INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA






Estudo da combustão num motor de combustão interna

SIMÃO PEDRO COSTA MONTEIRO
setembro de 2025

POLITÉCNICO
DO PORTO

ISEP INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Estudo da combustão num motor de combustão interna

Simão Pedro da Costa Monteiro

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Área de Especialização em Energia

Orientador: Leonardo José da Silva Ribeiro
Júri:
Presidente:
Rui Filipe Neves de Araújo Rego, Professor Adjunto, ISEP
Vogais:
Leonardo José da Silva Ribeiro, Professor Adjunto, ISEP
Adélio Cavadas, Professor Adjunto, ESTG

Porto, setembro 2025

Agradecimentos

A concretização deste trabalho de tese não teria sido possível sem o contributo, apoio e incentivo de diversas pessoas e instituições, às quais expresso o meu mais profundo agradecimento.

Para começar, agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Leonardo Ribeiro, por todo o acompanhamento e disponibilidade demonstrada. Sou grato por toda a partilha de conhecimento e experiência, sempre marcada pelo rigor científico. O seu acompanhamento atento foi determinante para a qualidade e conclusão deste trabalho.

Agradeço de igual forma a todos os meus colegas e amigos. A motivação e apoio recebidos, quer de natureza científica e técnica, quer de caráter emocional, foram fatores determinantes para a realização desta tese. Sem todos vós, este trabalho não teria sido possível.

Aos meus pais Pedro e Elisabete e à minha irmã Mariana, expresso um especial agradecimento. Pelos valores transmitidos ao longo de toda a minha vida, pelo apoio incondicional, pela compreensão e paciência e por todo o incentivo demostrado ao longo de todo o meu percurso académico. Foram sem dúvida a minha maior fonte de inspiração e, por isso, sinto-me profundamente grato.

Por fim, agradeço a todas as pessoas e entidades que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta tese.

A todos, o meu sincero obrigado.

Resumo

O mundo hodierno enfrenta desafios urgentes, entre os quais se destaca a dependência energética associada a elevadas emissões poluentes. O setor dos transportes, particularmente resistente à transição energética, é um dos mais críticos. Neste contexto, este trabalho investiga o uso de misturas de combustível com diferentes proporções, em volume, de metano e hidrogénio em motores que operam segundo os ciclos teóricos de Otto e Atkinson. Foram analisadas as emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) e monóxido de azoto (NO) em função de diferentes razões de compressão (Otto) e de expansão (Atkinson), considerando variações na composição do combustível e na quantidade de ar admitida. A modelação teórica baseou-se no cálculo do equilíbrio químico via folha de cálculo em *Excel*, para compreensão do processo de combustão, complementada por simulações de cinética química realizadas através de uma rotina de cálculo escrita em linguagem *Python*, permitindo acompanhar a formação e destruição de poluentes durante a expansão. A formação de NO foi estimada pelo método de Zeldovich. Os resultados indicam que temperaturas e pressões mais baixas reduzem as emissões. Combustíveis com menor poder calorífico produzem menos poluentes. Maior teor de metano aumenta as concentrações de CO, CO_2 e NO, devido ao incremento energético e disponibilidade do carbono para reação. O aumento de ar admitido reduz a temperatura e a formação de CO em detrimento do CO_2. Com a diminuição da quantidade de ar verifica-se o inverso. Elevadas quantidades de ar promovem menor temperatura e conseguinte menor formação de NO após a combustão, mas no fim da expansão, devido à maior presença de oxigénio, são as misturas com maior excesso de ar que apresentam maior concentração de NO. As razões de compressão e expansão influenciam apenas as concentrações na medida em que afetam o volume da câmara de combustão, sem alterar as quantidades molares totais.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrogénio, Metano, Equilíbrio Químico, Cinética Química, Zeldovich, Runge-Kutta

Abstract

The contemporary world faces urgent challenges, among which energy dependence associated with high pollutant emissions stands out. The transport sector, particularly resistant to energy transition, is one of the most critical. In this context, the present work investigates the use of fuel mixtures with different volumetric proportions of methane and hydrogen in engines operating according to the theoretical Otto and Atkinson cycles. Emissions of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO_2), and nitric oxide (NO) were analysed as a function of different compression ratios (Otto) and expansion ratios (Atkinson), considering variations in fuel composition and the amount of intake air. The theoretical modelling was based on chemical equilibrium calculations performed in an *Excel* spreadsheet to understand the combustion process, complemented by chemical kinetics simulations carried out using a computational routine written in *Python*, allowing the monitoring of pollutant formation and destruction during expansion. The formation of NO was estimated using the Zeldovich mechanism. The results indicate that lower temperatures and pressures reduce emissions. Fuels with lower calorific value produce fewer pollutants. A higher methane content increases CO, CO_2, and NO concentrations due to the energy increment and greater availability of carbon for reaction. An increase in intake air reduces temperature and CO formation in favour of CO_2. Conversely, a reduction in intake air leads to the opposite effect. High amounts of intake air result in lower post-combustion temperatures and consequently lower NO formation, however, at the end of the expansion, due to the greater availability of oxygen, mixtures with higher excess air present higher NO concentrations. Compression and expansion ratios influence concentrations only insofar as they affect the combustion chamber volume, without altering the total molar quantities.

KEYWORDS: Hydrogen, Methane, Chemical Equilibrium, Chemical Kinetics, Zeldovich, Runge-Kutta

Índice

Índice Figuras **x**

Índice de Tabelas **xi**

Acrónimos e Símbolos **xiii**

1 Introdução **1**
1.1 Contextualização 1
1.2 Objetivos 2
1.3 Metodologia 2

2 Revisão Bibliográfica **3**
2.1 Motores de combustão interna 3
2.1.1 Ciclo de Otto 3
Ciclo de Otto ideal 3
Ciclo de Otto real 9
2.1.2 Ciclo de Atkinson 10
2.2 Combustíveis 12
2.2.1 Hidrogénio 12
Características do hidrogénio 12
Utilização de hidrogénio em motores de combustão interna . . 14
2.2.2 Metano 16
Características do metano 16
Utilização do metano em motores de combustão interna 18
2.3 Combustão 19
2.4 Poluentes 22
2.4.1 Óxidos de azoto 22
2.4.2 Monóxido de carbono 24
2.4.3 Tratamento de poluentes 24
Catalisadores de três vias 24
Recirculação dos gases de escape 25
Redução seletiva de óxidos de azoto 25
2.5 Métodos de integração de equações diferenciais 26
2.5.1 Equações diferenciais ordinárias 26
2.5.2 Método de Euler 26
2.5.3 Método de Runge-Kutta de 4ª ordem 27

3 Métodos e Aplicação **29**
3.1 Equilíbrio químico 29
3.2 Mecanismo cinemático 33
3.3 Cinética química 37
3.4 Aplicação dos métodos 40
3.4.1 Aplicação dos métodos para o ciclo Otto 40
3.4.2 Aplicação dos métodos para o ciclo Aktinson 41

4 Resultados e Discussão **43**
4.1 Resultados do ciclo Otto 43
4.1.1 Dados iníciais obtidos por equilíbrio químico 47
4.1.2 Energias libertadas pela queima 51
4.1.3 Temperaturas 52
4.1.4 Pressões 55
4.1.5 Dióxido de carbono 57
4.1.6 Monóxido de carbono 59
4.1.7 Monóxido de azoto 61
4.2 Resultados do ciclo Atkinson 64
4.2.1 Temperaturas 65
4.2.2 Pressões 66
4.2.3 Dióxido de carbono 67
4.2.4 Monóxido de carbono 69
4.2.5 Monóxido de azoto 70

5 Conclusão **75**
5.1 Conclusões finais 75

Referências **77**

Apêndice A - Expansão do ciclo Otto **85**

Apêndice B - Expansão do ciclo Atkinson **141**

Apêndice C - Rotina de cálculo **179**

Anexo A - Energias livres de formação de Gibbs **191**

Lista de Figuras

2.1 Câmara de combustão, adaptado de [1] 4
2.2 Tempos do ciclo Otto, adaptado de [2] 5
2.3 Diagrama P-V do ciclo Otto, adaptado de [1] 6
2.4 Diagrama T-s do ciclo Otto, adaptado de [1] 8
2.5 Diagrama P-V do ciclo de Otto real, adaptado de [1] 9
2.6 Diagrama P-V do ciclo Atkinson, adaptado de [2] 10
2.7 Esquema de cores associado à produção do hidrogénio, adaptado de [3] 13
2.8 Comparação entre a solução exata e soluções aproximadas pelos métodos de Runge-Kutta de 4ª ordem e método de Euler, adaptado de [4] 28

3.1 Mecanismo cinemático, adaptado de [2] 34
3.2 Sistema biela-manivela 35
3.3 Representação gráfica de Runge-Kutta de 4ª ordem 39

4.1 Diferenças produzidas por diferentes intervalos de tempo 44
4.2 Variação de resultados com base no intervalo de tempo utilizado . . . 44
4.3 Diferenças produzidas por diferentes velocidades angulares 45
4.4 Variação de resultados com base na velocidade angular do motor utilizada 45
4.5 Diferenças produzidas por diferentes métodos de integração 46
4.6 Variação dos resultados com base no método de integração utilizado . 46
4.7 Energias libertadas pela queima da mistura reagente 52
4.8 Temperaturas no início da expansão para o ciclo Otto 53
4.9 Temperaturas ao longo da expansão para o ciclo Otto 54
4.10 Temperaturas no fim da expansão para o ciclo Otto 54
4.11 Pressões no início da expansão para o ciclo Otto 55
4.12 Pressões ao longo da expansão para o ciclo Otto 56
4.13 Pressões no fim da expansão para o ciclo Otto 56
4.14 Concentrações de CO_2 no início da expansão para o ciclo Otto 57
4.15 Concentrações de CO_2 ao longo da expansão 58
4.16 Concentrações de CO_2 no fim da expansão para o ciclo Otto 58
4.17 Concentrações de CO no início da expansão para o ciclo Otto 59
4.18 Concentrações de CO ao longo da expansão para o ciclo Otto 60
4.19 Concentrações de CO no fim da expansão para o ciclo Otto 60
4.20 Concentrações de NO no início da expansão para o ciclo Otto 61
4.21 Formação e destruição de NO ao longo da expansão para o ciclo Otto 62
4.22 Formação e destruição de NO nos estágios iniciais da expansão para o ciclo Otto 62
4.23 Concentrações de NO ao longo da expansão para o ciclo Otto 63

4.24 Concentrações de NO no fim da expansão para o ciclo Otto 64
4.25 Temperaturas ao longo da expansão para o ciclo Atkinson 65
4.26 Temperaturas de fim de expansão para o ciclo Atkinson 66
4.27 Pressões ao longo da expansão para o ciclo Atkinson 66
4.28 Pressões no fim da expansão para o ciclo Atkinson 67
4.29 Concentrações de CO_2 ao longo da expansão para o ciclo Atkinson . . 68
4.30 Concentrações de CO_2 no fim da expansão para o ciclo Atkinson . . . 68
4.31 Concentrações de de CO ao longo da expansão para o ciclo Atkinson 69
4.32 Concentrações de CO no fim da expansão para o ciclo Atkinson . . . 70
4.33 Formação e destruição de NO nos estágios iniciais da expansão para o ciclo Atkinson 70
4.34 Formação e destruição de NO ao longo da expansão para o ciclo Atkinson 71
4.35 Concentrações de NO ao longo da expansão para o ciclo Atkinson . . 72
4.36 Concentrações de NO no final da expansão para o ciclo Atkinson . . . 72

Lista de Tabelas

2.1 Propriedades do hidrogénio, metano e gasolina, adaptado de [5] . . . 15
2.2 Propriedades do gás natural comprimido (CNG) como combustível, adaptado de [6] . . . 17
2.3 Composição do biogás, adaptado de [7] . . . 18
2.4 Propriedades do biogás, adaptado de [7] . . . 18
2.5 Constantes de reação do mecanismo de Zeldovich, adaptado de [2, 8] . 23

3.1 Poderes caloríficos dos combustíveis, adaptado de [8] e [9] . . . 33
3.2 Massas molares dos principais elementos químicos . . . 33

4.1 Parâmetros de testes experimentais . . . 43
4.2 Propriedades das misturas para o ciclo Otto . . . 47
4.3 Propriedades da queima resultante para o ciclo Otto . . . 48

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

CCUS *Carbon Capture, Utilization and Storage*

CNG *(Compressed Natural Gas)* - Gás natural comprimido

EDO Equação Diferencial Ordinária

EMS *Emission Trading System*

GEEs Gases de Efeito Estufa

GRG Gradiente Reduzido Generalizado

GWP *(Global Warming Potential)* - Potencial de aquecimento global

ICE *(Internal Combustion Engines)* - Motores de combustão interna

ISEP Instituto Superior de Engenharia do Porto

LNG *(Liquid Natural Gas)* - Gás natural liquefeito

P.PORTO Instituto Politécnico do Porto

PMI Ponto Morto Inferior

PMS Ponto Morto Superior

PTN Pressão e Temperatura Normais

SI *(Spark Ignition)* - Ignição comandada

UE União Europeia

Lista de Símbolos

$[X]$	Concentração do molecular de X	$kmol/m^3$
α	Ângulo da manivela	$graus^\circ$
$\dot{W}$	Potência	W
η	Rendimento	
γ	Razão dos calores específicos	
λ	Razão de massa entre ar e combustível	

Φ	Razão de riqueza da mistura	
ρ_c	Razão de compressão	
ρ_e	Razão de expansão	
$\varnothing$	Razão de massa entre combustível e ar	
A	Fator de frequência de reação, n é a ordem de reação	$(cm^3/g.mol)^{n-1}/s$
a	Comprimento da manivela	m
C_2H_6	Etano	
C_3H_8	Propano	
C_9H_20	Nonano	
c_p	Calor específico a pressão constante	$J/(kg.K)$
c_v	Calor específico a volume constante	$J/(kg.K)$
C_xH_y	Hidrocarboneto geral	
CH_4	Metano	
CO	Monóxido de carbono	
CO_2	Dióxido de carbono	
D	Diâmetro	m
E_a	Energia de ativação	$(kJ/g.mol)$
G	Energia livre de Gibbs	KJ
g	Energia livre de Gibbs por mole	$kJ/mole$
H_2	Hidrogénio	
H_2O	Água	
k	Constante de reação direta	
k_r	Constante de reação indireta	
l	Comprimento da biela	m
M	Molécula não reagente	
m	Massa	kg
m_c	Massa de combustível	kg
MM	Massa molar	$kg/kmol$
n	Rotações por minuto	rpm

N_2	Azoto	
N_2O	Óxido nitroso	
NO	Monóxido de azoto	
NO_2	Dióxido de azoto	
NO_x	Óxidos de azoto	
O_2	Oxigénio	
P	Pressão	Pa
P_{atm}	Pressão atmosférica	101325 Pa
PCI	Poder calorífico inferior	J/kg
PCI_c	Poder calorífico inferior do combustível	J/kg
Q	Calor	J
R	Constante de gás perfeito	$J/(kg.K)$
R_u	Contante universal dos gases	8314,46 $J/(kg.K)$
s	Comprimento da projeção vertical do sistema biela-manivela	m
T	Temperatura	K
t	Tempo	s
U	Energia Interna	J
V	Volume	m^3
W	Trabalho	J
x	Fração molar	%
EJ	Exajoules	1×10^{18} J

MM€ Mil milhões de euros

MtCO2e *(Metric tonnes of CO_2 equivalent)* - Toneladas equivalentes de CO_2

1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo organizar a apresentação do trabalho. É realizada uma contextualização que justifica o âmbito do trabalho, os objetivos e as metodologias empregues para a sua realização.

1.1 Contextualização

Verifica-se hoje que, com a procura de melhores condições de qualidade de vida, as necessidades energéticas a nível mundial registam crescimento. Em 2022 o consumo de energias primárias atingiu os 604,04 EJ contribuindo assim para a emissão de 34.374,1 MtCO2e [10]. O sector energético apresenta-se como um dos maiores e mais importantes pilares económicos da atualidade, estima-se que até 2040 os investimentos no setor energético possam crescer na ordem dos 4% anualmente atingindo os 3.200 MM€[11]. Compreende-se assim as dificuldades associadas à regulamentação do setor energético. A inércia à mudança deriva de vários fatores relacionados à sua importância e dimensão, ambivalência da energia como serviço ou produto e definição do valor principal como económico ou ambiental.

Como forma de reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEEs) em toda a Europa, foi proposto em 2019 pela Comissão Europeia o programa *The European Green Deal*, que visa a redução de GEEs em 55% até 2030, em relação aos níveis registados em 1990, e atingir a neutralidade carbónica até 2050 [12]. Para isso conta com políticas como *Emission Trading System (EMS)*, metas que visam a redução das emissões de CO_2 no setor dos transportes e produção de energia, regulamentação para poupança de energia no setor doméstico, incentivos à utilização de energias renováveis, taxas em bens importados provenientes de países com políticas carbónicas flexíveis, utilização de espaços florestais para captura de GEEs, entre outras [12].

Ao contrário do que se verifica na maior parte dos setores, o setor dos transportes regista um crescimento na emissão de GEEs [13]. Em 2019 o setor dos transportes foi responsável por cerca de um quarto do total das emissões de CO_2 da União Europeia (UE), com o transporte rodoviário a contribuir com 72% do total dessas emissões, registando assim um aumento de 33,5% em relação a 1990 [13]. O setor dos transportes é por isso um dos mais importantes setores a avaliar para possíveis melhorias energéticas.

A tentativa de redução em GEEs no setor dos transportes incentivou a procura por combustíveis alternativos para utilização em motores de combustão interna (ICE). Combustíveis alternativos como o etanol, metano, biodiesel, propano, gás natural e o hidrogénio, permitem reduzir a emissão de GEEs em relação a combustíveis mais tradicionais [5]. O metano (CH_4) como combustível é capaz de reduzir emissões de CO_2 em cerca de 25% e possui características favoráveis como é o caso da sua capacidade em evitar a detonação durante a combustão, contudo as condições de armazenamento deste combustível mostram ser desafiantes, o me-

tano é um gás e em caso de fuga, o CH_4 não queimado possui um potencial de aquecimento global (GWP) cerca de 20 vezes superior ao do CO_2 [2]. O hidrogénio, como vetor energético, é visto como capaz de evitar produção de GEEs durante a queima. O hidrogénio, possui uma elevada velocidade de combustão, o que se traduz em maior eficiência, possui também um largo intervalo de inflamabilidade possibilitando o seu uso em misturas de combustível mais pobres, contudo as suas condições de armazenamento e transporte levantam um sério problema logístico e a queima deste combustível é apontada por muitos pela possível produção de óxidos de azoto (NO_x), que devido à sua natureza antropogénica são alvo de apertadas normas que restringem a sua emissão [2, 5, 14].

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo estudar a combustão num motor de combustão interna. Para isso será avaliada a produção de NO_x derivado da combustão num motor de ciclo Otto e Aktinson para vários combustíveis como forma de comparação de resultados. Os principais combustíveis considerados são o metano (CH_4) e o hidrogénio (H_2). São também caracterizados parâmetros como razões de compressão e excesso de ar, temperaturas adiabáticas, e a composição dos fumos resultantes da queima como o CO, CO_2 e NO.

