioria dos fenômenos relacionados com a poluição do ar. Na estratosfera, em razão da presença do ozônio, ocorrem importantes reações que permitem o desenvolvimento da vida em nosso planeta.

O perfil de temperatura que caracteriza a atmosfera é resultado da estratificação dos gases que se encontram presentes em cada camada, da incidência de radiação solar no planeta e da dispersão dessa radiação de volta para o espaço (BRAGA, et al.2006) [1].

Os dois componentes mais importantes da atmosfera natural na troposfera são o nitrogênio, N_2 , e o oxigênio, O_2 . É oportuno revisarem-se algumas propriedades químicas dos dois principais componentes da atmosfera. A molécula de N_2 possui ligação tripla. Essa ligação muito forte é basicamente responsável pela baixa reatividade do N_2 . A molécula de O_2 apresenta ligação dupla sendo a energia da ligação no O_2 de 495 kJ/mol, muito menor que a energia de ligação da molécula de N_2 que é de 941 kJ/mol, sendo portanto, o O_2 mais reativo que o N_2 . [2,5]

O oxigênio reage com muitas substâncias para formar óxidos. Os óxidos dos não metais como o CO_2 , SO_2 e NO_2 , formam soluções ácidas quando dissolvidos em água. Os óxidos de metais como o óxido de cálcio (CaO) formam soluções básicas quando dissolvidos em água.

O ar é considerado poluído quando ele contém uma ou mais substâncias químicas em concentrações suficientes para causar danos aos seres humanos, outros animais, vegetais ou ao patrimônio. Os poluentes são classificados em primários e secundários. Os primários são aqueles lançados diretamente no ar. Como exemplo, temos o monóxido de carbono (CO), os compostos orgânicos voláteis e particulados em suspensão como poeira e fumaça, etc.. Os secundários são aqueles poluentes formados na atmosfera a partir de substâncias lançadas no ambiente. Como exemplo, temos o ácido sulfuroso (H_2SO_3) formado pela reação entre o dióxido de enxofre (SO_2) e a água na atmosfera.

Em razão das atividades humanas o aumento da concentração atmosférica dos gases do efeito estufa (dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e clorofluorcarbono (CFC)) aumentaram

a absorção do calor emitido ou refletido pela superfície da terra diminuindo a quantidade que deveria voltar para o espaço ocasionando o aumento do efeito estufa, ou seja, da temperatura média do planeta. Segundo Baird (2002) [2], o *smog* fotoquímico, ou nevoa fotoquímica, é um fenômeno caracterizado pela presença de ozônio na troposfera em regiões urbanas com a estagnação de uma massa de ar. O *smog* é proveniente de uma série de reações químicas, tendo como principais reagentes o óxido nítrico, hidrocarbonetos emitidos, principalmente, pela queima incompleta do combustível dos motores a combustão, os compostos orgânicos voláteis, COV's, oriundos de substâncias contendo hidrocarbonetos voláteis como, combustível líquido, aerossóis e afins.

Com a presença de luz solar sobre esses compostos há um aumento da quantidade de radicais livres formados no ambiente. A Figura 2 ilustra as sucessivas reações de formação do *smog*.

