

Simulação computacional da queima de combustão do gás natural associado ao hidrogênio

Paulo Roberto Santana dos Reis¹, Paulo Roberto Freitas Neves², Danielle Silva Santos³, Luzia Aparecida Tofaneli⁴, Jorge Luiz dos Santos Junior⁵, Turan Dias Oliveira⁶, Alex Álisson Bandeira Santos⁷

¹Grupo de Energias Renováveis & Eficiência Energética, Departamento de Energia, Centro Universitário SENAI CIMATEC, BRASIL. Email: paulo.roberto@fieb.org.br

²Grupo de Energias Renováveis & Eficiência Energética, Departamento de Energia, Centro Universitário SENAI CIMATEC, BRASIL. Email: paulo.neves@fieb.org.br

³Grupo de Energias Renováveis & Eficiência Energética, Departamento de Energia, Centro Universitário SENAI CIMATEC, BRASIL. Email: danielle@aln.senaicimatec.edu.br

⁴Grupo de Energias Alternativas & Eficiência Energética, Departamento de Energia, Centro Universitário SENAI CIMATEC, BRASIL. Email: luzia.tofaneli@fieb.org.br

⁵Grupo de Energias Alternativas & Eficiência Energética, Departamento de Energia, Centro Universitário SENAI CIMATEC, BRASIL. Email: jorge.sj@fbter.org.br

⁶Grupo de Energias Alternativas & Eficiência Energética, Departamento de Energia, Centro Universitário SENAI CIMATEC, BRASIL. Email: turan.oliveira@fieb.org.br

⁷Grupo de Energias Alternativas & Eficiência Energética, Departamento de Energia, Centro Universitário SENAI CIMATEC, BRASIL. Email: alex.santos@fieb.org.br

Resumo

Investigadores del escenario global emprenden esfuerzos en la búsqueda de fuentes de energía menos dañinas para el mundo, siendo uno de los mayores obstáculos las consecuencias derivadas de los problemas causados por el efecto invernadero. Destaca la quema de combustibles fósiles, fuente no renovable de energía, siendo esta una de las principales emisoras de gases de efecto invernadero. En cuanto a todas las discusiones sobre elementos renovables y con potencial energéticos vistos como fuentes más limpias, se destaca como vector energético el hidrógeno (H_2). En este contexto, el presente trabajo tiene por objetivo desarrollar un modelo termodinámico por medio del software Engineering Equation Solver (EES) capaz de calcular las concentraciones de los gases de escape producidos por la combustión del gas natural mezclado con diferentes porcentajes de hidrógeno. Para el modelo propuesto se aplicarán las ecuaciones de balance de masa y energía según los principios de la Ley de la Termodinámica. El modelo fue evaluado mediante la comparación de los resultados del simulador (modelo termodinámico) con los resultados de ensayos experimentales realizados en banco de combustión para diferentes condiciones operativas. El modelo termodinámico desarrollado presentó una precisión moderada, con errores absolutos medios de 3,61% para O_2 y 3,97% para CO_2 , y desviaciones estándar de 2,72% y 2,24%, respectivamente. Aunque el modelo proporciona una aproximación razonable, su fiabilidad varía y se recomiendan validaciones adicionales para nuevas condiciones operativas. El modelo puede ser una herramienta útil para evaluaciones preliminares, pero debe ser complementado por datos experimentales adicionales para garantizar decisiones precisas.

Palabras clave: hidrógeno; gas natural; combustión; eficiencia energética.