1.3 Metodologia

Para a caracterização dos diferentes parâmetros recorre-se à construção de um modelo matemático baseado no equilíbrio químico e na cinética química, através do método de Zeldovich, que permite observar a evolução temporal da combustão dentro do cilindro do motor. É necessária a implementação de métodos numéricos que permitam a integração de equações diferenciais. Irão ser avaliadas as diferenças de resultados obtidos com a utilização de distintos métodos como o método de Euler e Runge-Kutta de 4ª ordem.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são abordados conceitos e teorias necessárias para a correta compressão desta dissertação.

Os conteúdos abordados focam-se especialmente em motores de ignição comandada (SI), uma vez que este trabalho apenas analisa ciclos Otto e Atkinson. Para além da explicitação destes ciclos o capítulo aborda os combustíveis utilizados neste trabalho, o tema da combustão, assim como os poluentes por ela emitidos e algumas formas de minimização dos mesmos.

2.1 Motores de combustão interna

Um motor de combustão interna tem como objetivo a produção de energia mecânica através da conversão de energia química [2, 15].

Designa-se por energia química a energia interna resultante das ligações atómicas entre átomos dentro de uma molécula [1]. Durante uma reação química, como é o caso da combustão, altera-se a energia interna de um dado volume de controlo como resultado da destruição das ligações constituintes dessa molécula, para formação de novas moléculas [1].

No caso de um motor de combustão interna o volume de controlo é a câmara de combustão, onde ocorre a queima do fluido de trabalho, normalmente uma mistura de ar e combustível [2]. O fluido de trabalho, ou mistura reagente, é inicialmente nebulizado para o interior da câmara de combustão, após a queima, o fluido de trabalho, ou agora produto da combustão, transfere parte da energia libertada pela queima para as paredes do câmara sob a forma de calor e a restante e maior parte da energia é transferida sob a forma de trabalho fazendo movimentar um orgão mecânico, produz-se assim energia mecânica [2].

2.1.1 Ciclo de Otto

Ciclo de Otto ideal

Nikolaus Otto (1832-1891) apresentou em 1876 a primeira iteração de um motor que seguia o que é hoje conhecido como ciclo de Otto. Nikolaus Otto propôs um motor de quatro tempos, que procurava produzir maior potência e alcançar um peso inferior quando comparado ao motor anteriormente desenvolvido pelo mesmo em parceria com Eugen Langen (1833-1895) [2, 16, 17].

O motor desenvolvido consiste num cilindro onde dentro existe um êmbolo que realiza um movimento ascendente e descendente, variando assim o volume do controle [1, 2, 15, 16, 17, 18]. O volume de controle é delimitado pelas paredes laterais e topo do cilindro, e abaixo pelo topo do êmbolo. O movimento do êmbolo, guiado dentro do cilindro, permite a transferência da energia presente no fluido de trabalho a alta pressão e temperatura, em energia mecânica. Quando o êmbolo se encontra

na sua posição superior máxima dentro do cilindro, denomina-se o lugar deste como ponto morto superior (PMS) e à sua máxima posição inferior chama-se ponto morto inferior (PMI). O fluido de trabalho é admitido dentro da câmara de combustão pela válvula de admissão situada no topo hemisférico do cilindro e o escape é realizado através da válvula de exaustão, situada também no topo do cilindro [1, 18].

O êmbolo está ligado na sua extremidade inferior a um sistema biela-manivela que permite transformar o movimento retilíneo guiado pelas paredes do cilindro em movimento rotativo. A distância entre o PMI e PMS é denominada de curso e distância entre as paredes interiores do cilindro corresponde ao diâmetro do êmbolo [1, 2, 15, 16, 17].

Os conteúdos descritos podem ser visualizados esquematicamente na Figura 2.1.

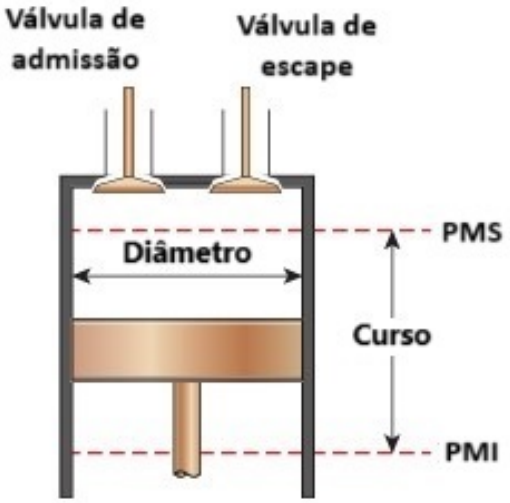


Figura 2.1: Câmara de combustão, adaptado de [1]

Os quatro tempos do ciclo Otto ideal, Figura 2.2, estão organizados da seguinte forma:

- 1º Tempo - Admissão

  O ciclo inicia-se com o êmbolo no PMS, a válvula de admissão encontra-se aberta, o êmbolo realiza um movimento descendente até o PMI, a cambota realiza meia rotação, dá-se assim a admissão do fluido de trabalho no interior do cilindro devido à depressão criada pelo movimento do êmbolo.

- 2º Tempo - Compressão

  As válvulas de admissão e exaustão encontram-se fechadas e o êmbolo realiza um movimento ascendente do PMI para o PMS, a cambota realiza outra meia rotação, devido a este movimento o volume da câmara de combustão diminui e a pressão aumenta.

- 3º Tempo - Explosão e Expansão

  Com todas as válvulas fechadas e como êmbolo no PMS o volume da câmara de combustão é o menor possível. A vela de ignição gera uma faísca que inicia a combustão do fluido de trabalho, o processo de queima ocorre rapidamente originando uma explosão dentro do cilindro o que provoca a rápida descida do êmbolo do PMS para o PMI, a cambota realiza outra meia rotação.

- 4º Tempo - Escape

  Com o êmbolo no PMI, a válvula de exaustão abre, isto permite que parte dos gases resultantes da queima escapem de forma espontânea, a restante parte dos gases é expulsa com a subida do êmbolo até ao PMS, a cambota realiza outra meia rotação.

Completa-se assim o ciclo de Otto, após a realização dos quatro tempos descritos inicia-se outro ciclo que realiza outros quatro tempos repetidamente. A cada ciclo, ou a cada quatro tempos, a cambota realiza duas rotações [1, 2, 15, 16, 17, 18].

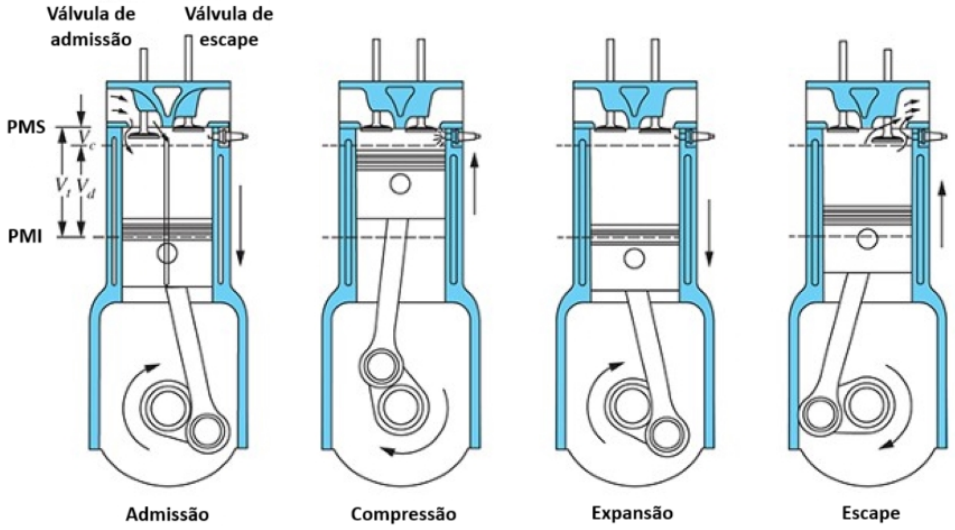


Figura 2.2: Tempos do ciclo Otto, adaptado de [2]
Nota: V_c (Volume no PMS), V_d (Volume varrido), V_t (Volume total).

Para compreender de forma mais fácil e eficaz a análise termodinâmica de um ciclo Otto ideal recorre-se a um diagrama P-V (Pressão e Volume), visível na Figura 2.3.

É ainda importante salientar as principais assunções que facilitam a análise do ciclo [1, 2, 15, 16, 18].

- Considera-se a mistura do fluido de trabalho como um gás perfeito, com propriedades semelhantes às do ar.
- Considera-se a adição de calor ao sistema como positiva, e a rejeição de calor como negativa.
- Considera-se o fornecimento de trabalho ao sistema como negativo, e a produção de trabalho pelo sistema como positivo.
- Considera-se a compressão e expansão como processos isentrópicos.
- Considera-se a adição e rejeição de calor como processos isocóricos.
- Considera-se como processos isobáricos e a P_{atm} os movimentos realizados pelo êmbolo quando as válvulas de admissão ou escape se encontram abertas.

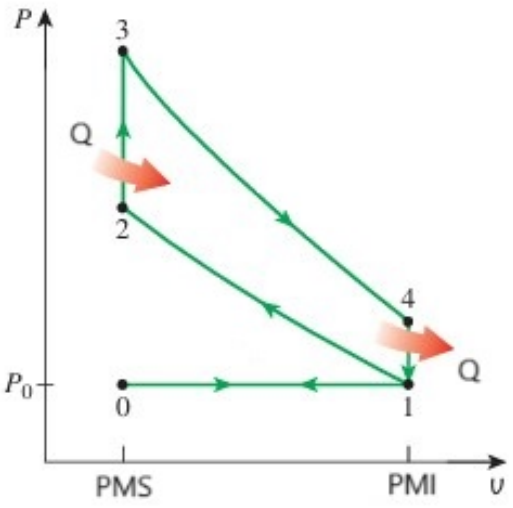


Figura 2.3: Diagrama P-V do ciclo Otto, adaptado de [1]

- Evolução [0-1]

  Corresponde ao 1º tempo, a admissão, a válvula de admissão está aberta e a de escape fechada, o êmbolo, ou pistão, desloca-se do PMS para o PMI, admitindo a mistura do fluido de trabalho. A pressão no interior do cilindro mantém-se constante, logo é uma operação isobárica.

- Evolução [1-2]

  Corresponde ao 2º tempo, a compressão, as válvulas estão fechadas, o êmbolo desloca-se do PMI para o PMS, comprimindo assim a mistura de reagentes, o volume diminui, a pressão aumenta. Considera-se que não existem perdas devido a atritos e que não há transferências de calor entre o fluido e as paredes da câmara de combustão, a compressão é adiabática e reversível, logo é isentrópica.

- Evolução [2-3]

  com todas as válvulas fechadas, dá-se a explosão do fluido de trabalho, a pressão aumenta. Dada a instantaneidade da operação, o volume mantém-se constante, logo é uma evolução isocórica.

- Evolução [3-4]

  Corresponde à expansão, derivado do aumento de pressão devido à explosão, o êmbolo é empurrado do PMS para o PMI, todas as válvulas estão fechadas. Considera-se que não há perdas envolvidas durante a expansão, logo a operação é isentrópica.

- Evolução [4-1]

  Abre a válvula de escape, a válvula de admissão continua fechada. Sem que o êmbolo se mova do PMI, evolução isocórica, parte dos fumos resultantes da queima escapam-se de forma espontânea, diminuindo assim a pressão dentro do cilindro.

- Evolução [1-0]

  Com a válvula de escape ainda aberta e a de admissão fechada, o êmbolo desloca-se do PMI para o PMS, expulsando os restantes gases que ainda se encontram no interior do cilindro, a pressão mantém-se contante, operação isobárica.

O trabalho realizado durante a admissão do fluido de trabalho de [0-1], é exatamente o mesmo trabalho, embora com sinal contrário, ao trabalho realizado durante o escape forçado de [1-0], logo estas interações podem ser desprezadas quando considerada a análise termodinâmica do ciclo Otto ideal. A variação da energia interna do ciclo é dada pela 1ª lei da termodinâmica, Equação 2.1, [1, 18].

$$\triangle U = (Q_{entra} - Q_{sai}) - (W_{sai} - W_{entra}) \tag{2.1}$$

Uma vez que o fluido de trabalho é considerado um gás ideal temos,

$$\frac{P_i.V_i}{T_i} = m.R \tag{2.2}$$

Onde m é a massa da mistura do fluido de trabalho, em kg, R é a constante de gás perfeito do ar, $R = c_p - c_v$, onde c_p representa o calor específico a pressão constante e c_v o calor específico a volume constante, ambos em $J/(kg.K)$, e i é o índice de estado do ciclo (de 0 a 4), logo,

$$\frac{P_1.V_1}{T_1} = \frac{P_2.V_2}{T_2} = \frac{P_3.V_3}{T_3} = \frac{P_4.V_4}{T_4} = m.R \tag{2.3}$$

Para as politrópicas de compressão e expansão utilizam-se as Equações 2.4, 2.5, 2.6 e 2.7 [1, 15, 16, 17, 18].

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma} = \rho_c^{-\gamma} \tag{2.4}$$

$$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{\gamma} = \rho_c^{\gamma} \tag{2.5}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-\gamma} = \rho_c^{\gamma-1} \tag{2.6}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{1-\gamma} = \rho_c^{1-\gamma} \tag{2.7}$$

Onde γ é a razão entre o calor específico a pressão constante e o calor específico a volume constante, $\gamma = c_p/c_v$, e ρ_c é a razão de compressão, $\rho_c = V_{PMI}/V_{PMS}$. Agora é possível calcular os respetivos trabalhos e calores gerados e cedidos.

O trabalho fornecido ao sistema é dado pela Equação 2.8, [1, 15, 16, 17, 18].

$$W_{entra} = \frac{P_2.V_2 - P_1.V_1}{1-\gamma} = m.c_v.(T_1 - T_2) \tag{2.8}$$

O calor que entra no sistema é dado pela Equação 2.9, [1, 15, 16, 17, 18].

$$Q_{entra} = m.c_v.(T_3 - T_2) = m_c.PCI_c \tag{2.9}$$

Onde m_c é a massa de combustível da mistura (relembra-se que a mistura é constituída por combustível e ar atmosférico) e o PCI_c é o poder calorifico inferior do combustível em J/kg.

O trabalho disponibilizado pelo sistema é dado pela Equação 2.10, [1, 15, 16, 17, 18].

$$W_{sai} = \frac{P_4.V_4 - P_3.V_3}{1-\gamma} = m.c_v.(T_3 - T_4) \tag{2.10}$$

O calor que abandona o sistema é dado por 2.11,

$$Q_{sai} = m.c_v.(T_1 - T_4) \tag{2.11}$$

O trabalho útil do sistema é dado pela área compreendida entre as linhas [3-4] e [1-2], o trabalho que é produzido pelo sistema, W_{sai}, é dado pela área abaixo da linha [3-4] e o trabalho fornecido ao sistema, W_{entra}, é dado pela área abaixo da linha [1-2]. O trabalho útil pode ser calculado pela Equação 2.12,

$$W_{útil} = W_{sai} - W_{entra} \tag{2.12}$$

O mesmo pode ser interpretado em relação ao calor, analisando um diagrama T-s (Temperatura e Entropia), visível na Figura 2.4. O calor útil, é dado pela área compreendida entre as linhas [2-3] e [4-1]. O calor produzido pelo sistema, Q_{entra}, é dado pela área abaixo da linha [2-3] e o calor que abandona o sistema, Q_{sai}, é dado pela área abaixo da linha [4-1]. Como se pode verificar na Figura 2.4, as evoluções [1-2] e [3-4] são isentrópicas.

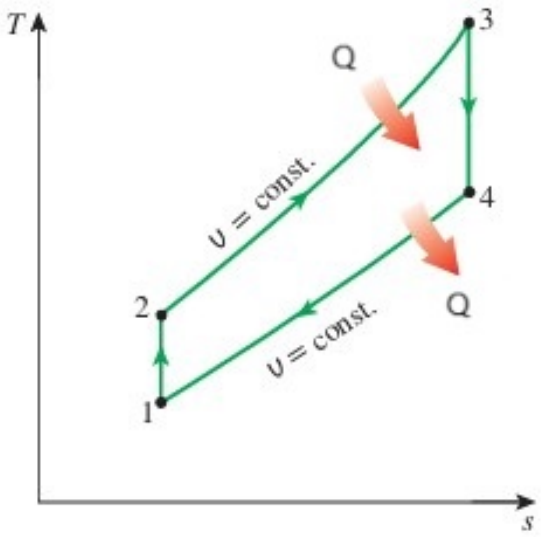


Figura 2.4: Diagrama T-s do ciclo Otto, adaptado de [1]

O calor útil pode ser calculado pela Equação 2.13, [1, 15, 16, 17, 18].

$$Q_{útil} = Q_{entra} - Q_{sai} \tag{2.13}$$

O rendimento térmico do ciclo é dado pela Equação 2.14, [1, 15, 16, 17, 18].

$$\eta = \frac{Q_{útil}}{Q_{sai}} = 1 - \frac{Q_{sai}}{Q_{entra}} = 1 - \frac{1}{\rho_c^{\gamma-1}} \tag{2.14}$$

A potência pode ser calculada pela Equação 2.15, onde relaciona o trabalho útil por ciclo com as rotações por minuto da cambota, n, em rpm. Em cada ciclo a cambota realiza duas rotações, logo, se a cambota realiza n rotações a cada $60s$, cada ciclo realiza $n/2$ rotações em $60s$. Num segundo realizam-se $n/120$ ciclos, e um ciclo demora $120/n$ segundos.

$$\dot{W}_{útil} = \frac{W_{útil}.n}{120} \tag{2.15}$$

Ciclo de Otto real

Até agora foi considerado um ciclo de Otto ideal, este ciclo não representa fielmente um ciclo termodinâmico real, uma vez que muitas das assunções consideradas não se verificam na prática. Um exemplo de um diagrama P-V de um ciclo de Otto real, pode ser verificado na Figura 2.5.

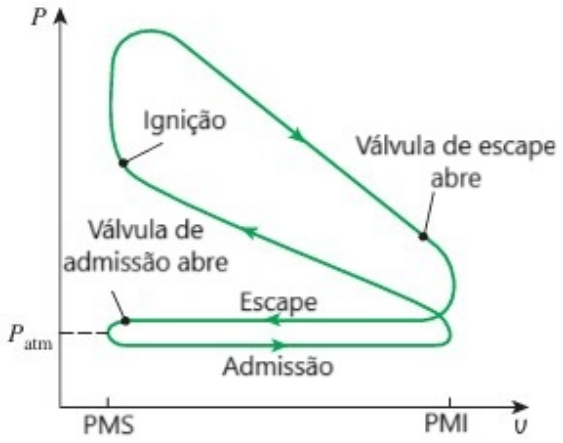


Figura 2.5: Diagrama P-V do ciclo de Otto real, adaptado de [1]

Foi definido que o rendimento térmico de um ciclo Otto depende da razão de compressão e razão de calores específicos do mesmo. O rendimento ideal é tanto maior quanto a razão de compressão e quanto maior a razão entre calores específicos do fluido de trabalho.