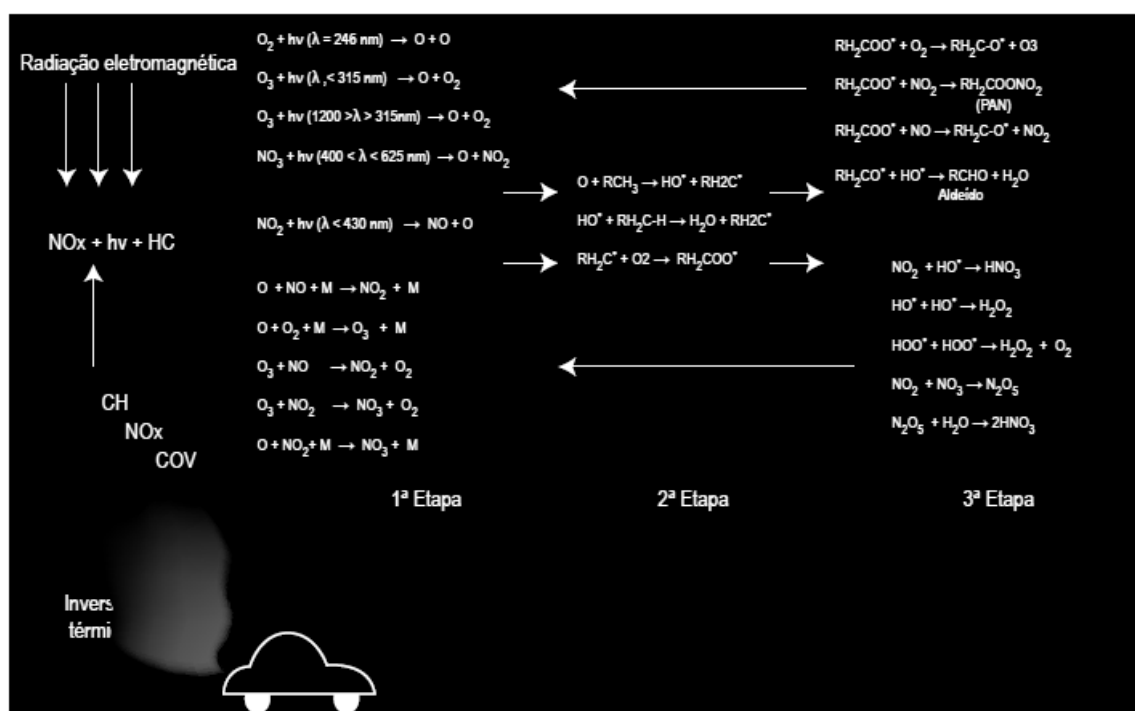
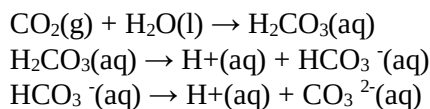


Figura 2 - As principais reações durante a formação do *smog* fotoquímico e suas etapas. **Fonte:** LENZI (2009) [3]

De acordo com LENZI (2009) [3], o *smog* fotoquímico pode apresentar efeitos físicos, químicos e biológicos. Fisicamente, o material particulado constituinte do *smog* forma aerossóis que reduz a visibilidade sendo que, para uma umidade relativa do ar inferior a 60%, essa pode ser limitada a 3 milhas. Biologicamente, todo o efeito pode ser verificado na biota animal e vegetal. Em seres humanos, o *smog* proporciona problemas à saúde bem como desconforto. O *smog* pode ainda contribuir para o surgimento ou agravamento do quadro de alergias e problemas respiratórios. As crianças e idosos são os mais afetados, sendo que em crianças as patologias adquiridas podem se tornar doenças crônicas ao decorrer de suas vidas. Podem ainda contribuir para doenças cardíacas e do cérebro.

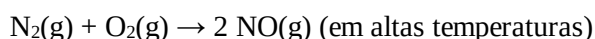
Um problema adicional causado pelo lançamento de gases na atmosfera é a chuva ácida considerada como uma das principais consequências da poluição atmosférica. A principal causa da ocorrência de chuva ácida se dá pela ação antrópica. Com a queima de carvão ou combustíveis fósseis ocorre a liberação de resíduos gasosos, como o dióxido de enxofre e de nitrogênio para a atmosfera. Esses gases sofrem reações na atmosfera dentre elas a reação com vapor de água presente na atmosfera. Como resultado há a formação das chuvas ácidas.