Abstract

Researchers on the global stage are undertaking efforts in the search for energy sources that are less harmful to the world, with one of the greatest challenges being the consequences of issues caused by the greenhouse effect. The burning of fossil fuels, a non-renewable energy source, stands out as one of the main emitters of greenhouse gases. Among all the discussions about renewable elements with energy potential seen as cleaner sources, hydrogen (H_2) is highlighted as an energy vector. In this context, the present work aims to develop a thermodynamic model using the Engineering Equation Solver (EES) software, capable of calculating the concentrations of exhaust gases produced by the combustion of natural gas mixed with different percentages of hydrogen. For the proposed model, mass and energy balance equations will be applied according to the principles of the Law of Thermodynamics. The model was evaluated by comparing the simulator's results (thermodynamic model) with experimental test results conducted in a combustion bench under different operating conditions. The developed thermodynamic model showed moderate accuracy, with mean absolute errors of 3.61% for O_2 and 3.97% for CO_2 , and standard

deviations of 2.72% and 2.24%, respectively. Although the model provides a reasonable approximation, its reliability varies, and additional validations are recommended for new operating conditions. The model can be a useful tool for preliminary assessments but should be complemented by additional experimental data to ensure accurate decisions.

Keywords: hydrogen; natural gas; combustion; energy efficiency.

1. Introdução

No contexto atual de intensificação dos efeitos climáticos, como os recentes no estado do Rio Grande do Sul, no Brasil, surge a necessidade de desenvolver novos vetores energéticos. O hidrogênio destaca-se como um elemento promissor, capaz de transformar o atual mecanismo de utilização de fontes energéticas. Equipamentos como queimadores industriais, fundamentais no processo de combustão, estão sob investigação devido ao seu impacto significativo nas emissões de poluentes [1]. Com sua capacidade de armazenar e transportar energia sem liberar gases de efeito estufa, o hidrogênio é considerado um importante impulsionador para a descarbonização dos sistemas de energia [2]. No entanto, estudos relatam que a mistura do hidrogênio com metano, principal componente do gás natural, impacta na estabilidade da chama, na morfologia e nas emissões de poluentes [3]. Diante do exposto, e considerando a busca por atender demandas globais de utilização cada vez maior de fontes energéticas limpas que nasce a necessidade de desenvolvimento de queimadores mais eficientes ambientalmente.

O estudo da combustão do hidrogênio associado ao gás natural baseia-se em pesquisas anteriores que demonstram a importância desse tema. Swaminathan et al. (2024) aplicaram um estudo numérico da emissão de NO_x com o incremento do hidrogênio no combustível. Verificaram que o comportamento

qualitativo da chama com uma mistura de até 40% de hidrogênio não se altera. No entanto, ao avaliar quantitativamente a combustão para uma mistura de 50% observou-se uma diminuição em 76,8% na formação de CO e um aumento de 41,8% na emissão de NO. Há estudos sobre a mistura do hidrogênio ao metano, um dos principais componentes do gás natural. Xiao et al. (2024) investigaram numericamente as características da combustão do metano/hidrogênio em uma chama não pré-misturada. O estudo foi aplicado para diferentes concentrações de hidrogênio e razões de equivalência. Os resultados demonstram que quanto maior a razão de equivalência maior será a temperatura de chama. Além disso, há uma diminuição da emissão de CO_2 e um aumento da emissão de NO com o aumento da proporção de hidrogênio na mistura. Por outro lado, Pereira et al. (2019) realizaram uma avaliação experimental das taxas de emissão de CO, NO_x , formaldeído e acetaldeído em chamas confinadas de gás natural por meio de uma câmara de combustão com OEC sob excitação acústica, observando reduções nas emissões de CO e NO_x .

Em contrapartida simulações computacionais emergem como uma aplicação tecnológica que pode auxiliar na tomada de decisão, no entendimento de problemas físicos complexos e na integração de inúmeros modelos matemáticos capazes de apresentar resultados satisfatórios. Em relação aos modelos matemáticos na qual são utilizados para representar sistemas do mundo real por meio da matemática, a