Na prática, para um dado valor de γ, o aumento de rendimento térmico de um ciclo não aumenta de forma proporcional com o aumento da razão de compressão, ρ_c [1, 17]. Isto deve-se a condições inerentes à realidade como o atrito que se verifica entre as paredes do êmbolo e as paredes do cilindro, o atrito entre moléculas do fluido de trabalho e transferências de calor com as fronteiras da câmara de combustão, que tornam as evoluções de compressão e expansão irreversíveis [1, 15, 17, 18]. Na realidade com o aumento da razão de compressão, verifica-se que as temperaturas em partes da mistura ultrapassam a temperatura de auto-ignição, o que leva ao desenvolvimento do fenómeno de detonação, onde partes da misturas iniciam a queima, e conseguinte explosão, de forma espontânea, o que leva a redução do rendimento do ciclo e dano do motor [1, 17, 18]. Existem também perdas de carga na admissão do fluido de trabalho relacionadas com o escoamento do fluido para o interior do cilindro. Estas perdas fazem com que a pressão de admissão seja inferior à pressão de escape, o que leva a perda de trabalho útil. Uma forma de contrariar este problema

é a utilização de injeção forçada como compressores ou turbocompressores, estes mecanismos permitem que a pressão de admissão seja superior à pressão de escape e assim a diferença entre estas duas evoluções termodinâmicas produz trabalho [2]. A razão entre calores específicos diminui com o aumento da temperatura e diminui com o aumento de peso das moléculas utilizadas no fluido de trabalho, daí também resultam diferenças verificadas entre os rendimentos térmico ideal e indicado do ciclo Otto, [1, 15, 17].

2.1.2 Ciclo de Atkinson

O ciclo de Atkinson, proposto por James Atkinson (1846-1914) apresenta-se como uma variação do ciclo de Otto. Este ciclo pretende aproveitar toda a energia contida no fluido durante a expansão.

Atkinson procura aproveitar a energia aumentado o tempo de expansão até que a pressão do fluido iguale a pressão de admissão. Desta forma aumenta o trabalho produzido durante a expansão e reduz-se a energia perdida durante o escape, o rendimento do ciclo aumenta [2, 15, 18].

Na realidade para permitir uma expansão tão longa, seria necessário um motor extremamente grande. Este tipo de solução não é muito eficiente uma vez que, as perdas por atrito também são muito grandes [18]. A aproximação mais real de um ciclo Atkinson passa por retardar o fecho da válvula de admissão. Desta forma reduz-se o tempo de compressão em relação ao tempo de expansão.

Na Figura 2.6 é possível verificar um diagrama P-V do ciclo sobre-expandido de Atkinson.

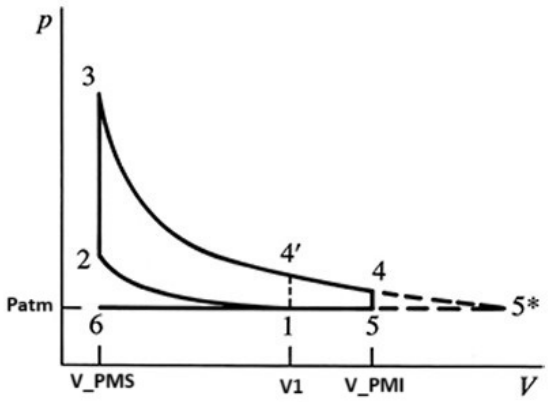


Figura 2.6: Diagrama P-V do ciclo Atkinson, adaptado de [2]

Um ciclo ideal de Atkinson estaria compreendido entre todos os pontos apresentados na Figura 2.6. O ciclo teórico a analisar é aquele compreendido entre os pontos [6-1-2-3-4'-4-5-6] (a traço cheio).

É importante realçar que a razão de compressão não é a mesma que a razão de expansão, as razões de compressão e expansão são expostas nas Equações 2.16 e 2.17, respetivamente [2, 15, 17, 18].

$$\rho_c = \frac{V_1}{V_{PMS}} \tag{2.16}$$

$$\rho_e = \frac{V_{PMI}}{V_{PMS}} \tag{2.17}$$

Considerando V_6, V_2 e V_3 o volume de PMS e V_5 e V_4 o volume de PMI, procede-se agora a uma análise termodinâmica do ciclo de Atkinson teórico.

Mantêm-se as assunções utilizadas para a análise do ciclo de Otto teórico.

- Evolução [6-5]

  A válvula de admissão encontra-se aberta e a de escape fechada, o êmbolo realiza um movimento descendente do PMS para o PMI, a pressão mantém-se constante, a evolução é por isso isobárica. Dá-se a admissão do fluido de trabalho para o seio do cilindro.

- Evolução [5-1]

  O êmbolo desloca-se do PMI para o ponto 1, a válvula de admissão continua aberta e a de escape fechada, logo a pressão no interior do cilindro mantém-se constante, não há compressão, a evolução é isobárica até ao ponto 1, onde a válvula de admissão fecha.

- Evolução [1-2]

  As válvulas de admissão e escape estão fechadas, o êmbolo desloca-se do ponto 1 até ao PMS, dá-se a compressão do fluido de trabalho. Considera-se que não existem perdas devido a atritos e que não há transferências de calor entre o fluido e as paredes da câmara de combustão, logo a compressão é adiabática e reversível.

- Evolução[2-3]

  Dá-se a explosão do fluido de trabalho, as válvulas encontram-se fechadas, a pressão aumenta, dada a instantaneidade da operação, o volume mantém-se constante, logo é uma evolução isocórica.

- Evolução [3-4]

  Corresponde à expansão, derivado do aumento de pressão devido à explosão, o êmbolo é empurrado do PMS para o PMI, todas as válvulas estão fechadas. Considera-se que não há perdas envolvidas durante a expansão, logo a operação é isentrópica.

- Evolução [4-5]

  Abre a válvula de escape, a válvula de admissão está fechada. Sem que o êmbolo se mova do PMI, evolução isocórica, parte dos fumos resultantes da queima escapam-se de forma espontânea, diminuindo assim a pressão dentro do cilindro.

- Evolução [5-6]

  Com a válvula de admissão ainda fechada e com a válvula de escape aberta, o êmbolo desloca-se do PMI para o PMS forçando o escape dos restantes fumos. A pressão mantém-se constante, a evolução é isobárica.

Uma vez que o fluido de trabalho é considerado um gás ideal com propriedades semelhantes às do ar, considera-se, igual ao ciclo Otto, a Equação 2.2, mas agora com referência a mais pontos, logo,

$$\frac{P_1.V_1}{T_1} = \frac{P_2.V_2}{T_2} = \frac{P_3.V_3}{T_3} = \frac{P_4.V_4}{T_4} = \frac{P_5.V_5}{T_5} = m.R \tag{2.18}$$

Para as evoluções politrópicas aplicam-se as Equações 2.4,2.6, 2.5 e 2.7.

O trabalho fornecido ao sistema contabiliza agora a evolução [5-1], é dado pela equação 2.19, [15, 17].

$$W_{entra} = \frac{P_2.V_2 - P_1.V_1}{1-\gamma} + P_1.(V_1 - V_5) = m.[c_v.(T_1 - T_2) - c_p.(T_1 - T_5)] \tag{2.19}$$

O calor que entra pode ser calculado recorrendo à Equação 2.9 e o trabalho que sai pode ser calculado recorrendo à Equação 2.10.

Para calcular o calor que abandona o sistema recorre-se à Equação 2.20, [15, 17].

$$Q_{sai} = m.[c_v.(T_5 - T_4) + c_p.(T_1 - T_5)] \tag{2.20}$$

Para o cálculo dos trabalhos e calores úteis recorre-se às Equações, 2.12 e 2.13 respetivamente. Para o cálculo do rendimento, aplica-se a mesma equação utilizada anteriormente, Equação 2.14.

2.2 Combustíveis

2.2.1 Hidrogénio

Características do hidrogénio

O hidrogénio apresenta várias características que tornam a sua hipótese de utilização como combustível, especialmente para motores de combustão interna, atrativa.

O hidrogénio é um dos elementos mais abundantes na terra, contudo não existe de forma natural na atmosfera é preciso recorrer à sua transformação a partir de uma fonte de energia primária, é por isso denominado como vetor energético [3].

O hidrogénio é passível de ser obtido através de vários processos. As formas de produção do hidrogénio dividem-se entre produção através de combustíveis fósseis e energias renováveis, atualmente a maior parte do hidrogénio é produzido recorrendo a combustíveis fósseis. A produção através de combustíveis fósseis é realizada através de processos como reforma de hidrocarbonetos, pirólise ou gasificação. A atratividade destes métodos recai sobre o baixo custo de produção, mas acarreta também consigo um forte peso nas emissões de CO_2, algo que só pode ser minimizado com a implementação de sistemas de captura e armazenamento de CO_2, *carbon capture, utilization and storage (CCUS)*. A utilização de hidrogénio proveniente de fontes de energia renovável é composta pela produção através de biomassa que resulta de processos termoquímicos ou biológicos, ou através de processos que recorrem a eletricidade, com origem em fontes de energia renovável, para dissociação do hidrogénio da água. Na realidade este método apresenta-se como o que acarreta menor impacto ambiental, é por isso classificado com a cor verde no esquema de cores associado à produção de hidrogénio com base no grau de poluição que cada método acarreta, é possível visualizar este esquema na Figura 2.7.

A cor branca é associada ao hidrogénio presente na crosta terreste resultante de processos naturais. Este hidrogénio teria de ser extraído a partir de perfuramento, acredita-se que este processo representa a forma mais barata de obtenção de hidrogénio. As cores preta e castanho estão associadas à produção de hidrogénio através da gasificação de carvão, este é o método de obtenção de hidrogénio que mais emite CO_2. A cor cinzenta está associada à reforma de hidrocarbonetos. A cor azul está associada à produção de hidrogénio através de combustíveis fósseis, com implementação de CCUS de modo a que as emissões de CO_2 sejam baixas ou reduzidas, e a cor turquesa está associada à produção de hidrogénio através de pirólise de metano, que não emite CO_2 para a atmosfera uma vez que, o carbono resultante é obtido em estado sólido. A cor amarela representa o hidrogénio obtido através de eletrólise onde a energia elétrica fornecida é proveniente de várias origens. As cores vermelha, roxa e rosa representam a energia elétrica obtida através de centrais nucleares e a cor verde representa, como referido, energia elétrica proveniente de fontes renováveis [3, 19].

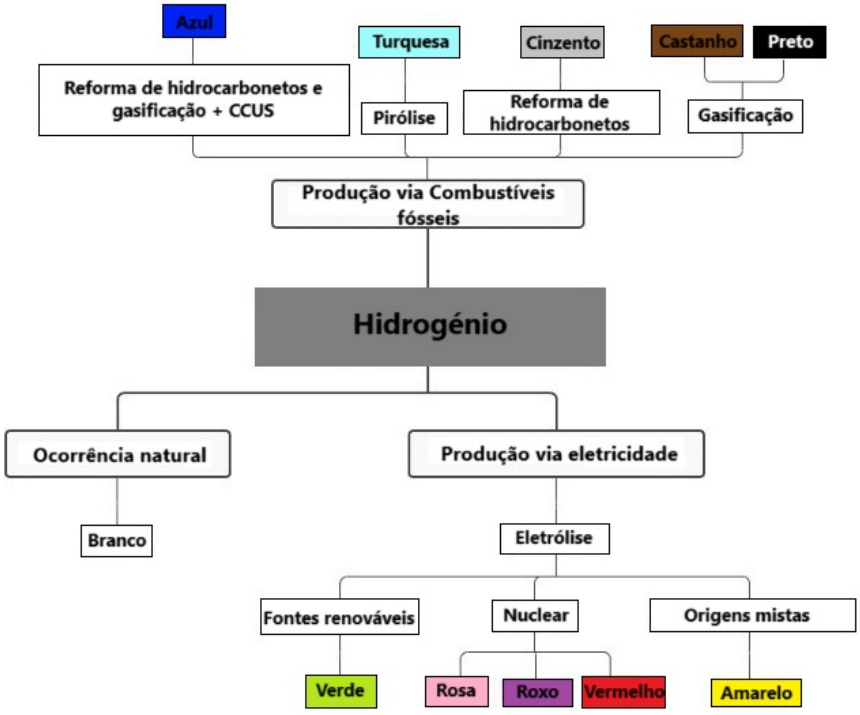


Figura 2.7: Esquema de cores associado à produção do hidrogénio, adaptado de [3]

Quando comparado com outros combustíveis mais tradicionais o hidrogénio apresenta algumas vantagens, sendo a principal de todas os produtos resultantes da combustão do mesmo.

A queima do hidrogénio é considerada uma queima limpa em que apenas resulta água (H_2O), embora, se a temperatura de queima for elevada verifica-se libertação de óxidos de azoto (NO_x) [5, 18, 20]. Uma vez que o hidrogénio não possui átomos de carbono na sua constituição a queima deste é livre de poluentes como CO, CO_2 e HC, é por isso apontado como um dos combustíveis mais promissores a utilizar como forma a alcançar as metas impostas pela UE com o programa *The European Green Deal* [5, 20].

Outras vantagens associadas à utilização do hidrogénio como combustível são a

sua alta velocidade laminar de chama, que resulta em menos perdas de calor entre as paredes de câmara de combustão e consequentemente melhor eficiência; a alta difusibilidade molecular, que permite a mais fácil produção da mistura homogénea; a energia contida por unidade de massa (Poder Calorífico Inferior) que é largamente superior à verificada em outros combustíveis como gasolina e metano; e ainda, a ampla gama de misturas em que pode ser utilizado, possibilitando a sua utilização em misturas pobres, o que permite atingir melhores consumos e mais baixas temperaturas adiabáticas de chama inibindo a formação de óxidos de azoto [5, 19, 20]. Misturas de hidrogénio são possíveis de inflamar desde razões entre ar e combustível (λ) de 10 até 0,14, o que corresponde inversamente a razões de combustível e ar ($\varnothing$) de 0,1 até 7,1 [5, 20, 21]. A temperatura de auto-ignição do hidrogénio, cerca de 853 K, também é bastante superior à da gasolina, cerca de 623 K, o que teoricamente permite a utilização de razões de compressão mais elevadas o que por sua vez resulta em melhores rendimentos [5, 20].

$$\lambda = \frac{m_{ar}}{m_{combustivel}} \tag{2.21}$$

$$\varnothing = \frac{m_{combustivel}}{m_{ar}} \tag{2.22}$$

Contudo o hidrogénio possui também características menos favoráveis à sua utilização como combustível para motores de ignição interna. A alta velocidade laminar de chama aumenta tanto a formação de óxidos de azoto, como a magnitude de som libertado durante a combustão [20]. Embora possua elevado poder calorífico inferior, o hidrogénio possui também uma massa volúmica muito baixa o que torna o seu conteúdo energético por unidade de volume muito baixo em comparação a combustíveis concorrentes. Este facto levanta sérios problemas relativamente ao armazenamento do hidrogénio. Para o caso de utilização como combustível em veículos, é a necessário garantir o transporte do hidrogénio junto do veículo. Mesmo à elevada pressão de 70 MPa o hidrogénio apresenta uma energia por unidade de volume muito inferior à da gasolina, e a transformação do estado gasoso para o líquido é extremamente ineficiente graças à quantidade de energia requerida para completar o processo [2, 5, 18, 19, 20, 21].

A distância de congelamento de chama do hidrogénio é inferior à de outros combustíveis, isto significa que é mais difícil de extinguir a chama, logo há chama mais próxima das paredes do cilindro de onde resultam mais perdas caloríficas e há possibilidade de ocorrência de retorno de chama, combustão que atravessa as fronteiras de câmara de combustão para o coletor de admissão. Embora a temperatura de auto-ignição do hidrogénio seja muito alta, a energia de ignição é bastante baixa, o que provoca o risco de ignição caso entre em contacto com resíduos de gases de escape deixados dentro da câmara de combustão, este facto leva a que a avaliação do número de octanas presentes no hidrogénio seja difícil, resultando em valores díspares [5, 18, 20].

Abaixo é possível observar a Tabela 2.1, onde propriedades do hidrogénio são comparadas com outros combustíveis.

Utilização de hidrogénio em motores de combustão interna

Como verificado anteriormente, o hidrogénio, embora promissor apresenta uma série de desafios à sua implementação em motores de combustão interna. Muitos

destes desafios podem ser minimizados implementado misturas de hidrogénio com combustíveis mais tradicionais como a gasolina ou metano. Devido às caraterísticas físico-químicas do hidrogénio, a sua implementação em misturas de outros combustíveis permite melhorar significativamente a eficiência da combustão. A sua alta difusibilidade permite a sua fácil implementação na mistura de forma homogénea, a sua velocidade laminar de chama e poder calorífico inferior permite a melhoria significativa das propriedades de queima e seu alto intervalo de inflamabilidade permite a utilização de misturas mais pobres, melhorando os consumos e emissões [5, 21].

Tabela 2.1: Propriedades do hidrogénio, metano e gasolina, adaptado de [5]

Propriedade	Hidrogénio	Metano	Gasolina
Massa molecular $[g/mole]$	2,016	16,043	~ 110
Percentagem de carbono $[\%kg]$	0	75	84
Massa volúmica ^{a,b} $[kg/m^3]$	0,089	0,72	730-780
PCI $[MJ/kg]$	199,9	45,8	43,9
Energia por unidade de volume ^{a,b} $[MJ/m^3]$	10,7	33	33×10^3
Temperatura de auto-ignição $[K]$	853	813	~ 623
Energia de ignição mínima ^{a,d} $[mJ]$	0,02	0,29	0,24
Razão ar/combustível estequiométrica	34,4	17,2	14,7
Intervalo de inflamabilidade [%]	4-76	5,3-15	1-7,6
Distância de congelamento de chama ^{a,c} $[mm]$	0,64	2,1	~ 2
Velocidade laminar de chama ^{a,c} $[m/s]$	1,85	0,38	0,37-0,43
Coeficiente de difusão no ar ^{a,b} $[m/s^2]$	$8,5 \times 10^{-6}$	$1,9 \times 10^{-6}$	–

Nota: ^{a} a 1 bar, ^{b} a 273 K, ^{c} a 298 K, ^{d} em proporção estequiométrica

No entanto, apenas a utilização do hidrogénio como combustível único permite a obtenção de fumos livres de GEEs, com a exceção de quantidades residuais provenientes da queima de óleos lubrificantes das paredes da câmara de combustão [5].