Vale ressaltar que a água da chuva é naturalmente ácida com pH aproximadamente igual a 5,5 devido ao dióxido de carbono (CO₂) dissolvido oriundo da atmosfera (BAIRD, 2002). As equações abaixo mostram a formação e dissociação do ácido carbônico (H₂CO₃) presente na chuva “natural”, não-poluída:

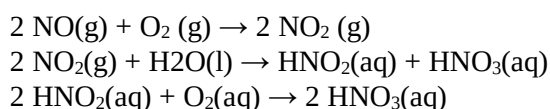


O aumento da acidez da água da chuva, pH menor que 5, ocorre principalmente quando há um aumento na concentração de óxidos de enxofre e nitrogênio na atmosfera. Estes óxidos e o dióxido de carbono são chamados de óxidos ácidos, porque em contato com a água (neste caso água de chuva) formam ácidos, que contribuem para o decréscimo do pH ou aumento da acidez da água da chuva.

O nitrogênio gasoso (N₂) e o oxigênio molecular (O₂) da atmosfera podem reagir formando o monóxido de nitrogênio (NO). É possível que o NO seja reduzido na presença de monóxido de carbono em presença de catalisadores [6]. No entanto, estas reações não são espontâneas, necessitando de muita energia para ocorrer. Por exemplo, durante a queima de combustível no motor do carro ou em fornos industriais a temperatura é muito elevada, fornecendo a energia necessária para que ocorra a formação do monóxido de nitrogênio de forma eficiente [2]:



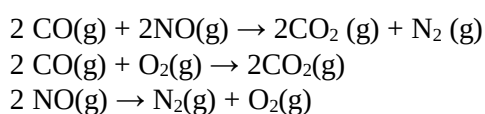
O monóxido de nitrogênio pode ser oxidado na atmosfera (que contem O₂) e formar o dióxido de nitrogênio (NO₂) que apresenta coloração marrom. Muitas vezes, o fato do céu ter um tom marrom em cidades com tantos veículos como São Paulo, se deve à formação do NO₂ na atmosfera, somado com a grande emissão de material particulado (incluindo a fuligem) que também escurece a atmosfera. O dióxido de nitrogênio pode sofrer novas reações e formar o ácido nítrico (HNO₃), que contribui para aumentar a acidez da água de chuva [2]:



Pesquisas apontam que um carro produzido em 1995 produz até 10 vezes mais NO que um carro produzido atualmente. Isto porque os carros modernos possuem um conversor catalítico que reduz muito a formação do NO. O conversor catalítico (ou catalisador) contém metais como paládio, platina e ródio, que transforma grande parte dos gases prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, em gases inertes como N₂ e CO₂. De Souza e Nunes [7] tem comentado que o estudo dos gases tem sido muito explorado nas ciências exatas brasileira.

As indústrias automobilísticas estão atentas a esse fato e vem empenhando-se em tecnologias limpas e renováveis, com pesquisas sobre combustíveis alternativos, a fim de minimizar problemas ambientais desta natureza.

Deve-se ficar claro que o CO₂ é um gás que não prejudica diretamente a saúde humana, mas colabora para aumentar o efeito estufa [5]:



De qualquer forma é importante salientar que, com ou sem catalisador, o carro continua emitindo imensas quantidades de CO_2 para a atmosfera. O catalisador tem um papel importantíssimo, mas atua de forma a minimizar apenas as emissões de CO e NO [5]. Alguns compostos como os CFC (clorofluorcarbonos) e N_2O (óxido nitroso) migram da troposfera para a estratosfera gerando, respectivamente átomos de Cl e moléculas de NO que são catalisadores importantes da destruição do ozônio estratosférico.

Baseado nessa exposição a respeito da problemática dos gases emitidos por veículos automotores pretende-se com esse trabalho realizar uma previsão da concentração dos diferentes gases emitidos por automóveis, bem como avaliar o efeito da alimentação de ar ao motor, em termos de quantidade e condição de temperatura, afim de que se possa contribuir em futuros estudos para se encontrar catalisadores que absorvam os principais poluentes de maneira a minimizar a poluição do ar ambiental causada por veículos automotores e similares.