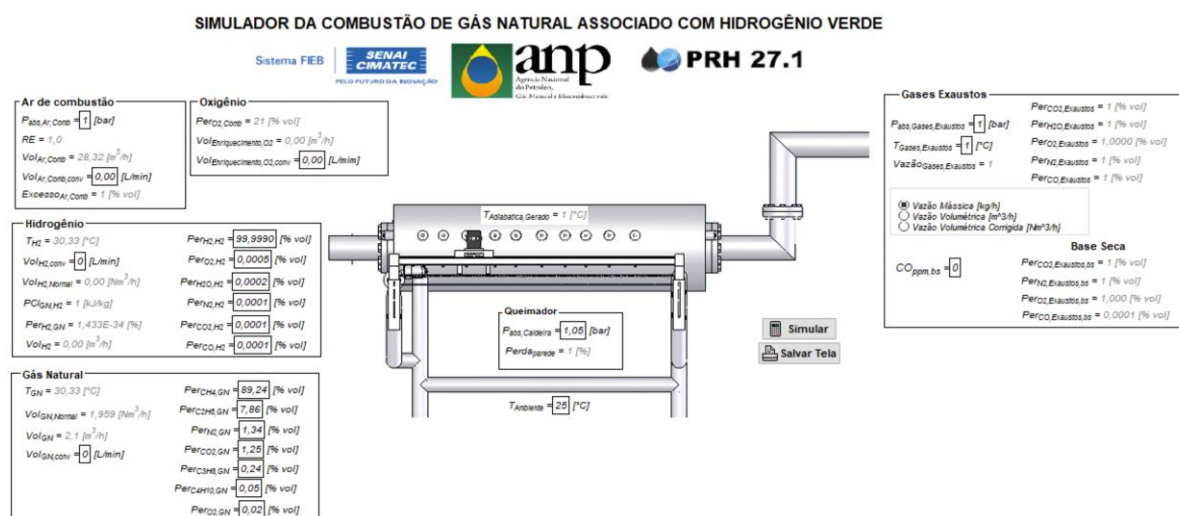


Figura 1. Layout do simulador do processo de combustão do gás natural associado ao hidrogênio. Fonte: Elaboração própria.

termodinâmica é uma importante área da física e é amplamente utilizada pelos engenheiros, principalmente quando se estuda o calor, energia e trabalho.

O presente estudo utiliza o *software* EES, a fim de implementar a simulação da combustão como ferramenta para prever e mensurar os gases de exaustão produzidos durante a queima da mistura de combustíveis. Para o modelo proposto, foram aplicadas as equações de balanço de massa e de energia segundo os princípios da Lei da Termodinâmica. A partir da ferramenta implementada no EES, foram realizados ensaios experimentais através de um dispositivo experimental, que consiste em uma câmara de combustão horizontal, onde foi utilizada como combustível uma mistura de 20, 30 e 50% de gás natural e hidrogênio em volume, em diferentes condições operacionais, para validação da ferramenta.

2. Metodologia

2.1. Modelo Matemático

No modelo matemático desenvolvido foi implementado no *software Engineering Equation Solver* (EES) versão acadêmica V11.7.18. O *layout* do modelo é apresentado na Figura 1. Esse software possibilita implementar cálculos iterativos com atualização das propriedades termodinâmicas a partir das condições operacionais das substâncias analisadas. Inicialmente, buscou-se dados de temperatura, pressão e composição para cálculo das propriedades de cada composto presente na reação de combustão. Posteriormente, foram inseridos dados de temperatura dos gases exaustos, concentrações de monóxido de carbono (CO) nos exaustos (Tabela 3) e vazões volumétricas dos combustíveis (GN e H₂) e dos comburentes (Ar e O₂) para diferentes condições experimentadas, conforme apresentado na Tabela 2.

Neste modelo encontram-se as reações estequiométricas do metano, do etano, do propano e do