Para a utilização de hidrogénio como combustível único são várias as adaptações necessárias de ser realizadas ao motor de combustão interna. É reforçada a ideia de utilização de maiores razões de compressão de forma a maximizar o rendimento do motor. É sugerida a utilização de velas de ignição com elevada dissipação de calor de forma a prevenir a ignição precoce da mistura que resulta em retorno de chama. A utilização de duas ou mais válvulas tanto de admissão como de escape em detrimento de apenas uma válvula de forma a minimizar a inércia de abertura/fecho, para minimização do fenómenos de retorno de chama e garantindo o correto varrimento dos fumos de queima para fora do cilindro, de modo a garantir que, a mistura que entra na câmara de combustão não entra em contacto com possíveis pontos de ignição [5, 20]. A utilização de mais canais de arrefecimento no bloco do motor, com especial atenção às áreas em volta das válvulas e velas de ignição, modificação dos anéis do pistão e redução da folga entre o êmbolo e parede do cilindro, onde o hidrogénio, devido à baixa distância de congelamento de chama, é passível de realizar a combustão [5, 20, 21]. A utilização de óleos lubrificantes específicos para a queima do hidrogénio, isto é, óleos compatíveis com o aumento da concentração de água no bloco do motor e que não apresentem formação de cinzas para evitar depósitos no cilindro, o que pode levar à auto-ignição precoce da combustão da mistura [5, 20, 21]. Sistemas de medição de pressão, válvulas de escape e sistemas de ventilação no cárter do motor, a fim de evitar a grande concentração de hidrogénio neste local, e prevenir

a sua ignição que possui potencial para a destruição do motor [5, 20, 21]. Por fim, é necessário proceder à correta escolha de materiais, uma vez que, o hidrogénio possui efeitos fragilizantes comprovados em muitos materiais metálicos. Em ferros e aços, a ductilidade e tensão de fratura devido à fadiga são severamente prejudicadas. É recomendada a utilização de ligas de cobre, latão ou alumínio, já ligas ricas em níquel ou derivadas do titânio são desaconselhadas [5, 20, 21].

2.2.2 Metano

Características do metano

O metano tem vindo cada vez mais a ser estudado como possível substituto de combustíveis mais tradicionais graças à sua fácil implementação em motores de combustão interna e reduzidas emissões resultantes da queima. O metano é um hidrocarboneto e por isso a sua combustão produz CO_2. Em condições de pressão e temperatura normais (PTN) o metano apresenta-se no estado gasoso.

O metano (CH_4) é mais facilmente encontrado na natureza combinado com outros gases como o propano (C_3H_8), etano (C_2H_6) e azoto (N_2), numa mistura denominada como gás natural. Na composição de gás natural, o metano é a substância que compõe a maior proporção, entre 80% a 98%, o propano normalmente é encontrado em proporções até 2%, o etano compõe entre 1% e 8% do gás e o azoto apresenta-se em doses variáveis até 10% [2, 6, 22].

O gás natural é extraído do subsolo através de poços, muitas vezes associados à extração de petróleo, é por isso considerado um combustível fóssil, cuja localização não é uniformemente distribuída pelos países consumidores pelo que precisa de ser extraído e transportado até ao destino de consumo.

Após atingir a superfície, o gás natural sofre alguns processos de tratamento para ser depois transportado para os diferentes destinos. O transporte de CH_4 realiza-se de diferentes formas, através de gasoduto, seja terreste ou marítimo ou ainda através de navios cargueiros. Como qualquer gás, o metano ocupa grande volume por ordem de massa, o transporte é por isso realizado sob a forma de gás natural comprimido (CNG), onde o gás é transportado a pressões na ordem dos 200-350 bar ou gás natural liquefeito (LNG), onde a temperatura tem de ser mantida abaixo dos -162 ºC. A transformação do gás natural em LNG permite a maior diminuição do seu volume, mas apresenta também o maior custo, estima-se que este processo seja o mais dispendioso em toda a cadeia de produção do gás natural e por isso represente a maior parte do custo do mesmo, cerca de 28%, é por isso uma das áreas mais estudadas a fim de otimizar os custos de produção do gás natural [6, 22, 23]. O metano (CH_4) é contudo um gás cujo GWP é bastante superior ao do CO_2, apresenta por isso grande risco de poluição, o que demonstra que as perdas nas cadeias de abastecimento e a combustão incompleta do mesmo devem ser minimizadas, caso contrário, o metano como combustível pode ter um impacto ambiental mais severo que a gasolina ou gasóleo.

O abastecimento de veículos com gás natural é normalmente realizado recorrendo ao CNG, à pressão de 200 bar e 15 ºC, onde 200 L de CNG fornecem a mesma autonomia de 30 L de gasolina. Se o abastecimento for realizado a altas velocidades a temperatura final será mais elevada o que leva a uma penalização na autonomia de cerca de 15%. Na Tabela 2.2 podem ser verificadas algumas caraterísticas do CNG, onde é possível verificar as semelhanças de resultados com os valores apresentados

para o metano na Tabela 2.1, este facto comprova a presença maioritária do metano na composição do gás natural.

Tabela 2.2: Propriedades do gás natural comprimido (CNG) como combustível, adaptado de [6]

Propriedade	gás natural comprimido (CNG)
Massa volúmica $[kg/m^3]$	0,72
PCI $[MJ/kg]$	45,8
Temperatura de auto-ignição [ºC]	723
Energia de ignição mínima $[mJ]$	0,28
Razão ar/combustível estequiométrica	17,24
Intervalo de inflamabilidade [%]	4-14
Distância de congelamento de chama $[mm]$	2,1
Velocidade laminar de chama $[m/s]$	0.38

O gás natural (CH_4), apresenta como principais vantagens a reduzidas emissões de CO_2 e de NO_x, cerca de 25% e 50% menos quando comparado com emissões de combustíveis mais tradicionais, respetivamente, [2, 6, 18]. Possui boa resistência à detonação pelo que permite a utilização de razões de compressão do motor mais elevadas, algo que deve aumentar a sua eficiência em 10% em relação a motores que utilizem gasolina [6]. Por se apresentar no estado gasoso em condições de PTN sofre do mesmo problema de outros gases, a baixa energia por unidade de volume, o que apresenta desde logo uma barreira à sua utilização em veículos de transporte. O CNG apresenta 4 vezes mais volume quando comparado com a gasolina e o LNG diminui essa desvantagem apresentando apenas 1,3 vezes mais volume quando comparado com o mesmo combustível [6]. O metano apresenta um maior intervalo de inflamabilidade o que permite a utilização de misturas mais pobres, o que gera menores consumos e menores emissões, embora prejudique as prestações do motor [6].

Como referido a maior parte parte do metano é proveniente de gás natural, um combustível fóssil cuja produção acarreta sérios compromissos ambientais. Uma das formas de produção de metano com menor impacto ambiental é a produção de biogás. O biogás é normalmente produzido a partir dos resíduos agrícolas, excrementos provenientes de aves de capoeira, e estrume de gado através de um processo de digestão anaeróbica, um conjunto de processos onde microorganismos degradam matéria orgânica na ausência de oxigénio. O biogás que é um produto proveniente do metabolismo microbiano, é passível de ser enriquecido com maiores doses de metano se necessário, dando origem ao biometano, o poder calorífico do biogás é determinado em função direta da sua quantidade de metano, que pode variar consoante os métodos de produção e a matéria-prima utilizada. Ambos estes produtos podem facilmente ser integrados em redes e distribuição de gás natural [7]. Na Tabela 2.3, pode ser verificada a normal composição do biogás.

Na Tabela 2.4, podem ser analisadas algumas propriedades referentes a um biogás tradicional, composto por 60% metano e 40% dióxido de carbono, para uma temperatura de 273 K e pressão atmosférica.

Tabela 2.3: Composição do biogás, adaptado de [7]

Elemento	Composição [%]
Metano	30-80
Dióxido de carbono	20-45
Azoto	1-10
Amoníaco	0,1-0,5
Humidade	2-8
Hidrogénio	0-3
Sulfeto de hidrogénio	0,1-0,5
Oxigénio	0,1-3

Tabela 2.4: Propriedades do biogás, adaptado de [7]

Propriedade	Biogás
Massa molecular $[g/mole]$	16,04
Massa volúmica $[g/L]$	1,2
Energia por unidade de volume $[MJ/m^3]$	22,6
Temperatura de auto-ignição [ºC]	650-750
Intervalo de inflamabilidade [%]	6-12

Utilização do metano em motores de combustão interna

A maior parte dos motores de combustão interna que utilizam gás natural como combustível, ou são o resultado de modificações a motores de combustíveis mais tradicionais, ou são adpatados diretamente por fabricantes para funcionarem em regime de *bi-fuel*, de forma a poderem ser alimentados por ambos os tipos de combustível. Estas soluções, no entanto oferecem níveis de desempenho reduzidos visto que a utilização de combustíves como gasóleo e gasolina estão na génese do projeto original do motor. A solução *bi-fuel* apenas é vantajosa de um ponto de vista de consumos e e emissões reduzidas.

Para maximização do metano como combustível, um motor de características próprias para a utilização deste combustível teria de ser desenvolvido de raiz. A principal desvantagem deste tipo de solução é a autonomia, que apresenta valores mais baixos, de forma geral um veículo alimentado a gás natural têm de ser abastecido 2 a 3 vezes com maior frequência do que um veículo a gasolina ou gasóleo. A utilização de tanques de CNG com maiores dimensões tem sérias implicações no peso total do veículo e consequentemente no desempenho e consumos do mesmo.

Um motor que utilize metano ou gás natural como combustível deve apresentar um sistema de admissão otimizado para a alimentação deste combustível. Coletor de admissão e tempos de admissão devem ser controlados de modo a realizar a injeção de modo mais eficiente [24]. A vela de ignição deve ser capaz de lidar com a energia de ignição mínima do metano, que é superior à da gasolina. A abertura das válvulas de escape e admissão ao mesmo tempo deve ser evitada de modo a que não existam fugas de metano que possam ser libertadas para a atmosfera ou entrar em combustão nos coletores tanto de escape como de admissão [18, 25]. A queima incompleta do metano é um dos grandes problemas a evitar neste tipo de motores, uma vez que já vimos que o seu índice de GWP é diversas vezes superior ao do CO_2. Diminuir a distância entre as paredes do êmbolo e do cilindro, reduz

o volume de fenda, e diminui consequentemente a quantidade de metano que se escapa para o cárter, embora aumente também as perdas por atrito. Os efeitos de congelamento de chama podem também originar uma combustão incompleta, estes podem ser minimizados utilizando razões de mistura mais ricas, embora estas gerem maiores consumos e maiores emissões, nomeadamente relativas a óxidos de azoto (NO_x).

2.3 Combustão

Como forma de entender a combustão que é realizada no seio de um motor de combustão interna é necessário tomar conhecimento de algumas noções sobre a cinética química. A cinética química procura prever a formação e destruição de produtos de reação, poluentes, ignição e extinção de chama, entre outros parâmetros associados à combustão.

A equação geral de a moles de combustível com b moles de comburente dá origem a c moles de produto, no que se apelida de mecanismo de reação global, visível na Equação 2.23 [8, 26, 27].

$$cC + bO_x \rightarrow cPr \tag{2.23}$$

Onde C representa o combustível, O_x o produto comburente e Pr o produto da reação.

O taxa a que o combustível é consumido pode ser expressa segundo a Equação 2.24 [8].

$$\frac{d[X_C]}{dt} = -k_G(T).[X_C]^n.[X_{Ox}]^m \tag{2.24}$$

Onde a notação $[X_i]$ é utilizada para representar a concentração molar da espécie i em $kmol/m^3$, k_G é a constante de reação expressa em função da temperatura e os expoentes n e m se relacionam com a ordem de reação. A constante de reação está relacionada com a frequência de ocorrência da reação, esta noção engloba muitos fatores como o diâmetro das moléculas, velocidade média das moléculas, probabilidade de colisão, entre outros. Desde que o intervalo de temperaturas entre moléculas não seja muito grande, a constante de reação k pode ser expressa segundo a fórmula empírica de Arrhenius, Equação 2.25 [8, 26, 27, 28].

$$k = A.exp\left(\frac{-E_A}{R_u.T}\right) \tag{2.25}$$

Onde A é uma constante que quantifica a frequência de ocorrência de reação, E_A representa a energia de ativação, R_u é a constante universal dos gases, cujo é valor é 8314,46 $J/(kmol.K)$ e T é a temperatura.

Uma reação de queima pode, no entanto, ser muito complexa. Elevadas temperaturas fazem com que produtos ideais se dissociem em espécies menores muitas vezes presentes em elevadas quantidades. O equilíbrio químico não pode ser, portanto, calculado utilizando o simples balanço atómico. Isto faz com que seja relevante conseguir-se analisar a composição de uma mistura para uma dada temperatura e pressão [8]. Para isso procede-se ao cálculo da energia livre de Gibbs, Equação 2.26, que destaca o seguinte, uma reação atinge o equilíbrio químico quando a sua variação

da energia livre de Gibbs é nula, Equação 2.28, e desenvolve-se de forma espontânea quando a variação da energia de Gibbs é negativa, Equação 2.27 [8, 26, 27, 28]

$$G \equiv H - T.S \tag{2.26}$$

$$(dG)_{T,P,m} \leq 0 \tag{2.27}$$

$$(dG)_{T,P,m} = 0 \tag{2.28}$$

A função de Gibbs para uma dada espécie i é dada pela Equação 2.29 [8, 26, 27, 28].

$$g_{i,T} = g^0_{i,T} + R_u.T.ln\left(\frac{P_i}{P_{atm}}\right) \tag{2.29}$$

Onde $g^0_{i,T}$ é o valor da função de Gibbs para a espécie i a pressão atmosférica (P_{atm}), e P_i é a pressão parcial da espécie [8, 26, 27, 28].

Para uma mistura, a função de Gibbs pode ser expressa segundo a Equação 2.30 [8].

$$G_{mistura} = \sum N_i.g_{i,T} \tag{2.30}$$

Onde N_i representa o número de moles da espécie i da mistura.

Considerando uma reação geral, Equação 2.31.

$$aA + bB + ... \underset{k_r}{\overset{k}{\leftrightarrows}} eE + fF + ... \tag{2.31}$$

A variação da energia de Gibbs para esta reação em condição de equilíbrio é dada por 2.32 [8, 26, 27, 28].

$$\begin{aligned} &- a.\left[g^0_{A,T} + R_u.T.ln\left(\frac{P_i}{P_{atm}}\right)\right] - b.\left[g^0_{B,T} + R_u.T.ln\left(\frac{P_i}{P_{atm}}\right)\right] - ... \\ &+ e.\left[g^0_{E,T} + R_u.T.ln\left(\frac{P_i}{P_{atm}}\right)\right] + f.\left[g^0_{F,T} + R_u.T.ln\left(\frac{P_i}{P_{atm}}\right)\right] + ... = 0 \end{aligned} \tag{2.32}$$

Esta equação pode ser rearranjada, ficando assim expressa segundo a Equação 2.33 [8].

$$\begin{aligned} &- (e.g^0_{E,T} + f.g^0_{F,T} + ... - a.g^0_{A,T} - b.g^0_{B,T} - ...) \\ &= R_u.T.ln\left(\frac{(P_E/P_{atm})^e.(P_F/P_{atm})^f...}{(P_A/P_{atm})^a.(P_B/P_{atm})^b...}\right) \end{aligned} \tag{2.33}$$

A variação da função de Gibbs a pressão atmosférica ($\triangle G^0_T$) é dada pela expressão dentro de parênteses no primeiro termo da equação e à fração dentro da expressão logarítmica é dado o nome de contante de equilíbrio (K_p). A expressão pode assim ser expressa segundo a Equação 2.34 [8, 26, 27, 28].

$$\triangle G^0_T = -R_u.T.ln(K_p) \tag{2.34}$$

Assim é possível avaliar a combustão de um dado combustível. A combustão de um hidrocarboneto cuja mistura é pobre ou estequiométrica ($\Phi \leq 1$), onde, $\Phi = \lambda/\lambda_{estequiométrico}$, assume, considerando os principais produtos de reação, a seguinte forma, Equação 2.35 [8].

$$C_xH_y + a(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow bCO_2 + dH_2O + fO_2 + 3,76.aN_2 \tag{2.35}$$

Onde,

$$a = \frac{x + y/4}{\Phi} \tag{2.36}$$

$$x = b \tag{2.37}$$

$$y = 2d \tag{2.38}$$

$$2a = 2b + d + 2f \tag{2.39}$$

Um sistema de equações representado pelas Equações 2.36, 2.37, 2.38 e 2.39, permite a obtenção das quantidades molares dos produtos de reação, assumindo que a razão de estequiometria (Φ) e o combustível em questão são conhecidos.

Mais difícil é avaliar a combustão cuja mistura é rica ($\Phi > 1$), a equação desta reação pode ser dada, assumindo apenas os principais produtos de reação, por 2.40 [8].

$$C_xH_y + a(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow bCO_2 + cCO + dH_2O + eH_2 + 3,76.aN_2 \tag{2.40}$$

Para proceder ao cálculo das quantidades molares presentes pode-se recorrer à equação de equilíbrio de gás-água, 2.41 [8, 26, 27, 28].

$$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2 \tag{2.41}$$

Onde,

$$K_p = \frac{(P_{CO_2}/P_{atm}).(P_{H_2}/P_{atm})}{(P_{CO}/P_{atm}).(P_{H_2O}/P_{atm})} = \frac{b.e}{c.d} \tag{2.42}$$

$$a = \frac{x + y/4}{\Phi} \tag{2.43}$$

$$x = b + c \tag{2.44}$$

$$y = 2d + 2e \tag{2.45}$$

$$2a = 2b + c + d \tag{2.46}$$

A resolução do sistema de equações composto pelas Equações 2.42, 2.43, 2.44, 2.45 e 2.46 permite a obtenção das quantidades molares dos produtos de reação, assumindo que a razão de estequiometria (Φ) e o combustível em questão são conhecidos.

2.4 Poluentes

A definição concreta de poluente é muitas vezes difícil de traçar. Segundo a ciência, um poluente apresenta-se como qualquer substância que possa colocar em risco o meio ambiente ou a saúde humana. No entanto, segundo o contexto natural, muitas vezes o CO_2 não é considerado um poluente, uma vez que a sua formação ocorre naturalmente. O problema com o CO_2 resulta das concentrações excessivas em que se apresenta na atmosfera. Durante a combustão, a formação de CO_2 é incontornável, apenas pode ser reduzida diminuindo também a massa de combustível utilizada ou então utilizando combustíveis com uma maior relação H/C [18, 29].

O setor dos transportes é um dos maiores responsáveis pela poluição atmosférica. A emissão de poluentes é maioritariamente feita por perdas evaporativas e pelos gases libertados pelo escape. Os principais compostos poluentes emitidos por ICE são: NO, CO, hidrocarbonetos não queimados e particulas sólidas [18, 30, 31, 32].

A inalação de poluentes resultantes de combustão ou dos produtos formados pela emissão dela para a atmosfera sugerem fortes indícios de problemas para o ser humano como doenças respiratórias e cardiovalculares, anomalias à nascença, mortalidade infantil e desenvolvimento de doenças cancerigínas [31, 33]. O impacto de determinados poluentes em ecosistemas é também severo. A presença de poluentes na atmosfera é responsável por destruição da biodiversidade e vegetação, diminuição de colheitas agrículas, acidificação de solos e corpos de água, que impactam também na vida de vários animais [34, 35, 36].