Metodologia

A Figura 3, a seguir, apresenta um esquema com as alimentações de fluidos (combustível e ar) ao motor do carro, bem como a saída dos gases quentes, provenientes do carburador, para a atmosfera. O combustível a ser empregado poderá ser gasolina, etanol ou uma mistura de ambos [8,9]. O ar que entra pode estar nas condições ambiente, ou seja pressão (p) de 1,0 atm e temperatura (T) de 25°C , ou pode ser previamente aquecido aproveitando-se o calor do motor aquecido. As variáveis, Q_{out} e W_{out} , são o calor perdido nos gases de combustão e o trabalho ou potência produzida com a queima do combustível.

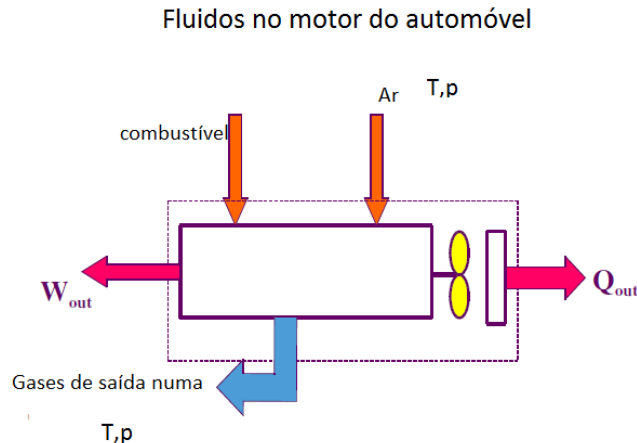
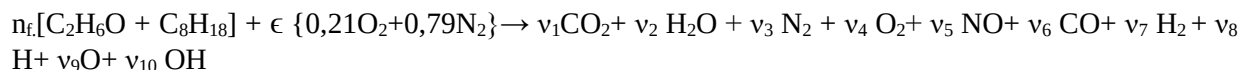


Figura 3 – Esquema das entradas e saídas de fluidos pelo motor do automóvel.

A reação de combustão desse trabalho será assim apresentada:



Sendo que n_f é o número de moles de combustível usado na queima. Uma proporção molar de ar de 79: 21 de $\text{N}_2:\text{O}_2$ é utilizada na reação sendo que a variável ϵ definirá a quantidade final de ar usada. Os gases de combustão considerados, na saída do escapamento são: dióxido de carbono, água, nitrogênio, oxigênio, óxido nitroso, monóxido de carbono, hidrogênio, H , O e OH . Os valores de v_i deverão ser definidos segundo a solução do sistema de equações que representarão o modelo que será proposto nesse trabalho.

Segundo o artigo de Gonca, 2016 [8] temos as seguintes equações reacionais, apresentadas na Tabela 1, que devem ser consideradas ocorrer, dentro do carburador, na queima de um combustível. A variável y_i representa a concentração molar do composto, ou átomo, após a queima do combustível, e que deve estar nos gases de combustão, em equilíbrio, do motor. O símbolo K é a constante de equilíbrio químico da [10] considerada e que pode ser representada, para uma reação do tipo $aA + bB \rightarrow rR$ sendo A, B e R gases ideais como sendo:

$$K = (y_A)^a \cdot (y_B)^b / (y_R)^r \cdot p^{r-a-b}$$

Tabela 1 - Reações e equações de condição de equilíbrio químico

	Reação	Equação
1	$\frac{1}{2} H_2 \rightleftharpoons H$	$K_1 = \frac{y_7}{y_6^{1/2}} p^{1/2}$
2	$\frac{1}{2} O_2 \rightleftharpoons O$	$K_2 = \frac{y_8}{y_4^{1/2}} p^{1/2}$
3	$\frac{1}{2} H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightleftharpoons OH$	$K_3 = \frac{y_9}{y_6^{1/2} y_4^{1/2}}$
4	$\frac{1}{2} N_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightleftharpoons NO$	$K_4 = \frac{y_{10}}{y_3^{1/2} y_4^{1/2}}$
5	$\frac{1}{2} O_2 + H_2 \rightleftharpoons H_2O$	$K_5 = \frac{y_2}{y_6^{1/2} y_4^{1/2}} p^{-1/2}$
6	$CO + \frac{1}{2} O_2 \rightleftharpoons CO_2$	$K_6 = \frac{y_1}{y_5^{1/2} y_4^{1/2}} p^{-1/2}$