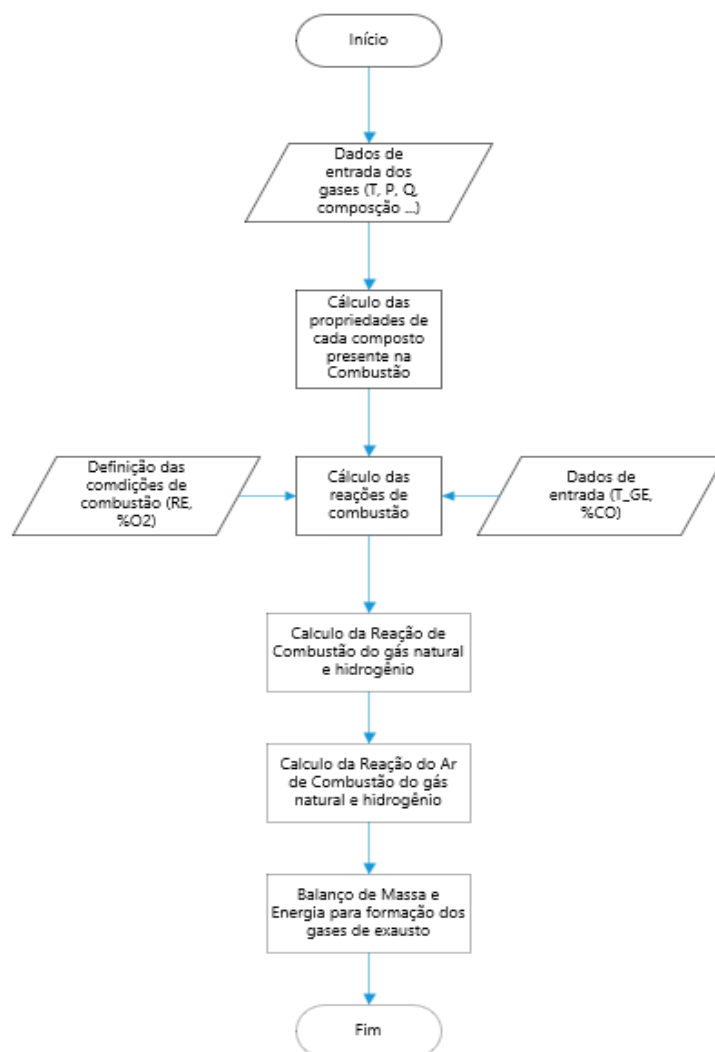
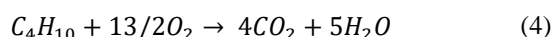
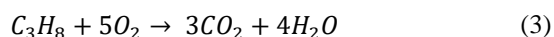
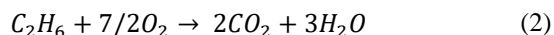
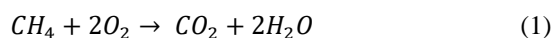


Figura 2. Diagrama de blocos do modelo matemático implementado no EES.

butano, juntamente com as vazões mássicas dos produtos de combustão. As reações estequiométricas foram as seguintes:



De forma semelhante, desenvolve-se a modelagem da combustão do hidrogênio. A reação estequiométrica utilizada foi a seguinte:



Para realizar as reações fora da estequiometria, foi necessário inserir concentração de CO presente nos gases exaustos, pois, para que fosse possível a formação desse composto, a reação química não foi completa, ou seja, estava fora da estequiometria. Além disso, foi realizado também, o cálculo da reação do ar de combustão. Isso ocorreu tanto com a presença de gás natural, como também com a presença de hidrogênio. Por fim, foram realizados balanços de massa e energia para cada composto presente nos gases de exausto. Na forma de diagrama de blocos, todas as etapas do modelo matemático podem ser visualizadas na Figura 2.

Para validação do modelo termodinâmico, foram utilizados dados de ensaios experimentais para realizar comparações entre os resultados e posteriores análises. A seguir, são apresentadas algumas informações referentes aos ensaios experimentais, assim como seus resultados.

Os ensaios experimentais de combustão de misturas de gás natural e hidrogênio em razões de equivalência (RE) estequiométricas e com excesso de ar, com e sem enriquecimento de oxigênio, foram realizados. Na Tabela 1, são apresentadas as siglas utilizadas para identificação das condições experimentadas e suas respectivas descrições.

Tabela 1. Descrição das condições de razão de equivalência e enriquecimento de oxigênio experimentadas.