2.4.1 Óxidos de azoto

A emissão de óxidos de azoto para a atmosfera possui impactos severos. Muitos processos de combustão resultam na formação de espécies como NO, NO_2 e N_2O [8]. O NO e N_2O possuem potencial para formar dióxido de azoto (NO_2) que é um dos principais responsáveis pela produção de chuvas ácidas que têm particular impacto na destruição de florestas e águas [18, 8, 37]. O óxido de azoto (NO) pertence à família dos gases de efeito estufa (GEEs) [37]. Os óxidos de azoto são ainda um dos principais responsáveis pela formação do *smog* com o auxílio de radiação solar [18, 8, 37]. Os óxidos de azoto implicam ainda problemas associados ao sistema respiratório em humanos como infeções respiratórias e asma [18].

Os óxidos de azoto (NO_x) referem-se normalmente às espécies químicas NO, NO_2 e N_2O embora o principal e o que se verifica em maior quantidade seja o NO [18, 8, 37]. Durante uma combustão que contenha átomos de azoto (N), normalmente presente no ar da mistura, embora em alguns casos possa estar contido também no combustível, os óxidos de azoto são formados segundo os mecanismos de Zeldovich, Fenimore e N_2O intermédio [8].

O mecanismo de Zeldovich é descrito pelas equações 2.47, 2.48 e 2.49 [2, 18, 8].

$$O + N_2 \underset{k_{1r}}{\overset{k_1}{\leftrightarrows}} NO + N \tag{2.47}$$

$$N + O_2 \underset{k_{2r}}{\overset{k_2}{\leftrightarrows}} NO + O \tag{2.48}$$

$$N + OH \underset{k_{3r}}{\overset{k_3}{\leftrightarrows}} NO + H \tag{2.49}$$

A utilização da terceira equação perfaz o mecanismo de Zeldovich extendido [8]. As constantes das reações, diretas e inversas, podem ser observadas na tabela 2.5 [2, 8].

Tabela 2.5: Constantes de reação do mecanismo de Zeldovich, adaptado de [2, 8]

Constante	k $[m^3/(mol.s)]$	Intervalo de temperatura [K]
k_1	$1,8 \times 10^{11}.exp(-38,370/T)$	2000-5000
k_{1r}	$3,8 \times 10^{10}.exp(-425/T)$	300-500
k_2	$1,8 \times 10^{7}.T.exp(-4680/T)$	300-3000
k_{2r}	$3,8 \times 10^{6}.T.exp(-20,820/T)$	1000-3000
k_3	$7,1 \times 10^{10}.exp(-450/T)$	300-2500
k_{3r}	$1,7 \times 10^{11}.exp(-24,560/T)$	2200-4500

A taxa de formação do NO segundo as equações 2.47, 2.48 e 2.49 é dada pela equação 2.50.

$$\begin{aligned}\frac{d[NO]}{dt} &= k_1[N_2][O] + k_2[N][O_2] + k_3[N][OH] \\ &\quad - k_{1r}[NO][N] - k_{2r}[NO][O] - k_{3r}[NO][H]\end{aligned} \tag{2.50}$$

A energia de ativação da equação 2.47 é bastante grande, cerca de 319,050 kJ/kmol, daqui resulta a forte dependência da temperatura para a formação do NO [2, 8, 37]. A formação do NO acontece tanto na frente de chama como nos gases pós-chama, contudo dada a velocidade de oxidação do combustível, quando comparada com a velocidade de formação do NO descrita pelo mecanismo de Zeldovich, considera-se que a maior parte do NO é formado nos gases pós-chama [2, 8]. Este método demonstra que maior formação de NO é verificada quanto maior a temperatura da combustão e maior concentração de O_2 existir. A formação de NO é por isso realizada tanto em misturas ricas, onde maior energia é libertada e consequentemente se atinge maior temperatura de chama e também em misturas mais pobres, onde existe maior concentração de O_2 proveniente do ar [2, 14, 18, 8].

O mecanismo de N_2O intermédio é descrito pelas equações 2.51, 2.52 e 2.53 [8, 37].

$$O + N_2 + M \rightleftarrows N_2O + M \tag{2.51}$$

$$H + N_2O \rightleftarrows NO + NH \tag{2.52}$$

$$O + N_2O \rightleftarrows NO + NO \tag{2.53}$$

Onde M representa uma molécula não reagente que tem como função absorver parte da energia libertada pelos outros reagentes de forma a produzir um produto de reação mais estável. O mecanismo de NO_2 intermédio apresenta particular importância quando se lida com misturas mais pobres com baixas temperaturas adiabáticas de chama [8, 37].

O mecanismo de Fenimore mostra-se útil na avaliação da formação de NO através de hidrocarbonetos antes de ser possível a formação deste radical pelo mecanismo de

Zeldovich. Este mecanismo que estuda a rápida formação de NO é realizado através de reação de radicais provenientes de hidrocarbonetos que reagem com moléculas de azoto, visível nas Equações 2.54 e 2.55, de forma a produzirem moléculas que mais tarde, através de outras reações descritas nas Equações 2.56, 2.57, 2.58 e 2.59 dão origem a NO [8, 37].

$$CH + N_2 \rightleftarrows HCN + N \tag{2.54}$$

$$C + N_2 \rightleftarrows CN + N \tag{2.55}$$

$$HCN + O \rightleftarrows NCO + H \tag{2.56}$$

$$NCO + H \rightleftarrows NH + CO \tag{2.57}$$

$$NH + H \rightleftarrows N + H_2 \tag{2.58}$$

$$N + OH \rightleftarrows NO + H \tag{2.59}$$

2.4.2 Monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás venenoso, incolor e inodoro sendo por isso difícil de detetar. A sua inalação pode dar origem a problemas vasculares, redução de funções cardíacas, redução das capacidades de comunicação, audição, visão, fraqueza, vómitos, enxaquecas, anemia, entre outros, inclusive, a morte [14, 18]. Na atmosfera o monóxido de carbono (CO) sofre oxidação lenta transformando-se em dióxido de carbono (CO_2), cujo o impacto ja foi anteriormente discutido [18, 14].

A principal razão para formação de monóxido de carbono é a queima não estequiométrica. A queima de mistura rica origina a possibilidade da não existência de quantidade de oxigénio necessária para realizar a queima completa do combustível, produzindo assim radicais de CO, ao invés de CO_2 [14].

2.4.3 Tratamento de poluentes

Catalisadores de três vias

Os catalisadores de três vias têm como principal função o tratamento de gases poluentes como o NO, CO e HC, de forma a que as emissões destes gases para o exterior sejam reduzidas. O objetivo do catalisador de três vias é a oxidação do CO e HC em CO_2 e H_2O e a redução do NO em N_2 [2, 14, 18].

De forma a garantir a eficácia do catalizador de três vias é necessário garantir a estequiometria da mistura e uma temperatura de reação adequada, por norma superior a 400 ºC. A condição da não existência de chumbo nos gases de escape é também necessária, algo que já não é habitual devido à proibição de utilização de chumbo nos combustíveis na maior parte dos países, uma vez que esta substância tem potencial para envenenar os catalisadores reduzindo rapidamente a sua eficácia [2, 18].

Uma das dificuldades encontradas é garantir o funcionamento do catalizador durante o arranque, quando os gases circulantes ainda não dispuseram de tempo suficiente para aquecer o catalizador até temperatura adequada. Para isso utilizam-se aquecedores durante os primeiros instantes do arranque do motor ou implementam-se pré-catalisadores de pequenas dimensões junto às saídas de escape, que aceleram o aquecimento do catalizador de três vias [18].

As reações que descrevem as funções do catalizador são descritas pelas Equações 2.60, 2.61, 2.62 que representam a oxidação do CO e HC, e pelas Equações 2.63, 2.64, 2.65 e 2.66 que descrevem o processo de redução do NO [14].

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O \tag{2.60}$$

$$HC + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2 \tag{2.61}$$

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2 \tag{2.62}$$

$$NO + HC \rightarrow N_2 + CO_2 + H_2O \tag{2.63}$$

$$2NO + 2CO \rightarrow N_2 + 2CO_2 \tag{2.64}$$

$$2NO + 5H_2 \rightarrow 2NH_3 + 2H_2O \tag{2.65}$$

$$2NO + 2H \rightarrow N_2 + H_2O \tag{2.66}$$

Recirculação dos gases de escape

Uma forma de reduzir a emissão de óxidos de azoto e hidrocarbonetos não queimados é realizar a recirculação dos gases de escape [18, 25]. A recirculação dos gases de escape reduz a temperatura de chama que por sua vez reduz a formação de óxidos de azoto [18]. A recirculação de gases de escape garante a queima de hidrocarbonetos que se escapam da câmara de combustão. Este método requer o arrefecimento dos gases de escape antes do fornecimento deste ao sistema de admissão, durante este arrefecimento, parte dos gases podem sofrer condensação o que pode levar a esforço extra e deterioração precoce em sistemas turbocompressores, caso existam [25]. A recirculação de gases de escape deve ser feita de forma limitada, uma vez que a admissão destes gases como parte da mistura de queima reduz significativamente a eficiência da combustão [25].

Redução seletiva de óxidos de azoto

A redução seletiva de óxidos de azoto é uma forma eficaz de diminuir a emissão destas substâncias para a atmosfera. A redução destes óxidos é feita recorrendo à mistura de amoníaco (NH_3), via injeção, com gases de escape. O NH_3 reage com os NO_x a altas temperaturas produzindo H_2O e N_2 [14].

As reações de redução são visíveis nas Equações 2.67, 2.68 e 2.69 [14].

$$NH_3 + NO + 1/4O_2 \rightarrow N_2 + 3/2H_2O \tag{2.67}$$

$$NH_3 + 1/2NO + 1/2NO_2 \rightarrow N_2 + 3/2H_2O \tag{2.68}$$

$$NH_3 + 3/4NO_2 \rightarrow 7/8N_2 + 3/2H_2O \tag{2.69}$$

Um dos problemas deste método de redução é a alta gama de temperaturas a que o catalizador necessita de operar de modo a ser eficaz. Quando opera dentro das gamas de temperatura adequadas, este método de redução é capaz de atingir taxas de remoção de óxidos de azoto na ordem dos 60% a 80%. As temperaturas ideais de operação necessitam de ser, na maior parte dos casos, superiores a 450 ºC [14, 18].

2.5 Métodos de integração de equações diferenciais

2.5.1 Equações diferenciais ordinárias

Uma equação diferencial ordinária (EDO) é uma igualdade matemática que relaciona uma função incógnita (variável dependente) à sua derivada em relação a uma variável única independente [38, 39, 40, 41, 42, 43].

A ordem de uma EDO é dada pela ordem da mais alta derivada da função incógnita. O grau de uma EDO é dado pelo expoente aplicado à mais alta derivada da função incógnita [38, 39, 41, 42, 43].

Uma equação diferencial ordinária de primeira ordem assume a seguinte forma,

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \tag{2.70}$$

Equações diferenciais ordinárias desempenham um papel fundamental na resolução de problemas relacionados com a área das ciências naturais e aplicadas. Muitas áreas como a engenharia, física, biologia e finanças dependem de EDOs para resolução de problemas. Problemas termodinâmicos como a lei de Newton de arrefecimento, problemas mecânicos como o deslocamento vertical de um corpo num campo gravítico, problemas sobre a dinâmica de populações e como determinar a variações populacionais [38, 39].

Desta forma, métodos e técnicas para a integração de EDOs tornam-se ferramentas essenciais na ciência de computação moderna. Permitem a aproximação da evolução de sistemas com a evolução do tempo, onde, a solução analítica é impossível de calcular [38, 39, 40]

2.5.2 Método de Euler

O método de Euler é o método mais antigo e a mais básica técnica de aplicação de métodos numéricos para integração de EDOs de primeira ordem. Desenvolvido por Euler por volta de 1768, é também conhecido por método da reta tangente [40, 44].

Procura aproximar em cada ponto o valor da função $y(x)$ através do ajuste sucessivo de retas tangentes dadas pela derivada $y'(x)$.

Dado o valor inicial do problema,

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y), \qquad f(x_0) = y_0 \tag{2.71}$$

o valor de y é atualizado da seguinte forma,

$$y_{i+1} = y_i + h \cdot f(y_i, x_i) \tag{2.72}$$

O método assume que o declive ao longo do passo de integração h se mantém constante, o que raramente se verifica na prática para sistemas não lineares.

O método de Euler é simples de implementar e não é muito exigente computacionalmente. A facilidade de utilização torna-o uma ferramenta atrativa para implementação em simulações rápidas para sistemas que operam em tempo real e com restrições computacionais apertadas [44].

Apesar das vantagens mencionadas, o método de Euler sofre de limitações significativas. A fraca precisão do método em relação a outros existentes advém de erros de truncação de primeira ordem, o que significa que os erros acumulam, crescendo linearmente com o número de integrações. A solução obtida pode divergir bastante da solução real se aplicado com largos passos de integração a sistemas altamente não lineares. Uma vez que não implementa estimativas de erro local, não é capaz de se adaptar a zonas onde a solução da função real se altera rapidamente, [39, 44, 45].

2.5.3 Método de Runge-Kutta de 4ª ordem

Os métodos de Runge-Kutta foram desenvolvidos com o objetivo de aumentar a precisão e estabilidade do método de Euler. Existem vários tipos de métodos de Runge-Kutta:

- Método de Heun's (Runge-Kutta de 2ª ordem)
- Método do ponto médio (Runge-Kutta de 2ª ordem)
- Runge-Kutta de 3ª ordem
- Runge-Kutta de 4ª ordem

Esta familia de métodos foi desenvolvida por dois matemáticos alemães, C.Runge por volta de 1894 e foi expandido anos mais tarde por M.W.Kutta [4].

O método de Ruge-Kutta de 4ª ordem é o mais utilizado pois é o que oferece maior simplicidade de implementação, estabilidade e boa precisão [4]. À medida que se aumenta a ordem do método de Runge-Kutta diminuem os erros localizados, aumenta a precisão, mas aumenta também a dificuldade de implementação [40, 46].

Para muitos o método de Runge-Kutta de 4ª ordem representa o perfeito equilíbrio entre alta precisão e dificuldade de implementação relativamente simples [40].

A implementação do método de Runge-Kutta de 4ª ordem segue a seguinte forma,

$$y_{i+h} = y_i + \frac{h}{6} \cdot (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \tag{2.73}$$

Onde,

$$k_1 = f(x_i, y_i) \tag{2.74a}$$
$$k_2 = f(x_i + \frac{1}{2} \cdot h, y_i + \frac{1}{2} \cdot k_1 \cdot h) \tag{2.74b}$$
$$k_3 = f(x_i + \frac{1}{2} \cdot h, y_i + \frac{1}{2} \cdot k_2 \cdot h) \tag{2.74c}$$
$$k_4 = f(x_i + h, y_i + k_3 \cdot h) \tag{2.74d}$$

Um exemplo das diferenças resultantes da aplicação dos dois métodos pode ser verificado para a EDO de segunda ordem representada na Equação 2.75, [4].

$$y'' - 3y' + 2y = 0, \quad y(0) = -1, \quad y'(0) = 0 \tag{2.75}$$

A solução exata do problema é dada pela Equação 2.76, [4].

$$y(0) = e^{2x} - 2e^{x} \tag{2.76}$$

Considerando o intervalo $0 \leq x \leq 1$ e um passo de integração $h = 0,1$, a Figura 2.8 apresenta as diferenças entre a solução exata e as soluções aproximadas obtidas ao utilizar o método de Runge-Kutta de 4ª ordem e o método de Euler.

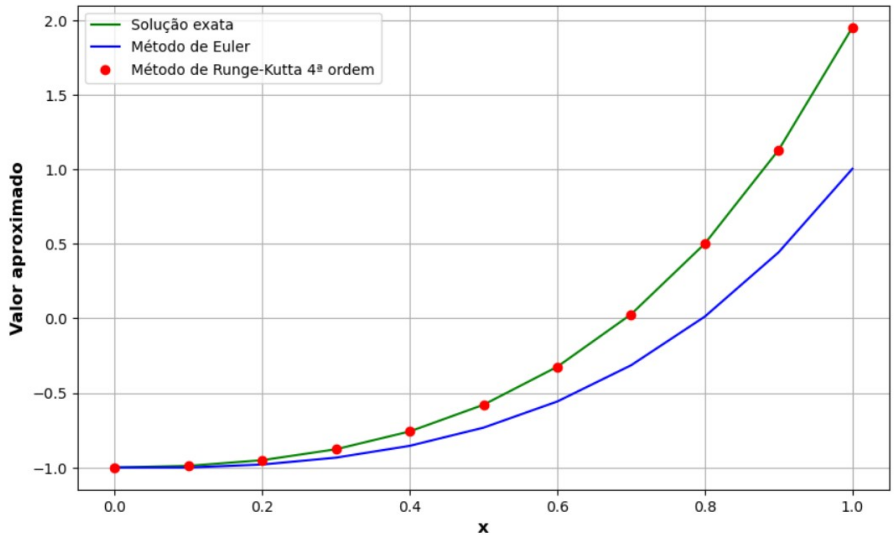


Figura 2.8: Comparação entre a solução exata e soluções aproximadas pelos métodos de Runge-Kutta de 4ª ordem e método de Euler, adaptado de [4]

A solução exata é representada a traço verde contínuo, a solução aproximada de Euler é representada a traço azul contínuo e a solução aproximada obtida através da implementação do método de Runge-Kutta de 4ª ordem é apresentada por pontos vermelhos.

3 Métodos e Aplicação

No presente capítulo são descritos os métodos utilizados para implementação do estudo proposto.

Para aplicação do trabalho exposto, foram elaboradas folhas de cálculo em *Excel* que, pretendem tornar mais célere o processo de cálculo do equilíbrio químico e ainda, uma rotina de cálculo em linguagem de programação *Phyton* com o intuíto de realizar os cálculos referentes ao mecanismo cinemático e cinética química, implementado, os métodos de integração numérica de equações diferenciais, método de Euler e método de Runge-Kutta de 4ª ordem.

O estudo recai sobretudo sobre o tempo de expansão do cilindro uma vez que, é neste instante que a formação de óxidos de azoto prevalece. São no entanto avaliados os restantes tempos do ciclo, nomeadamente, o de admissão e compressão, para que seja possivel posteriormente estar munido das informações necessárias para se proceder à caracterização da expansão em maior detalhe.

3.1 Equilíbrio químico

A análise do equilíbrio químico é feita recorrendo a uma folha de cálculo em *Excel*.

Para a queima considera-se uma mistura de metano e hidrogénio, simulando assim mais fidedignamente a queima de hidrogénio praticada na indústria. Dos vários produtos de combustão que se podiam considerar, foram escolhidos os mais habituais para queimas estequiométricas ou pobres, assim como os que se encontram representados no mecanismo de Zeldovich.

Consideram-se assim como produtos de reação presentes nos fumos resultantes da queima o CO_2, CO, H_2, H_2O, NO, O_2, N, N_2, O, OH e H.