Em adição às seis equações apresentadas na Tabela 1 deve-se acrescentar as quatro equações de balanço atômico para os elementos: C(carbono), H(hidrogênio), O(oxigênio) e N(nitrogênio). Dessa forma será fornecido o número de moles de combustível e de ar alimentados ao motor, bem como a temperatura e pressão de trabalho do referido. A solução do sistema não-linear de equações [10,11], contendo dez equações e dez incógnitas a serem determinadas, permitirá obter a composição do gás de saída.

Nesse trabalho foram empregados três valores de n_f (número de moles de combustível): 20% a menos do estequiométrico ($n_f^{20\% \text{ a menos}} = 0,056$ mol); estequiométrico ($n_f^{esteq} = 0,07$ mol); 50% a mais do estequiométrico ($n_f^{50\% \text{ a mais}} = 0,105$ mol). De acordo com a literatura é conveniente apresentar resultados de análise de gases de saída com a queima ocorrendo nas seguintes faixas de temperatura e pressão: Temperatura : T : 1000- 3000 K, Pressão : p : 1- 30 atm.

Os teores ou frações molares: y_{CO_2} , y_{CO} , y_{NO} e y_{H_2O} deverão ser avaliados de acordo com as condições termodinâmicas e de alimentação fixadas.

Resultados e discussões.

Diferentes combustíveis e suas misturas [12-14] têm sido testadas em motores de ignição por centelha com o objetivo e estudar as emissões provenientes dos mesmos. Nesse trabalho, uma mistura equimolar contendo Etanol e Gasolina será empregada como combustível. A gasolina será representada pelo Octano (C_8H_{18}) na equação reacional. Três quantidades molares distintas de ar serão usadas para a queima, sendo usados valores abaixo e acima da quantidade estequiométrica.

As Figuras 4-7 são isotermas a 1500 K e apresentam o efeito da pressão e da quantidade de ar alimentada no carburador sobre a fração molar dos componentes: CO_2 , CO, NO e H_2O , na saída do motor, após a queima. Ademais, visando avaliar o efeito do aumento da temperatura do sistema, são apresentadas as Figuras 8-11 que são isotermas a 2000 K para a mesma sequência de compostos listadas anteriormente.

No caso do CO_2 , cita-se as Figs. 4 e 8, percebe-se que a quantidade de ar influencia fortemente na composição deste componente, sendo preferível, a 1500 K, empregar ar estequiométrico (0,0075 moles) a empregar excesso de ar, o que beneficia uma queima mais completa do combustível. A pressão interna (1-30 atm) não afetou a composição de nenhum dos compostos da mistura gasosa efluente da câmara de combustão. Maiores temperaturas provocam ligeiras quedas na concentração de dióxido de carbono no gás de saída.

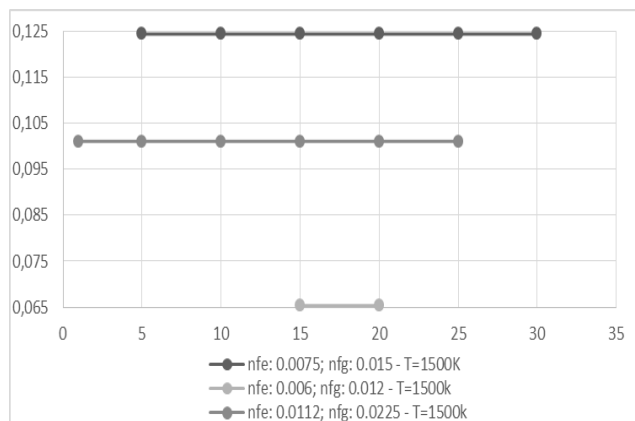


Figura 4: Variação da fração molar de CO_2 com a pressão.