Código	Condição	Descrição
1	RE0.7_21O2	Razão de equivalência 0.7 (30% de excesso de ar) e 21% de Oxigênio.
2	RE0.7_30O2	Razão de equivalência 0.7 (30% de excesso de ar) e 30% de Oxigênio.

3	RE1.0_21O2	Razão de equivalência 0.7 (estequiometria) e 21% de Oxigênio.
4	RE1.0_30O2	Razão de equivalência 0.7 (estequiometria) e 30% de Oxigênio.

Na Tabela 2, são apresentados os valores das vazões dos gases para cada uma das condições experimentadas.

Tabela 2. Vazões as condições experimentadas.

H ₂ [% v ol]	RE	O ₂ [% v ol]	GN [L/mi n]	H ₂ [L/mi n]	Ar [L/mi n]	O ₂ [L/ min]
0	0,7	21	35,0	0,0	471,9	0,0
		30			398,4	51,2
	1,0	21			363,0	0,0
		30			317,9	40,9
20	0,7	21	28,0	7,0	400,3	0,0
		30			337,9	43,4
	1,0	21			307,9	0,0
		30			269,6	34,7
30	0,7	21	24,5	10,5	364,5	0,0
		30			307,7	39,6
	1,0	21			280,4	0,0
		30			245,5	31,6
50	0,7	21	17,5	17,5	292,8	0,0
		30			247,2	31,8
	1,0	21			225,2	0,0
		30			197,2	25,4

Na Tabela 3, são apresentados os resultados de temperaturas e concentrações dos gases de exaustão que serão utilizados para avaliação do modelo termodinâmico.

Tabela 3. Temperaturas e concentrações dos compostos presentes nos gases de exaustão.

Condição	H ₂ [% vo l]	O ₂ [% vo l]	CO ₂ [% vo l]	CO [ppm]	Tem p [°C]
RE0.7_21 O2	0	11,3 7	5,47	56,0 0	409, 67
RE0.7_30 O2		16,0 7	2,80	8,33	479, 00
RE1.0_21 O2		7,13	7,97	101, 67	520, 33
RE1.0_30 O2		14,8 3	3,50	14,6 7	556, 33
RE0.7_21 O2	20	9,03	6,87	1,33	609, 00
RE0.7_30 O2		16,4 7	2,53	0,00	537, 33

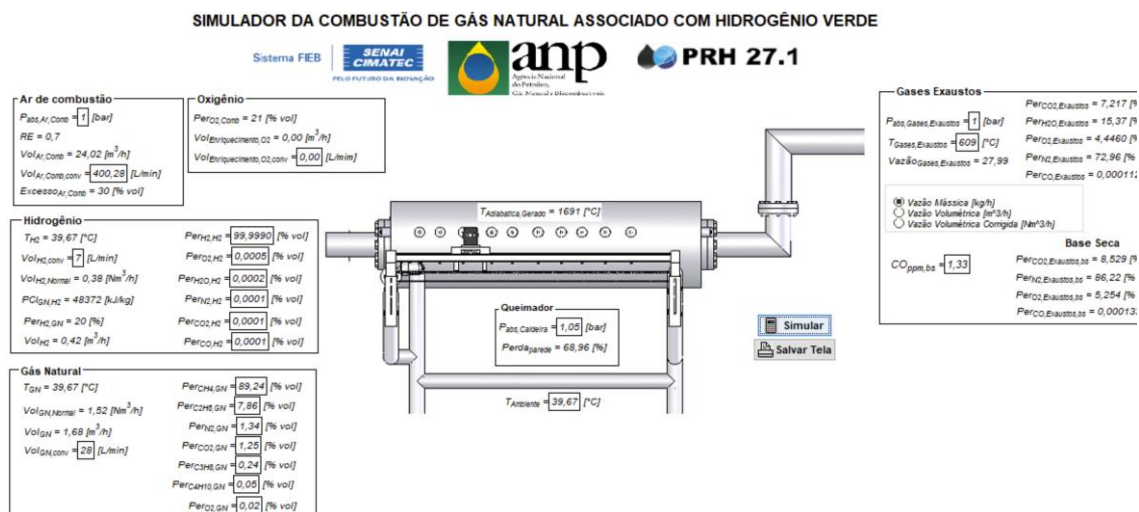


Figura 3. Layout do simulador do processo de combustão do gás natural associado ao hidrogênio para a condição RE0.7_21O2 com 20% de hidrogênio. Fonte: Elaboração própria.