A queima descrita é apresentada na Equação 3.1.

$$\begin{aligned} &aH_2 + bCH_4 + n_0(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow n_1CO_2 + n_2CO + n_3H_2 \\ &+ n_4H_2O + n_5NO + n_6O_2 + n_7N + n_8N_2 + n_9O + n_{10}OH + n_{11}H \end{aligned} \tag{3.1}$$

O trabalho desenvolvido pretende determinar as emissões poluentes de um motor que realize este tipo de queima.

De forma a abranger diferentes tamanhos de motor, procura-se exibir os resultados obtidos por unidade de volume. Para isso foi considerado que o volume total da câmara de combustão (V_{PMI}) é de 1 m^3.

A determinação das quantidades molares dos combustíveis é feita tendo em consideração que, no volume considerado, existem CH_4, H_2 e Ar.

As entradas a definir pelo utilizador para utilização da folha de cálculo são as percentagens volúmicas de H_2 e CH_4 no combustível, representadas pelas Equações 3.2a e 3.2b, a razão de compressão (ρ) utilizada e o excesso de ar ($e(\%)$) considerado.

A temperatura e pressão de admissão são consideradas constantes com os valores de $P_{admissão} = 101325\ Pa$ e $T_{admissão} = 60\ °C\ (333,15\ K)$. A expoente politrópica (γ) também é considerada constante e com o valor de 1,40.

$$V_{CH_4}(\%) = \frac{V_{CH_4}}{V_{CH_4} + V_{H_2}} \cdot 100 \tag{3.2a}$$

$$V_{H_2}(\%) = \frac{V_{H_2}}{V_{CH_4} + V_{H_2}} \cdot 100 \tag{3.2b}$$

A Equação 3.3 expressa os volumes de espécies químicas contidas no cilindro.

$$\begin{aligned} V_{total\ do\ cilindro} &= V_{CH_4} + V_{H_2} + V_{Ar} \\ &= V_{CH_4} + V_{H_2} + V_{O_2} + V_{N_2} \end{aligned} \tag{3.3}$$

De forma a calcular os volumes de cada espécie química, os volumes de H_2, O_2 e N_2 são expressos em função de V_{CH_4}.

Considerando $V_{CH_4}(\%) = i$ e $V_{H_2}(\%) = j$, podemos escrever o V_{H_2} em função de V_{CH_4}, Equação 3.4.

$$V_{H_2} = \frac{j}{i} \cdot V_{CH_4} \tag{3.4}$$

A quantidade molar de ar (n_0), na Equação 3.1 é dada pelas quantidades molares de metano (b) e hidrogénio (a), Equação 3.5.

$$n_0 = 2b + 0,5a \cdot \left(\frac{e(\%)}{100} + 1\right) \tag{3.5}$$

Uma vez que, n_0 é quantidade molar de O_2 e a quantidade molar de N_2 afeta da razão de multiplicação de 3,76, é possivel calcular V_{O_2} e V_{N_2} segundo as Equações 3.6a e 3.6b.

$$V_{O_2} = V_{CH_4} \cdot \left(2 + 0,5 \cdot \frac{j}{i}\right) \cdot \left(\frac{e(\%)}{100} + 1\right) \tag{3.6a}$$

$$V_{N_2} = 3,76 \cdot V_{CH_4} \cdot \left(2 + 0,5 \cdot \frac{j}{i}\right) \cdot \left(\frac{e(\%)}{100} + 1\right) \tag{3.6b}$$

Logo, V_{Ar} é dado pela Equação 3.7.

$$V_{Ar} = V_{CH_4} \cdot \left(2 + 0,5 \cdot \frac{j}{i}\right) \cdot \left(\frac{e(\%)}{100} + 1\right) \cdot 4,76 \tag{3.7}$$

Considerando o volume total do cilindro igual a 1 m^3, o volume dentro deste ocupado pelo metano é dado pela Equação 3.8.

$$V_{CH_4} = \frac{1}{1 + \frac{i}{j} + 4,76\left(2 + 0,5 \cdot \frac{i}{j}\right) \cdot \left(\frac{e(\%)}{100} + 1\right)} \tag{3.8}$$

As quantidades molares dos reagentes são calculadas através da equação dos gases perfeitos, Equação 3.9.

$$P \cdot V = n \cdot R_u \cdot T \tag{3.9}$$

Com as quantidades molares dos reagentes determinadas, resta apenas investigar as quantidades molares das 11 espécies químicas nos produtos de reação.

Para isso procede-se à implementação de um sistema de 11 equações, visível nas equações legendadas como Equações 3.11, à semelhança do exemplo anteriormente demonstrado para a Equação 2.40.

O sistema é composto pelas 4 equações de balanço atómico do carbono (C), hidrogénio (H), oxigénio (O) e azoto (N), Equações 3.11a, 3.11b, 3.11c e 3.11d, respetivamente.

Para as restantes equações recorre-se a 7 equações de equilíbrio, Equações 3.10a a 3.10g, cuja a implementação no sistema de equações segue a forma apresentada pelas Equações 3.11e a 3.11k. Os símbolos P e T, representam a pressão e temperatura no final da explosão, respetivamente e P_0, representa a pressão de admissão.

$$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2 \tag{3.10a}$$
$$CO + 1/2\ O_2 \rightleftarrows CO_2 \tag{3.10b}$$
$$H_2 + 1/2\ O_2 \rightleftarrows H_2O \tag{3.10c}$$
$$O_2 \rightleftarrows 2\ O \tag{3.10d}$$
$$H_2 \rightleftarrows 2\ H \tag{3.10e}$$
$$H_2 + O_2 \rightleftarrows 2\ OH \tag{3.10f}$$
$$N_2 + O_2 \rightleftarrows 2\ NO \tag{3.10g}$$

$$b = n_1 + n_2 \tag{3.11a}$$
$$2a + 4b = 2n_3 + 2n_4 + n_{10} + n_{11} \tag{3.11b}$$
$$2n_0 = 2n_1 + n_2 + n_4 + n_5 + 2n_6 + n_9 + n_{10} \tag{3.11c}$$
$$7,52n_0 = n_5 + n_7 + 2n_2 \tag{3.11d}$$
$$\frac{n_1 \cdot n_3}{n_2 \cdot n_4} = exp\left(-\frac{g^0_{CO_2} + g^0_{H_2} - g^0_{CO} - g^0_{H_2O}}{R_u \cdot T}\right) \tag{3.11e}$$
$$\frac{n_1}{n_2 \cdot \sqrt{\frac{P}{P_0} \cdot \frac{n_6}{n_{total}}}} = exp\left(-\frac{g^0_{CO_2} - g^0_{CO} - \frac{1}{2}g^0_{O_2}}{R_u \cdot T}\right) \tag{3.11f}$$
$$\frac{n_4}{n_3 \cdot \sqrt{\frac{P}{P_0} \cdot \frac{n_6}{n_{total}}}} = exp\left(-\frac{g^0_{H_2O} - g^0_{H_2} - \frac{1}{2}g^0_{O_2}}{R_u \cdot T}\right) \tag{3.11g}$$
$$\frac{P}{P_0} \cdot \frac{n_9^2}{n_6 \cdot n_{total}^2} = exp\left(-\frac{2g^0_O - g^0_{O2}}{R_u \cdot T}\right) \tag{3.11h}$$
$$\frac{P}{P_0} \cdot \frac{n_{11}^2}{n_3 \cdot n_{total}^2} = exp\left(-\frac{2g^0_H - g^0_{H2}}{R_u \cdot T}\right) \tag{3.11i}$$
$$\frac{n_5^2}{n_8 \cdot n_6} = exp\left(-\frac{2g^0_{NO} - g^0_{N_2} - g^0_{O_2}}{R_u \cdot T}\right) \tag{3.11j}$$
$$\frac{n_{10}^2}{n_3 \cdot n_6} = exp\left(-\frac{2g^0_{OH} - g^0_{H_2} - g^0_{O_2}}{R_u \cdot T}\right) \tag{3.11k}$$

Para a determinação da razão de pressões entre a pressão de fim de explosão e a pressão de admissão é necessário estar previamente munido das temperaturas de início e fim de explosão.

A temperatura de início de explosão é dada pela Equação 3.12, adaptada da Equação 2.6.

$$T_{inicio\ de\ explosão} = T_{inicio\ de\ compressão} \cdot \rho^{\gamma-1} \tag{3.12}$$

A temperatura de fim de explosão é calculada através de um processo iterativo, uma vez que, tanto os calores específicos como a temperatura de fim de explosão são dependentes uns dos outros.

O calor específico a volume constante é obtido a partir do calor específico a pressão constante, calculado em $J/(kmol.K)$, através da Equação 3.13, referente ao N_2, de forma a melhor assemelhar as propriedades da mistura às propriedades do ar, como foi referido até ao momento [8].

$$\begin{aligned} c_p = R_u \cdot (&2,926640 + 1,4879768E-3 \cdot T_{med} - 5,684760E-7 \cdot T_{med}^2 \\ &+ 1,0097038E-10 \cdot T_{med}^3 - 6,753351E-15 \cdot T_{med}^4) \end{aligned} \tag{3.13}$$

A temperatura T_{med} é a temperatura média de explosão, calculada através da média entre as temperaturas de início e fim de explosão.

A massa molar da mistura é calculada através da Equação 3.14.

$$MM_{mistura} = MM_{CH_4} \cdot x_{CH_4} + MM_{H_2} \cdot x_{H_2} + MM_{O_2} \cdot x_{O_2} + MM_{N_2} \cdot x_{N_2} \tag{3.14}$$

De forma a converter as unidades do calor específico a volume constante em $J/(kg.K)$ divide-se o valor obtido pela Equação 3.13 pela massa molar obtida através da Equação 3.14. De forma semelhante é obtido a constante de gás perfeito da mistura (R), seguindo a Equação 3.15.

$$R_{mistura} = \frac{R_u}{MM_{mistura}} \tag{3.15}$$

Determinada a constante de gás perfeito (R) e calor específico a presssão constante (c_p) é possível calcular o calor específico a volume constante (c_v), seguindo a Equação 3.16.

$$c_v = c_p - R \tag{3.16}$$

A temperatura de fim de explosão é determinda pela Equação 3.17, derivada da Equação 2.9.

$$T_{fim\ de\ explosão} = T_{inicio\ de\ explosão} + \frac{m_{CH_4} \cdot PCI_{CH_4} + m_{H_2} \cdot PCI_{H_2}}{c_v \cdot m_{total}} \tag{3.17}$$

Onde m_{total} representa a massa de todos os reagentes envolvidos, combustível e ar, CH_4, H_2, O_2 e N_2.

Tabela 3.1: Poderes caloríficos dos combustíveis, adaptado de [8] e [9]

Combustível	**Poder calorífico inferior (PCI) [kJ/kg]**
H_2	119600
CH_4	50016

Os valores dos poderes caloríficos utilizados, Tabela 3.1, são adaptados de valores presentes nos livros de Turns e Perrys [8], [9].

Desta a forma, a temperatura de fim de explosão é determinada algumas vezes a fim de fazer variar o calor específico a pressão constante, até que, a variação de temperatura de fim de explosão seja irrisória, o processo iterativo tende a ser resolvido dentro de 10 iterações.

A razão entre pressões de fim de explosão e de admissão (considerada atmosférica) é obtida através da Equação 3.18, derivada das Equações 2.3 e 2.4.

$$\frac{P_{fim\ de\ explosão}}{P_0} = \frac{T_{fim\ de\ explosão}}{T_{inicio\ de\ explosão}} \cdot \rho^{\gamma} \tag{3.18}$$

Onde P_0 representa a pressão de admissão igual à pressão atmosférica (1 *bar* ou 101325 Pa).

Com recurso a valores tabelados das energias livres de formação de Gibbs, retirados de Turns [8], visível no ANEXO A 5.1, é possivel proceder ao cálculo das quantidades molares, e respetivas frações molares, dos fumos produtos da combustão da mistura de combustível reagente.

Para resolução do sistema de Equações 3.11a a 3.11k na folha de *Excel*, recorreu-se à ferramenta de cálculo Solver, utilizando o método do gradiente reduzido generalizado (GRG), apropriado para resolução de problemas não lineares uniformes. A função objetivo, Equação 3.19, é dada pela lei da conservação de massa, que estipula que a massa total de reagentes deve ser igual à massa total de fumos.

$$\sum_{reagentes} n_{reagente} \cdot MM_{reagente} = \sum_{produtos} n_{produto} \cdot MM_{produto} \tag{3.19}$$

As massas molares utilizadas para cada elemento químico são apresentadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Massas molares dos principais elementos químicos

Elemento químico	**Símbolo químico**	**Massa Molar [kg/kmol]**
Carbono	C	12,011
Hidrogénio	H	1,00794
Oxigénio	O	15,9994
Azoto	N	14,0067

3.2 Mecanismo cinemático

O mecanismo cinemático do motor é avaliado por via de uma rotina de cálculo desenvolvida em linguagem *Python*.

O modelo desenvolvido, permite dividir a evolução da expansão no cilindro em ínfimos intervalos de tempo. Realizam-se cálculos para cada um desses intervalos de tempo, permitindo assim, recolher informação sobre o instante da expansão analisado.

Os dados a introduzir no programa, para o mecanismo cinemático, são: intervalo de tempo ($\triangle t$), rotações por minuto (n) e a razão de expansão do ciclo.

O mecanismo cinemático, Figura 3.1, é do tipo biela-manivela.

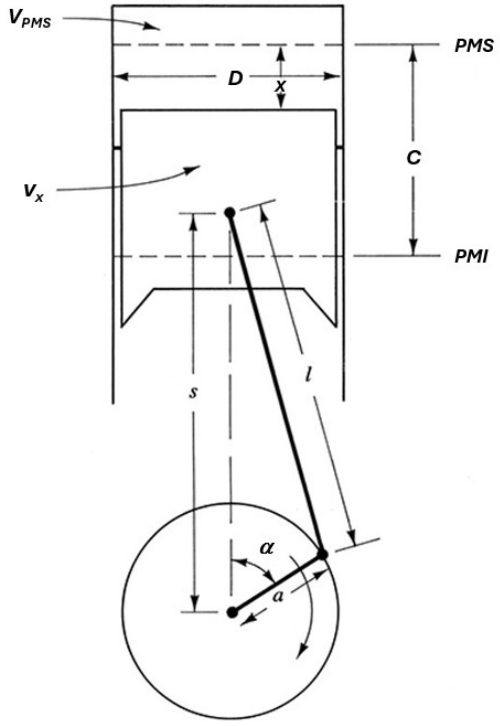


Figura 3.1: Mecanismo cinemático, adaptado de [2]

Cada ciclo completo do motor corresponde a quatro tempos: admissão, compressão, explosão-expansão e escape.

Durante a admissão e compressão, a manivela realiza uma rotação completa e durante a explosão-expansão e escape a manivela completa outra rotação. Assume-se assim que, a cada ciclo, a manivela completa duas rotações completas. O tempo de um ciclo em segundos, é então, dado pela Equação 3.20.

$$t_{ciclo} = 120/n \tag{3.20}$$

O tempo de expansão, um dos quatro tempos do ciclo, deve portanto, demorar 1/4 do tempo total de um ciclo.

O tempo de expansão é calculado segundo a Equação 3.21.

$$t_{expansão} = 30/n \tag{3.21}$$

O tempo de expansão corresponde a meia rotação da manivela, $180^{\underline{o}}$, logo, o ângulo de rotação da manivela realizado num dado intervalo de tempo ($\triangle\alpha$), é dado pela Equação 3.22

$$\triangle\alpha = \frac{180 \cdot \triangle t}{30} \cdot n = 6 \cdot \triangle t \cdot n \tag{3.22}$$

O ângulo da manivela (α), num determinado instante de tempo, é calculado somando ao ângulo imediatamente anterior, o acréscimo calculado pela Equação 3.22, $\alpha_i = \alpha_{i-1} + \triangle\alpha$, sabendo que, $\alpha_0 = 0°$ e $\alpha_{final} = 180°$.

O mesmo processo é utilizado para determinar o instante de tempo em que a expansão se encontra. Definido um intervalo de tempo ($\triangle t$), o instante de tempo em que a evolução da expansão se encontra é dado por $t_i = t_{i-1} + \triangle t$, sabendo que, $t_0 = 0$ segundos e $t_{final} = t_{expansão} = 30/n$ segundos.

A Figura 3.2 apresenta uma representação simplista de um sistema biela-manivela, onde, l representa o comprimento da biela e a o comprimento da manivela. Os símbolos l' e a' representam a projeção vertical da biela e da manivela, respetivamente. A letra s representa a projeção vertical do sistema biela-manivela e b representa as projeções horizontais da biela e da manivela.

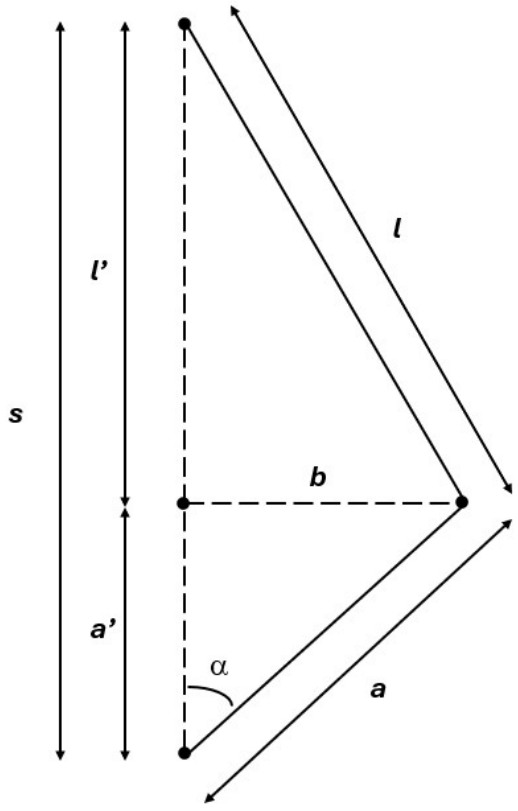


Figura 3.2: Sistema biela-manivela

Da Figura 3.2 conclui-se que as projeções verticais da biela e da manivela são dadas pelas Equações 3.23 e 3.24, respetivamente.

$$a' = a \cdot cos(\alpha) \tag{3.23}$$

$$\begin{aligned} l^2 &= l'^2 + b^2 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow l' &= \sqrt{l^2 - b^2} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow l' &= \sqrt{l^2 - [a \cdot sen(\alpha)]^2} \end{aligned} \tag{3.24}$$

Admite-se assim que s é dado pela Equação 3.25.

$$\begin{aligned} s &= a' + l' \\ &= a \cdot cos(\alpha) + \sqrt{l^2 - [a \cdot sen(\alpha)]^2} \end{aligned} \tag{3.25}$$

Os comprimentos da biela e manivela são arbitrados como 0,2 m e 0,06 m, repetivamente.