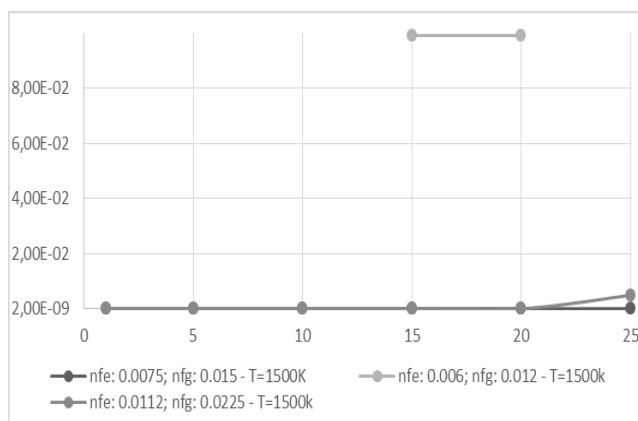


Figura 5: Variação da fração molar de CO com a pressão.

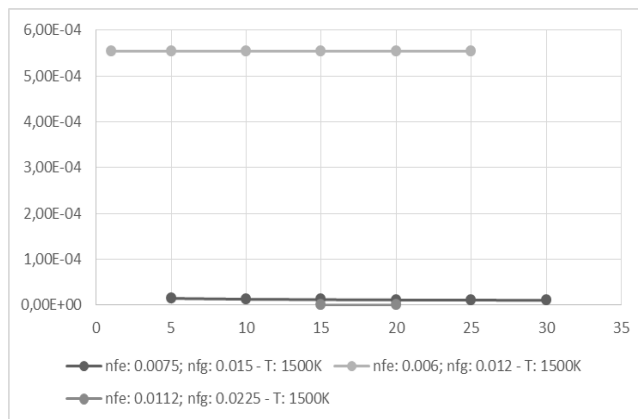


Figura 6: Variação da fração molar de NO com a pressão

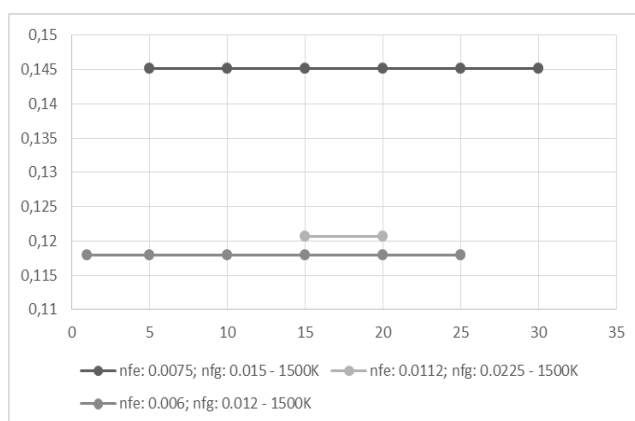


Figura 7: Variação da fração molar de H_2O com a pressão.