RE1.0_21 O2		8,00	7,43	2,00	588, 67
RE1.0_30 O2		13,7 0	4,10	0,00	521, 33
RE0.7_21 O2	30	6,40	8,30	8,00	509, 30
RE0.7_30 O2		13,8 0	4,10	17,0 0	541, 30
RE1.0_21 O2		5,00	9,20	4,70	547, 00
RE1.0_30 O2	50	8,73	7,07	0,00	398, 00
RE0.7_21 O2		6,90	8,00	0,30	559, 70
RE0.7_30 O2		13,3 3	4,37	0,67	489, 00
RE1.0_21 O2		8,40	7,20	1,00	559, 30
RE1.0_30 O2		11,5 0	5,40	1,00	538, 67

3. Resultados

Após realizadas as simulações para cada uma das condições experimentadas, os valores de concentração de oxigênio (O₂) e dióxido de carbono (CO₂) foram compilados e são apresentados na Tabela 4 e a Figura 3 apresenta um dos resultados encontrados.

Tabela 4. Resultados do modelo termodinâmico com as concentrações de O₂ e CO₂ nos gases exaustos.

Condição	H ₂ [% vol]	O ₂ [% vol]	CO ₂ [% vol]
RE0.7_21O2	0	5,23	8,99
RE0.7_30O2		14,13	9,48
RE1.0_21O2		0,01	11,98
RE1.0_30O2		9,70	12,16
RE0.7_21O2	20	5,25	8,53
RE0.7_30O2		14,21	9,00
RE1.0_21O2		0,00	11,39
RE1.0_30O2		9,76	11,55
RE0.7_21O2	30	5,27	8,22
RE0.7_30O2		14,26	8,67
RE1.0_21O2		0,00	10,99
RE1.0_30O2		9,81	11,15
RE0.7_21O2	50	5,32	7,28
RE0.7_30O2		14,40	7,79
RE1.0_21O2		0,00	9,90
RE1.0_30O2		9,93	10,04

Para realizar a análise comparativa entre os resultados experimentais e os resultados do modelo termodinâmico das concentrações de O₂ e CO₂, foram calculados os erros absolutos e os desvios padrão para cada condição. Esses cálculos nos permitiram avaliar a precisão e a confiabilidade do modelo termodinâmico em relação aos dados experimentais.

Concentração de O₂:

Na Tabela 5, são apresentados os erros absolutos da comparação realizada entre os resultados de concentração de oxigênio presente nos gases exaustos dos ensaios experimentais (O₂ Exp.) e das simulações do modelo termodinâmico (O₂ Simul.).

Tabela 5. Erros absolutos para as concentrações de O₂.

Condição	H ₂ [% vol]	O ₂ Exp. [% vol]	O ₂ Simul. [% vol]	Erro Absolut o [% vol]
RE0.7_21O 2	0	11,37	5,23	6,14
RE0.7_30O 2		16,07	14,13	1,94
RE1.0_21O 2		7,13	0,01	7,12
RE1.0_30O 2		14,83	9,70	5,13
RE0.7_21O 2	20	9,03	5,25	3,78
RE0.7_30O 2		16,47	14,21	2,26
RE1.0_21O 2		8,00	0,00	8,00
RE1.0_30O 2		13,70	9,76	3,94
RE0.7_21O 2	30	6,40	5,27	1,13
RE0.7_30O 2		13,80	14,26	0,46
RE1.0_21O 2		5,00	0,00	5,00
RE1.0_30O 2		8,73	9,81	1,08
RE0.7_21O 2	50	6,90	5,32	1,58
RE0.7_30O 2		13,33	14,40	1,07
RE1.0_21O 2		8,40	0,00	8,40
RE1.0_30O 2		11,50	9,93	1,57

Concentração de CO₂:

Na tabela 6, são apresentados os erros absolutos da comparação realizada entre os resultados de concentração de dióxido de carbono presente nos gases exaustos dos ensaios experimentais (CO₂ Exp.) e das simulações do modelo termodinâmico (CO₂ Simul.).