Ao longo da expansão, varia o volume da câmara de combustão, o ângulo da manivela (α), o tempo e o valor de s entre o comprimento máximo de $l + a$ e o mínimo de $l - a$.

Na Figura 3.1, é possivel observar a posição do êmbolo, com origem no PMS, representada por X. A posição do êmbolo (X) em determinado instante pode ser calculada recorrendo à Equação 3.26.

$$\begin{aligned} X_{\hat{e}mbolo} &= l + a - s \\ &= l + a - \left(a \cdot cos(\alpha) + \sqrt{l^2 - [a \cdot sen(\alpha)]^2}\right) \\ &= a \cdot [1 - cos(\alpha)] + l \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{a}{l}\right)^2 \cdot sen(\alpha)^2}\right] \end{aligned} \tag{3.26}$$

A concentração inicial das moléculas que compõem os fumos da combustão é dada para o volume do ponto morto superior (V_{PMS}), uma vez que, no instante da explosão o êmbolo se encontra na posição máxima dentro do cilindro. É por isso importante, estabelecer a razão entre o volume em determinado instante da expansão (V_X) e o mínimo volume da câmara de combustão (V_{PMS}), de forma a, calcular corretamente a concentração das espécies químicas à medida que, o volume da câmara de combustão aumenta.

A Equação 3.27, é utilizada para calcular a razão entre estes dois volumes, onde, D é o diamêtro do cilindro.

$$\begin{aligned} V_X = V_{PMS} + \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot X_{\hat{e}mbolo} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \frac{V_X}{V_{PMS}} = 1 + \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot V_{PMS}} \cdot X_{\hat{e}mbolo} \end{aligned} \tag{3.27}$$

A expressão matemática acima é passivel de ser modificada, retirando o diâmetro, cujo valor não é arbitrado e utilizando noções da razão de compressão que é conhecida.

A razão de compressão (ρ), é dada pela razão entre o V_{PMI} e o V_{PMS}. Sabendo que, o volume do ponto morto inferior (V_{PMI}) é dado pela soma entre os volumes do ponto morto superior (V_{PMS}) e o volume total varrido pelo êmbolo ($V_{varrido}$), cujo curso corresponde a meia rotação da manivela e portanto, ao diâmetro da própria manivela ($2a$), é possivel desenvolver a Equação 3.28.

$$\begin{aligned}
\rho &= \frac{V_{PMI}}{V_{PMS}} \Leftrightarrow \\
\Leftrightarrow \rho &= \frac{V_{varrido} + V_{PMS}}{V_{PMS}} \Leftrightarrow \\
\Leftrightarrow \rho &= \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot V_{PMS}} \cdot 2a + 1 \Leftrightarrow \\
\Leftrightarrow \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot V_{PMS}} &= \frac{\rho - 1}{2a}
\end{aligned} \tag{3.28}$$

Assim, é possivel reescrever a Equação 3.27, de forma a que dependenda apenas dos valores de ρ e do $X_{\hat{e}mbolo}$, conforme apresentado na Equação 3.29

$$\frac{V_X}{V_{PMS}} = 1 + \frac{X_{\hat{e}mbolo}}{2a} \cdot (\rho - 1) \tag{3.29}$$

3.3 Cinética química

O processo de cinética química é também estudado recorrendo à rotina de cálculo em linguagem *Python*.

Os dados a introduzir no programa, para o mecanismo cinemático, são: as frações molares percentuais ($x_i(\%)$) dos produtos dos fumos após a explosão e ainda, a pressão e temperatura de fim de explosão e início de expansão.

A concentração inicial das espécies químicas, Equação 3.31, é definida através da equação dos gases perfeitos, Equação 3.30.

$$P \cdot V = n \cdot R_u \cdot T \tag{3.30}$$

$$[X]_i = \frac{x_i(\%)}{100} \cdot \frac{P}{R_u \cdot T} \tag{3.31}$$

Durante o tempo de expansão, o equilibrio químico, atingido após a explosão, altera-se por via de cinética química. Para caracterização deste processo de cinética química recorre-se ao mecanismo de Zeldovich.

As taxas de reação do mecanismo cinético de Zeldovich, apresentadas pela Tabela 2.5, dependem da temperatura. Com o aumento do volume da câmara de combustão durante a expansão, diminuem tanto a pressão como a temperatura.

De forma a calcular a temperatura em determinado instante ao longo da expansão (T_i) utiliza-se a Equação 3.32, onde V_X é o volume da câmara de combustão para a posição X do êmbolo.

$$T_i = T_{inicio\ de\ expansão} \cdot \left(\frac{V_{PMS}}{V_X}\right)^{\gamma - 1} \tag{3.32}$$

Para determinar a evolução da pressão durante a expansão (P_i), utiliza-se a Equação 3.33.

$$P_i = P_{inicio\ de\ expansão} \cdot \left(\frac{V_{PMS}}{V_X}\right)^{\gamma} \tag{3.33}$$

A formação e destruição de moléculas segundo o mecanismo de Zeldovich é definida pelas Equações 3.34a a 3.34k.

$$P_{CO_2} = 0 \tag{3.34a}$$
$$P_{CO} = 0 \tag{3.34b}$$
$$P_{H_2} = 0 \tag{3.34c}$$
$$P_{H_2O} = 0 \tag{3.34d}$$
$$\begin{aligned} P_{NO} = {} & k_1[N_2][O] + k_2[N][O_2] + k_3[N][OH] \\ & - k_{1r}[NO][N] - k_{2r}[NO][O] - k_{3r}[NO][H] \end{aligned} \tag{3.34e}$$
$$P_{O_2} = k_{2r}[NO][O] - k_2[N][O_2] \tag{3.34f}$$
$$\begin{aligned} P_N = {} & k_1[O][N_2] + k_{2r}[NO][O] + k_{3r}[NO][H] \\ & - k_{1r}[NO][N] - k_2[N][O_2] - k_3[N][OH] \end{aligned} \tag{3.34g}$$
$$P_{N_2} = k_{1r}[NO][N] - k_1[O][N_2] \tag{3.34h}$$
$$P_O = k_{1r}[NO][N] + k_2[N][O_2] - k_1[O][N_2] - k_{2r}[NO][O] \tag{3.34i}$$
$$P_{OH} = k_{3r}[NO][H] - k_3[N][OH] \tag{3.34j}$$
$$P_H = k_3[N][OH] - k_{3r}[NO][H] \tag{3.34k}$$

A determinação das concentrações num intervalo de tempo especifico realiza-se recorrendo a métodos numéricos, na maior parte dos casos, utiliza-se o método de Runge-Kutta de 4ª ordem.

Como o nome indica, para determinar a concentração, recorre-se ao cálculo de quatro declives distintos de modo a aumentar a exatidão da solução.

A Equação 3.35 decreve o método de Runge-Kutta de 4ª ordem, onde, j representa a molécula dos fumos de combustão e i o instante de tempo.

$$[X]_j(t_i + \triangle t) = [X]_j(t_i) + \frac{1}{6} \cdot (d_1 + 2d_2 + 2d_3 + d_4) \cdot \triangle t \tag{3.35}$$

A aplicação do método é representada gráficamente na Figura 3.3.

Cada molécula, produto de combustão, é sujeita ao método de Runge-Kutta de 4ª ordem, tendo por isso, declives e concentrações intermédias próprias a calcular.

Os declives são calculados aplicando o método de Zeldovich, utilizando as concentrações molares calculadas no ponto imediatamente anterior, Equações 3.36a a 3.36d.

$$d_j^1 = f\left([X]_j, ti\right) \tag{3.36a}$$
$$d_j^2 = f\left([X]_j + d_j^1 \cdot \frac{\triangle t}{2}, ti\right) \tag{3.36b}$$
$$d_j^3 = f\left([X]_j + d_j^2 \cdot \frac{\triangle t}{2}, ti\right) \tag{3.36c}$$
$$d_j^4 = f\left([X]_j + j_j^3 \cdot \triangle t, ti\right) \tag{3.36d}$$
$$\tag{3.36e}$$

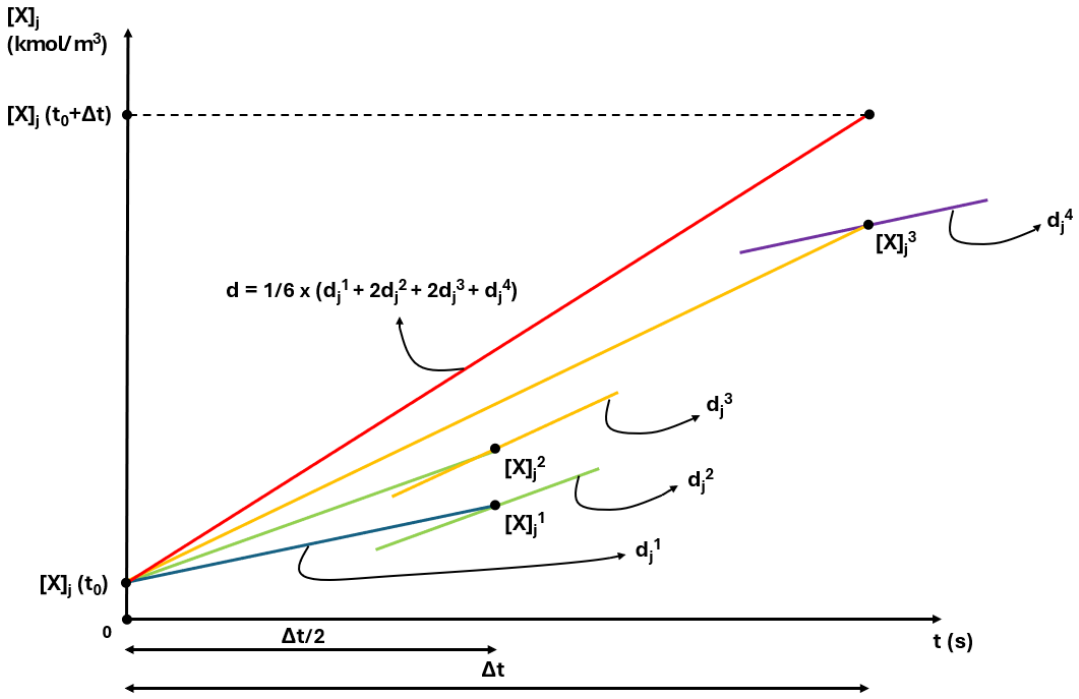


Figura 3.3: Representação gráfica de Runge-Kutta de 4ª ordem

O primeiro de declive (d_j^1) é dado pela produção da molécula (P_j), obtida através do método de Zeldovich para $[X]_j(t_i)$. A primeira concentração intermédia ($[X]_j^1$), é calculada segundo a Equação 3.37.

$$[X]_j^1 = [X]_j(t_i) + d_j^1 \cdot \frac{\triangle t}{2} \tag{3.37}$$

O segundo declive (d_j^2) é calculado mediante as novas produções de cada molécula. Aplica-se novamente o mecanismo de Zeldovich, Equações 3.34a a 3.34k, utilizando agora as concentrações $[X]_j^1$.

À semelhança do cálculo realizado anteriormente, a segunda concentração intermédia é dada pela Equação 3.38.

$$[X]_j^2 = [X]_j(t_i) + d_j^2 \cdot \frac{\triangle t}{2} \tag{3.38}$$

O processo repete-se para o cálculo do terceiro declive (d_j^3). Com as segundas concentrações intermédias ($[X]_j^2$), repete-se o cálculo para as produções de cada espécie química segundo Zeldovich. As terceiras concentrações intermédias ($[X]_j^3$) são dadas pela Equação 3.39.

$$[X]_j^3 = [X]_j(t_i) + d_j^3 \cdot \triangle t \tag{3.39}$$

A ultima concentração intermédia ($[X]_j^3$) permite proceder, mais uma vez, à utilização do método de Zeldovich para determinação de nova formação ou destruição, dos produtos da combustão e consequentemente, à obtenção do quarto declive (d_j^4).

Com todos os declives calculados, recorre-se à Equação 3.40 para o cálculo do declive final a aplicar.

$$d_{j\ final} = \frac{1}{6} \cdot (d_j^1 + 2d_j^2 + 2d_j^3 + d_j^4) \tag{3.40}$$

A concentração final, isto é, para o instante de tempo analisado $(t_i + \triangle t)$, afeta da correção de volume para esse instante de tempo é dada pela Equação 3.41.

$$[X]_j(t_i + \triangle t) = ([X]_j(t_i) + d_{j\ final} \cdot \triangle t) \cdot \frac{V_{t_i}}{V_{t_i+\triangle t}} \tag{3.41}$$

Onde $V_{t_i+\triangle t}$ é o volume para o instante de tempo estudado e V_{t_i} é o volume verificado no instante de tempo imediatamente anterior, do qual a concentração estava afeta. É importante realçar que, embora as moléculas de CO_2, CO, H_2 e H_2O apresentem produções nulas segundo o mecanismo de Zeldovich, é expectável que as suas concentrações se alterem ao longo da expansão, diminuindo, derivado do aumento de volume da câmara de combustão.

3.4 Aplicação dos métodos

De acordo com o estipulado acima, foram utilizadas duas ferramentas computacionais para desenvolver o trabalho aqui expresso.

O livro de *Excel* ocupa-se do processo de admissão, compressão e explosão, fazendo uso do Solver, através do método GRG, para estimar as quantidades molares dos fumos resultantes da queima.

O programa desenvolvido em *Python*, visível no Apêndice C 5.1, analisa toda a atividade durante a expansão: mecanismo cinemático e equilíbrio químico. Recorre ao método de Zeldovich para determinação da formação ou destruição, de espécies químicas e ao método de Runge-kutta de 4ª ordem para integrar os resultados obtidos.

A necessidade de utilização destas ferramentas advém da quantidade de cálculos que é necessário realizar.

A folha de cálculo *Excel* permite, obter de forma célere, todos os dados exigidos pelo programa *Python*. É capaz de realizar grande parte dos cálculos de forma automática e permite ainda guardar os resultados da simulação da expansão.

A rotina de cálculo em linguagem *Python*, permite avaliar a expansão realizando vários cálculos que pretendem quantificar vários parâmetros como a temperatura, pressão, ângulo da manivela, concentrações e produções/consumos dos produtos da combustão. A precisão obtida está diretamente relacionada com o número de cálculos realizados, controlado pelo incremento temporal escolhido.

3.4.1 Aplicação dos métodos para o ciclo Otto

Antes de realizar qualquer teste concreto, foram realizados testes experimentais, para o ciclo Otto, onde se variavam parâmetros que influenciavam apenas a expansão, cuja a variação não alterava a cinética química. Testou-se inicialmente a influência do intervalo de tempo e do número de rotações por minuto.

Testaram-se 3 intervalos de tempo de 10^{-9} s, 10^{-10} s e 10^{-11} s e ainda, 5 velocidades ângulares distintas para o motor, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm e 4000 rpm.

Estudados os parâmetros que não afetavam a combustão, deu-se início ao estudo de parâmetros que influenciavam esta de forma direta. Inicialmente para o ciclo Otto, fizeram-se variar parâmetros como a razão de quantidade entre combustíveis, o excesso de ar utilizado para a queima e a razão de compressão do motor.

As quantidades de cada combustível foram estabelecidas em função do volume, dado que este era o fator limitante do cilindro. Foram testados 6 tipos de diferentes misturas, existindo espaço para misturas em que a maioria do combustível era constituido por H_2, misturas de igualdade entre combustíveis e misturas maioritariamente constituidas por CH_4. As misturas utilizadas, representadas em frações volúmicas de combusível são: $5\%CH_4/95\%H_2$, $20\%CH_4/80\%H_2$, $50\%CH_4/50\%H_2$, $70\%CH_4/30\%H_2$, $80\%CH_4/20\%H_2$ e $90\%CH_4/10\%H_2$ [21], [47], [48], [49], [50], [51] e [52].

Os excessos de ar foram variados desde a estequiometria, até que a sua variação deixava de ter efeito nos resultados obtidos para a expansão. Foram utilizados valores de excesso de ar de 0%, 20% e 50% [15].

As razões de compressão foram variadas segundo o intervalo mais comum para razões de compressão para motores de ignição comandada, de 8 a 12, segundo Heywood [2]. Foram utilizadas 3 razões de compressão distintas, 8, 10 e 12.

Parte dos resultados dos testes realizados para o ciclo Otto, podem ser consultados no Apêndice A 5.1.

3.4.2 Aplicação dos métodos para o ciclo Aktinson

Após o estudo do ciclo Otto deu-se início ao estudo do ciclo de Atkinson.

A análise do ciclo Aktinson seguiu um processo semelhante ao utilizado para o ciclo Otto. Estabelecido o intervalo de tempo e velocidade ângular a utilizar, 10^{-10} s e 3000 rpm, respetivamente, fez-se variar as razões entre combustíveis, excessos de ar e razões de expansão.

Os diferentes tipos de mistura de combustível utilizados, assim como os excessos de ar, foram os mesmos já testados anteriormente para o ciclo Otto.

Desta vez interessava variar a razão de expansão, de forma a que esta fosse superior à razão de compressão. Optou-se por utilizar uma razão de compressão de 10 para o motor, ao passo que, as razões de expansão utilizadas foram de 13 e 15, ao que correspondem valores de relação de expansão de 1,3 e 1,5, respetivamente, [53], [54] e [55].

Parte dos resultados dos testes realizados para o ciclo Atkinson, podem ser consultados no Apêndice B 5.1.

4 Resultados e Discussão

Neste capítulo são expostos os resultados obtidos do estudo da expansão, 54 testes para o ciclo Otto e 36 testes para o ciclo Atkinson.

Inicialmente são expostos os dados de partida para todos os testes realizados para diferentes ciclos, propriedades das misturas e dos produtos de combustão. São depois apresentados os resultados da análise da expansão, temperatura, pressão e os principais poluentes, CO_2, CO e NO.

4.1 Resultados do ciclo Otto

Previamente à realização de qualquer teste concreto, foram realizados testes experimentais que visavam a análise da influência de parâmetros que não afetavam o equilíbrio químico.

Para este teste experimental foi considerado uma mistura única de 1 kmol de H_2 e 0,5 kmol de CH_4, alimentada com 20% de excesso de ar, razão de compressão 10, expoente politrópica de 1,40 e temperatura de admissão de 60 ºC. As caracteríStcas específicas para a simulação estão expostas na Tabela 4.1. A temperatura e pressão apresentadas são os valores de fim de compressão e início de expansão.

Propriedade	**Valor**	**Unidade**
$T_{inicial}$	3153,74	K
$P_{inicial}$	94,664	bar
$\rho_{expansão}$	10	-
n	2000/2500/3000/3500/4000	rpm
γ	1,40	-
$t_{expansão}$	0,015/0,012/0,010/0,09/0,08	s
$manivela$	0,06	m
$biela$	0,120	m
$biela/manivela$	0,3	-
$\triangle t$	$10^{-9}/10^{-10}/10^{-11}$	s
$Método$	Euler/Runge-Kutta	-

Tabela 4.1: Parâmetros de testes experimentais

Testou-se o impacto do incremento temporal e velocidade angular do motor, a fim de aferir a importância destes, uma vez que, o impacto da variação destes parâmetros no tempo computacional exigido era expectável.