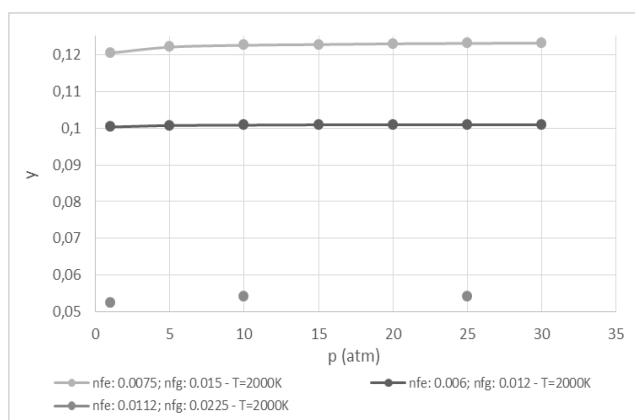


Figura 8: Variação da fração molar de CO_2 com a pressão

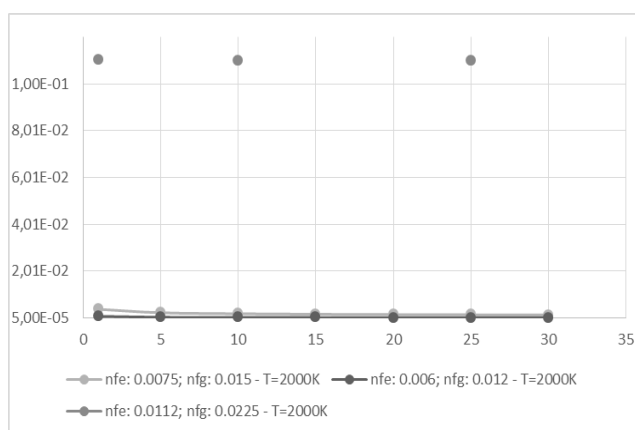


Figura 9: Variação da fração molar de CO com a pressão

A Figs. 5 e 9 ilustram que usar excesso de ar favorece substancialmente uma menor concentração de CO nos gases de saída, assim como seria esperado. A temperatura elevada é interessante condição para uma baixa produção de monóxido de carbono.

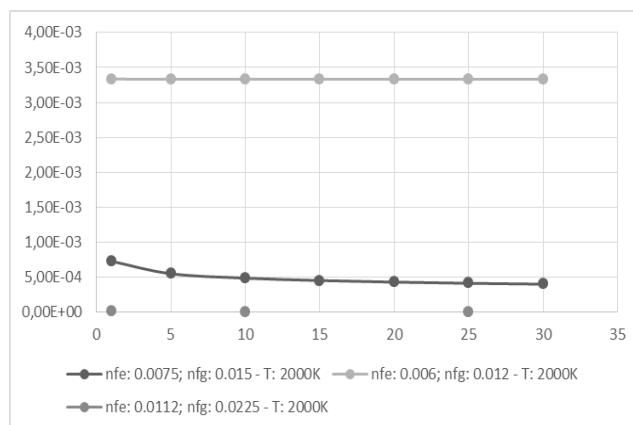
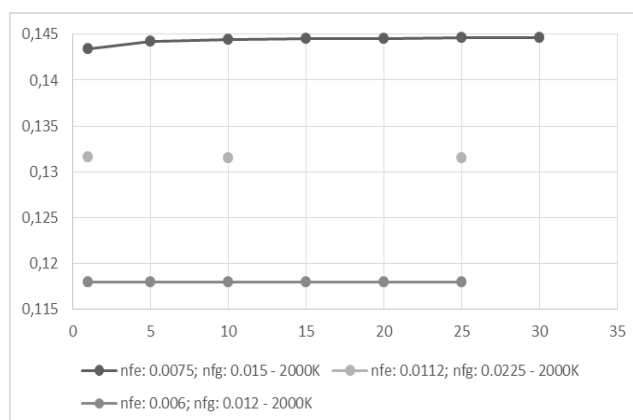


Figura10: Variação da fração molar de NO com a pressão

Da mesma forma que comentado na Introdução deste trabalho em que o óxido nitroso é formado a partir de reações químicas em regiões da atmosfera que estão em temperaturas elevadas, as Figs 6 e 10 também ilustram claramente que o motor, em altas temperaturas, favorece à reação de produção do NO, que deve ser evitada.

Figura 11: Variação da fração molar de H₂O com a pressão

Finalmente, no caso da água, as Figs. 7 e 11 mostram que nenhuma das variáveis influenciaram na composição de água na saída do motor do automóvel. O conhecimento de seu teor e seu controle é importante porque irá influenciar na formação dos ácidos altamente corrosivos do sistema metálico por onde passam os gases de combustão.

Considerações Finais

A influência da quantidade de ar alimentada ao sistema de combustão deve ser estudada e designada criteriosamente para se obter uma queima completa com aproveitamento do combustível.