Tabela 6. Erros absolutos para as concentrações de CO₂.

Condição	H ₂ [% vol]	CO ₂ Exp. [% vol]	CO ₂ Simul. [% vol]	Erro Absolut o [% vol]
RE0.7_21O 2	0	5,47	8,99	3,52
RE0.7_30O 2		2,80	9,48	6,68
RE1.0_21O 2		7,97	11,98	4,01
RE1.0_30O 2		3,50	12,16	8,66
RE0.7_21O 2	20	6,87	8,53	1,66
RE0.7_30O 2		2,53	9,00	6,47
RE1.0_21O 2		7,43	11,39	3,96
RE1.0_30O 2		4,10	11,55	7,45
RE0.7_21O 2	30	8,30	8,22	0,08
RE0.7_30O 2		4,10	8,67	4,57
RE1.0_21O 2		9,20	10,99	1,79
RE1.0_30O 2		7,07	11,15	4,08
RE0.7_21O 2	50	8,00	7,28	0,72
RE0.7_30O 2		4,37	7,79	3,42
RE1.0_21O 2		7,20	9,90	2,70
RE1.0_30O 2		5,40	10,04	4,64

O desvio padrão calculado para os erros absolutos das concentrações de O₂ foi de 2,72% e para os erros absolutos das concentrações de CO₂ foi de 2,24%.

Uma análise detalhada do modelo é apresentada abaixo:

- **Precisão do Modelo:** Os erros absolutos médios para O₂ e CO₂ foram 3,61% e 3,97%, respectivamente. O desvio padrão dos erros foi 2,72% para O₂ e 2,24% para CO₂. Isso indica que o modelo tem uma precisão moderada, mas pode apresentar discrepâncias significativas em algumas condições.

- **Confiabilidade do Modelo:** Embora o modelo apresente alguns desvios em relação aos dados experimentais, ele é capaz de fornecer uma aproximação razoável das concentrações de O₂ e CO₂.

para as misturas de gás natural e hidrogênio analisadas. Para usos práticos, o modelo pode ser uma ferramenta útil, mas é importante considerar as margens de erro e realizar calibrações adicionais se necessário.

- **Aplicabilidade para novas condições:** Dada a variabilidade nos erros observados, recomenda-se cautela ao utilizar o modelo para novas condições. É aconselhável validar o modelo com dados experimentais adicionais para diferentes misturas e condições operacionais antes de sua aplicação em novos cenários.

- **Confiança nos Dados:** O modelo pode ser utilizado para avaliações preliminares, mas não deve ser o único método de análise para decisões críticas. A comparação contínua com dados experimentais e ajustes no modelo são necessários para melhorar sua confiabilidade e precisão.

Essa análise detalhada sugere que o modelo termodinâmico desenvolvido é uma ferramenta valiosa, mas ainda precisa de ajustes e validações contínuas para se tornar mais robusto e confiável em diferentes condições operacionais.

4. Conclusões

Neste trabalho, foi desenvolvido um modelo termodinâmico utilizando o *software Engineering Equation Solver* (EES) para calcular as concentrações dos gases de exaustão produzidos pela combustão do gás natural misturado com diferentes porcentagens de hidrogênio. O modelo foi avaliado por meio da comparação dos resultados simulados com dados experimentais coletados em uma bancada de combustão. A análise revelou que o modelo apresenta uma precisão moderada, com erros absolutos médios de 3,61% para O_2 e 3,97% para CO_2 , e desvios padrão de 2,72% e 2,24%, respectivamente. Embora o modelo forneça uma aproximação razoável, sua confiabilidade varia, e recomenda-se validações adicionais para novas condições operacionais. O modelo pode ser uma ferramenta útil para avaliações preliminares, mas deve ser complementado por dados experimentais adicionais para garantir decisões precisas. Abaixo são apresentados alguns insights com base nos estudos realizados neste trabalho.