Empregar temperaturas adequadas na queima do combustível pode reduzir a formação de compostos indesejáveis, tais como o óxido de nitrogênio (NO). Por outro lado, a pressão do sistema ou do carburador praticamente não influencia no resultado de equilíbrio dos componentes presentes nas possíveis reações que se passam na câmara de queima.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UniRV (Rio Verde) a concessão da bolsa de projeto chamada 02/2018 – PRPI/UniRV contrato número 11.2018.3.05.

Referências

- [1] B. Braga; I. Hespanhol; J. G. L. Conejo; J. C. Mierzwa; Barros; M. T. L. Spencer, M. Porto; N. Nucci; N. Juliano; S. Eiger. Introdução à engenharia ambiental. Pearson Prentice Hall, São Paulo. 2ª ed., p. 313, 2005. ISBN: 85-7605-041-2.
- [2] C. Baird, *Química Ambiental*, 2.ed. Porto Alegre, RS, Brasil: Bookman, 2002. p. 159-172.
- [3] D. J. Wuebbles; G. P. Brasseur; H. Rodhe, Changes in the Chemical Composition of the Atmosphere and Potential Impacts, In: Brasseur, G.P.; Prinn, R.G.; Pszenny, A.A.P. (Ed.). *Atmospheric Chemistry in a Changing World - An Integration and Synthesis of a Decade of Tropospheric Chemistry Research*. Berlin, Germany: Springer, 2003. p. 4-6, 15-16.
- [4] E. Lenzi, INTRODUCAO A QUIMICA DA ATMOSFERA. LTC. 2009.
- [5] P. Atkins; J. A. de Paula, **Física-Química**. LTC: Rio de Janeiro, v. 1, 2008. ISBN:978-85-216-1600-9.
- [6] D. G. da Silva, C. R. S. Santos. e R.V. T. de Albuquerque, Influência da ordem de adição da fase ativa no desempenho de materiais do tipo $\text{CuO-Fe}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ na redução do óxido nítrico por monóxido de carbono. *Revista Científica do Departamento de Química e Exatas*. v. 3, no. 1 (2012) 1-11.
- [7] C. de Sousa e A. O. Nunes, O estado do conhecimento: estudo dos gases no ensino de química. *Revista Científica do Departamento de Química e Exatas* . v. 10, n.1 (2019) 6-21.
- [8] G. Gonca, Investigation of the influences of steam injection on the equilibrium combustion products and thermodynamic properties of biofuels (biodiesels and alcohols). *Fuel* 144 (2015) 244–258.
- [9] C. A. Romero, Y. A. Carranza e L. A. Mejía, Effects of Ethanol-Gasoline Blends, Compression Ratio and Cylinder Head Material on Engine - **13th LACCEI Annual International Conference: "Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?"** July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic (<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.266>)
- [10] R. R. Farias, L. A. M. Cardoso, N. M. Oliveira-Neto, A Simple Model to Access Equilibrium Constants of Reactions Type $A \rightleftharpoons B$ Using Monte Carlo Simulation. *Revista Científica do Departamento de Química e Exatas*. v. 2, no. 2, (2011) 7-13.
- [11] A. Lopez-Castilho e J. C. de Souza Filho, Simulação do Equilíbrio: o Método de Monte Carlo, *Quim. Nova*, v. 30, (2007) 1759-1762.
- [12] M. E. Szymanska-Bralkowska, M. Jankow, *IMPLEMENTATION OF GREEN LEAN. International Journal of Arts & Sciences*, 5(1), (2012) 155-162.
- [13] K. Nakama, J. E. Kusaka, Y. Daisho, Effect of Ethanol on Knock in Spark Ignition Gasoline Engines. *SAE Int. J. Engines*, 1(1), (2008) 1366-1380.
- [14] S. Natarajan, K. E. Pitchandi, N. V. Mahalakshmi. Optimization of Performance and Emission Characteristics of PPCCI Engine fuelled with Ethanol and Diesel blends Using Grey-Taguchi Method. *Journal of Thermal Science* v.27, No.1 (2018) 89-94.