- A precisão do modelo foi avaliada e, apesar de ser moderada, demonstrou potencial para fornecer uma aproximação inicial das concentrações dos gases de exaustão.

- O modelo pode ser utilizado como uma ferramenta preliminar para estudos de combustão de gás natural misturado com hidrogênio, oferecendo uma base para estudos mais aprofundados e detalhados.

- Para garantir a confiabilidade e precisão em diferentes condições operacionais, é imprescindível a realização de validações adicionais com novos dados experimentais.

- A aplicação das equações de balanço de massa e energia segundo os princípios da Lei da Termodinâmica foi eficaz na construção do modelo, destacando a importância do uso rigoroso dos princípios termodinâmicos.

- O modelo enfrenta desafios relacionados à variabilidade das condições operacionais e à necessidade de dados experimentais complementares para aprimorar sua precisão e confiabilidade.

Em suma, o desenvolvimento do modelo termodinâmico é um passo importante na análise das emissões de gases de exaustão na combustão de misturas de gás natural e hidrogênio, contribuindo para a compreensão dos impactos ambientais e ajudando na busca por soluções energéticas mais limpas e eficientes.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro proporcionado pelo Departamento Nacional do SENAI– Brasil, pelo SENAI CIMATEC, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da agência reguladora do setor de petróleo, gás e biocombustíveis no Brasil (ANP) e ao Programa de Recursos Humanos da ANP (PRH).

6. Referências

- [1] S. Maspanov, I. Bogov, V. Suhanov, V. Shashikhin, A. Denisov, Y. Smirnov, Y. Lypar, B. Sidel'nikov, B. Korotkov, T. Akhmetov. "The fuel burning intensification in the swirl burner using air ionization on the power-generating heat-and-power plant". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (2019).
- [2] S. Richard, B. Julian, N. Hannah, K. Christoph, L. Benjamin, H. Michael, H. Anne. "Implications of hydrogen import prices for the German energy system in a model-comparison experiment". *International Journal Of Hydrogen Energy*, vol. 63, pp. 566-579, 2024. [en línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.03.210>.
- [3] X. Juan, L. Qiaomai, H. Song, W. Simin, Z. Zaoxiao. "Numerical simulation on combustion characteristics of methane/hydrogen blended fuel for non-premixed conical bluff body burner". *International Journal Of Hydrogen Energy*, vol 65, pp. 50-60, 2024. [en línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.03.377>.

[4] S. Swaminathan, C. Spijker, Z. Raonic, M. Koller, I. Kofler, H. Raupenstrauch. “Numerical study of an industrial burner to optimise NO_x emissions and to evaluate the feasibility of hydrogen-enriched fuel”. *International Journal Of Hydrogen Energy*, vol. 49, pp. 1210-1220, 2024. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.328>.

[5] J. Xiao, Q. Liu, S. He, S. Wang, Z. Zhang. “Numerical simulation on combustion characteristics of methane/hydrogen blended fuel for non-premixed conical bluff body burner”. *International Journal Of Hydrogen Energy*, vol. 65, pp. 50-60, 2024. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.03.377>.

[6] A. R. B. Pereira, A. A. B. Santos, L. L. N. Guarieiro, J. B. H. Cavalcante, J. P. dos Anjos. “Experimental evaluation of CO, NO_x, formaldehyde and acetaldehyde emission rates in a combustion chamber with OEC under acoustic excitation”. *Energy Reports*, vol. 5, pp.1163–1171, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.08.010>

[7] A. A. B. Santos. “Investigação do uso da combustão enriquecida com O₂ em chamas confinadas de gás natural” [thesis], Salvador (BA): Federal University of Bahia, Portuguese, 2010.