Com o aumento da velocidade angular do motor, o tempo de expansão diminui, comprovado pela Equação 3.21. Quanto menor o valor do intervalo temporal utilizado, mais cálculos terão de ser realizados até chegar ao tempo de fim da expansão, ditado pela Equação 3.21. Compreende-se assim a importância da correta definição destas duas grandezas.

Testaram-se intervalos de tempo de 10^{-9} s, 10^{-10} s e 10^{-11} s. Verificou-se que, à medida que diminuia o intervalo temporal, as diferenças entre resultados para a formação de NO eram cada vez menores, enquanto que, aumentava a exigência computacional, proveniente do aumento do número de cálculos a realizar.

Concluiu-se que a utilização de 10^{-11} s como intervalo de tempo não era solução ideal, na medida em que resultaria numa tarefa demasiado árdua e que ocuparia demasiado tempo, sem que a precisão de resultados obtida diferisse muito da obtida com um $\triangle t$ de 10^{-10} s. Por outro lado, a utilização de 10^{-9} s como intervalo de tempo, não produzia resultados suficientemente precisos, quando comparado com o $\triangle t$ de 10^{-10} s.

Foi por isso decidido que, o incremento temporal a utilizar seria o de 10^{-10}, o que permite um resultado preciso, com um número moderado de cálculos a efetuar.

As diferenças na produção de NO apenas eram notórias nos primeiros graus de rotação da manivela. Após cerca de 45º de rotação da manivela todos os valores tendem para zero. Fora estas estreitas diferenças para os restantes parâmetros de avalição da expansão não havia variação notória.

A figura 4.1 evidencia as variações provocadas pela diferença de intervalos de tempos utilizados na produção de NO. Demonstra também que estas diferenças não produziam qualquer sintoma na concentrações de NO para as mesmas fases de rotação da manivela.

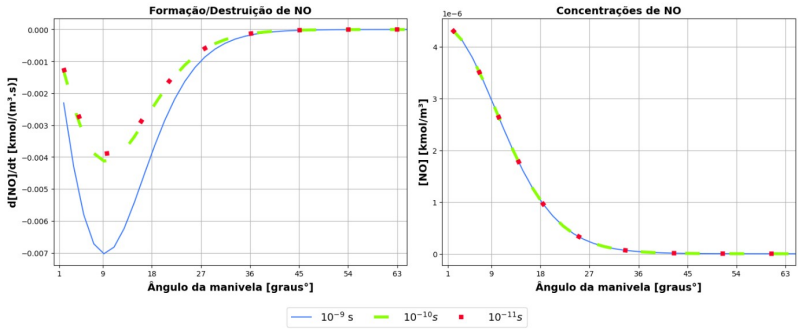


Figura 4.1: Diferenças produzidas por diferentes intervalos de tempo

A Figura 4.2 expõe os resultados da variação do intervalo de tempo ao longo de toda a expansão.

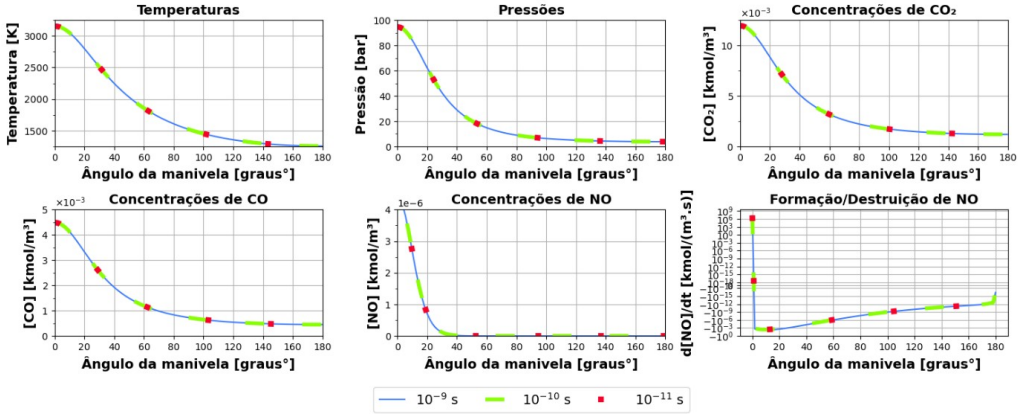


Figura 4.2: Variação de resultados com base no intervalo de tempo utilizado

Testaram-se 5 velocidades ângulares distintas para o motor, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm e 4000 rpm. A variação do número de rotações por minuto utilizado, provou não ter qualquer impacto na concentração de NO ao longo da expansão. O aumento da velocidade ângular do motor afetou, no entanto, o tempo necessário para realizar cada teste.

À medida que se aumentava a velocidade ângular do motor, diminuia o tempo de expansão e utilizando um intervalo de tempo constante, diminuia também o número de cálculos a realizar, diminuindo a exigência computacional e o tempo necessário para a obtenção de resultados.

A formação e destruição de NO variava, de forma constante, entre as diferentes velocidades ângulares de forma a permitir que, os valores de concentração do NO, fossem idênticos para todos os casos em que o tempo de expansão variava. Para velocidades ângulares maiores, a formação e destruição do NO realizava-se mais rapidamente, do que para uma velocidade ângular menor, onde o tempo de expansão era maior. Foi por isso decidido que, a velocidade ângular do motor a utilizar seria a 3000 rpm, de modo a produzir um resultado moderado.

A Figura 4.3 expõe as diferenças verificadas entre testes com diferentes velocidades angulares do motor.

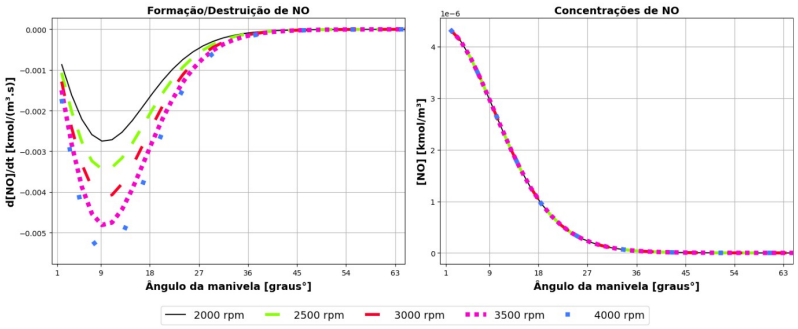


Figura 4.3: Diferenças produzidas por diferentes velocidades angulares

Fora estas pequenas variações na formação e destruição de NO, na generalidade da expansão não se verificam grandes diferenças como pode ser verificado na Figura 4.4.

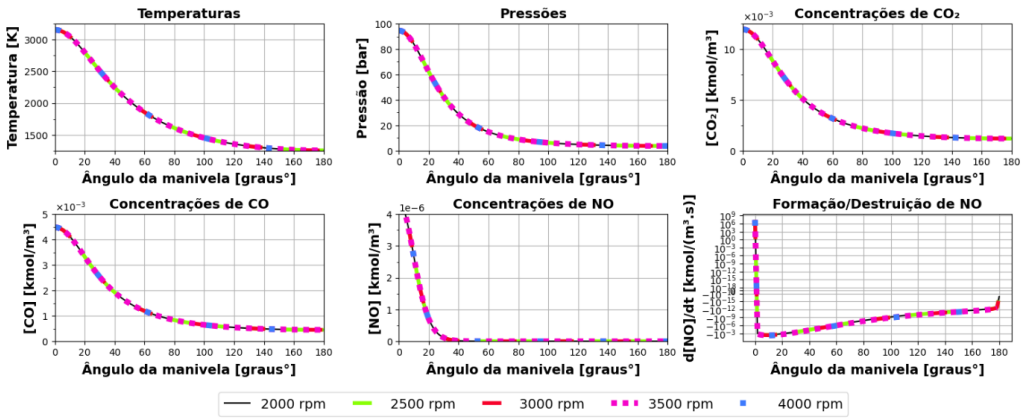


Figura 4.4: Variação de resultados com base na velocidade angular do motor utilizada

Desta forma, para cada teste realizado, a expansão demorava 0,01 s e a rotina de cálculo realizava 10^8 cálculos.

A avaliação das diferenças resultantes entre a utilização do método de Euler e a utilização do método de Runge-Kutta de 4ª ordem para integração das equações diferenciais de 1ª ordem obtidas pelo método de Zeldovich era também um dos objetivos do trabalho.

As diferenças verificadas são nulas, visíveis na evolução da formação ou destruição de NO, não produzem qualquer impacto na evolução das concentrações do NO ao longo da expansão. A Figura 4.5 apresenta as diferenças evidenciadas.

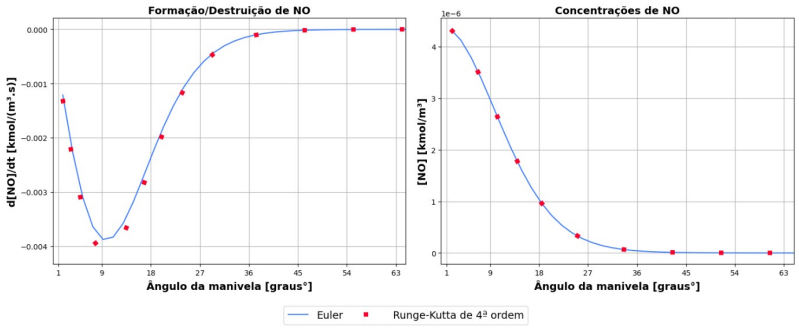


Figura 4.5: Diferenças produzidas por diferentes métodos de integração

Fora as diferenças visíveis na Figura 4.5 as restantes grandezas avaliadas não diferem muito entre elas com base na técnica de integração de métodos numéricos utilizada. As diferenças apenas podiam ser evidenciadas a partir da análise dos valores presentes nas tabelas resultantes da simulação, sendo que estes apenas começavam a variar em casas decimais bastante avançadas. Graficamente não é possivel evidenciar nenhumas diferenças entre os métodos de integração utilizados, como pode ser verificado na Figura 4.6.

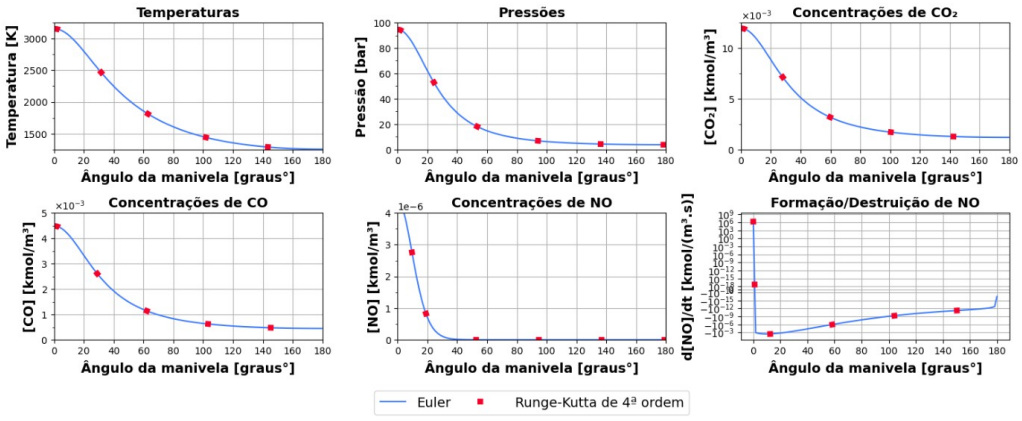


Figura 4.6: Variação dos resultados com base no método de integração utilizado

De qualquer forma, levando em conta a precisão dos resultados, foi decidido que o método de integração numérica a ser utilizado durante o trabalho seria o método de Runge-Kutta de 4ª ordem.

4.1.1 Dados iníciais obtidos por equilíbrio químico

Como mencionado anteriormente, para o ciclo Otto foram realizados testes que abrangiam 3 razões de compressão diferentes. Para cada razão de compressão foram analisadas 3 quantidades de ar. Para cada quantidade de ar foram estudados 6 tipos diferentes de mistura. Resultam daqui 54 testes realizados para o ciclo Otto. Parte dos resultados obtidos pela simulação da expansão, representados graficamente abaixo, podem ser consultados para melhor análise no Apêndice A 5.1.

Os parâmetros de partida para a realização das simulações de expansão do ciclo Otto, são apresentados abaixo.

A Tabela 4.2, contêm os dados relativos à mistura reagente de cada teste.

Dado que admissão da mistura reagente é realizada antes da compressão, os valores desta não variam consoante a razão de compressão. Os valores apresentados são idênticos para as 3 compressões utilizadas de 8, 10 e 12.

Os volumes de combustível apresentados são os volumes máximos ocupados pelo ar e combustível, medidos no PMI e os volumes utilizados para obtenção da massa de combustível.

Tabela 4.2: Propriedades das misturas para o ciclo Otto

e [%]	V_{CH_4}/V_{comb} [%]	V_{H_2}/V_{comb} [%]	V_{CH_4} $[dm^3]$	V_{H_2} $[dm^3]$	V_{Ar} $[dm^3]$	m_{CH_4} $[g]$	m_{H_2} $[g]$	m_{Ar} $[g]$	E_{CH_4} $[MJ]$	E_{H_2} $[MJ]$	E_{Ar} $[MJ]$
0	5	95	13,4	254,2	732,4	7,9	18,7	772,9	0,39	2,24	2,63
	20	80	41,6	166,4	792,0	24,4	12,3	835,9	1,22	1,47	2,69
	50	50	71,9	71,9	856,1	42,2	5,3	903,5	2,11	0,63	2,75
	70	30	83,6	35,8	880,6	49,0	2,6	929,4	2,45	0,32	2,77
	80	20	88,0	22,0	890,0	51,6	1,6	939,3	2,58	0,19	2,78
	90	10	91,8	10,2	898,0	53,9	0,8	947,7	2,69	0,09	2,78
20	5	95	11,7	221,7	766,6	6,8	16,4	809,0	0,34	1,96	2,30
	20	80	35,9	143,6	820,5	21,1	10,6	865,9	1,05	1,27	2,32
	50	50	61,4	61,4	877,1	36,0	4,5	925,7	1,80	0,54	2,34
	70	30	71,0	30,4	898,5	41,7	2,2	948,2	2,09	0,27	2,35
	80	20	74,7	18,7	906,6	43,8	1,4	956,8	2,19	0,16	2,36
	90	10	77,8	8,6	913,5	45,7	0,6	964,1	2,28	0,08	2,36
50	5	95	9,8	186,1	804,1	5,7	13,7	848,6	0,29	1,64	1,93
	20	80	29,8	119,2	851,0	17,5	8,8	898,1	0,87	1,05	1,93
	50	50	50,4	50,4	899,2	29,6	3,7	949,0	1,48	0,44	1,92
	70	30	58,0	24,9	917,1	34,0	1,8	967,9	1,70	0,22	1,92
	80	20	60,9	15,2	923,9	35,7	1,1	975,0	1,79	0,13	1,92
	90	10	63,3	7,0	929,6	37,2	0,5	981,1	1,86	0,06	1,92

A Tabela 4.3, apresenta as temperaturas, pressões e quantidades molares dos fumos obtidos após a queima da mistura reagente para cada um dos testes realizados.

Tabela 4.3: Propriedades da queima resultante para o ciclo Otto

ρ	e [%]	V_{CH_4}/V_{H_2} [%/%]	T [K]	P [bar]	CO_2 [$kmol$] $\times 10^4$	CO [$kmol$] $\times 10^4$	H_2 [$kmol$] $\times 10^4$	H_2O [$kmol$] $\times 10^3$	NO [$kmol$] $\times 10^4$	O_2 [$kmol$] $\times 10^4$	N [$kmol$] $\times 10^3$	N_2 [$kmol$] $\times 10^2$	O [$kmol$] $\times 10^5$	OH [$kmol$] $\times 10^4$	H [$kmol$] $\times 10^5$
8	0	5/95	3370	80,9	2,20	2,69	12,98	8,35	4,52	3,42	5,68	1,81	13,75	9,20	33,23
		20/80	3419	82,1	6,82	8,40	11,35	7,32	5,88	4,42	1,96	2,16	17,68	9,97	34,65
		50/50	3472	83,4	11,62	14,70	9,78	6,20	7,40	5,64	0,00	2,44	23,08	10,65	36,67
		70/30	3492	83,9	13,33	17,23	9,26	5,76	7,99	6,19	0,00	2,50	25,45	10,92	37,43
		80/20	3500	84,0	13,96	18,22	9,07	5,60	8,22	6,40	0,00	2,53	26,39	11,02	37,69
		90/10	3507	84,2	14,53	19,05	8,87	5,46	8,42	6,57	0,00	2,55	27,35	11,07	38,05
	20	5/95	3060	73,5	3,24	1,03	3,55	8,25	5,02	7,76	6,17	1,88	8,67	6,40	7,99
		20/80	3081	74,0	9,95	3,18	3,11	7,21	5,90	8,81	3,13	2,18	9,76	6,44	7,87
		50/50	3103	74,5	16,98	5,49	2,65	6,11	6,96	10,20	0,00	2,50	3,99	6,46	7,65
		70/30	3111	74,7	19,54	6,45	2,52	5,70	7,18	10,41	0,00	2,56	11,71	6,38	7,74
		80/20	3114	74,8	20,53	6,79	2,46	5,54	7,30	10,59	0,00	2,58	11,99	6,37	7,74
		90/10	3117	74,8	21,37	7,09	2,40	5,41	7,41	10,74	0,00	2,60	12,22	6,35	7,75
	50	5/95	2717	65,2	3,39	0,20	0,63	7,28	5,00	17,50	5,54	2,02	3,88	3,40	1,15
		20/80	2714	65,2	10,33	0,57	0,53	6,32	5,46	18,65	3,08	2,28	3,95	3,20	1,04
		50/50	2712	65,1	17,49	0,93	0,43	5,33	5,92	19,83	0,55	2,54	4,02	2,97	0,92
		70/30	2711	65,1	20,16	1,06	0,39	4,97	6,07	20,29	0,00	2,62	4,05	2,88	0,88
		80/20	2710	65,1	21,16	1,11	0,38	4,83	6,12	20,46	0,00	2,64	4,07	2,85	0,87
		90/10	2710	65,1	22,02	1,15	0,37	4,71	6,15	20,61	0,00	2,66	4,09	2,82	0,86
10	0	5/95	3432	103,0	2,14	2,76	13,41	8,28	4,80	3,43	5,58	1,81	14,43	9,59	34,75
		20/80	3481	104,5	6,64	8,58	11,69	7,26	6,22	4,42	1,86	2,16	18,36	10,34	35,97
		50/50	3534	106,1	11,32	15,00	10,06	6,15	7,80	5,63	0,00	2,43	23,95	11,01	38,00
		70/30	3554	106,7	13,03	17,53	9,47	5,72	8,40	6,14	0,00	2,50	26,51	11,23	38,87
		80/20	3562	106,9	13,67	18,52	9,26	5,55	8,64	6,34	0,00	2,53	27,51	11,31	39,17
		90/10	3569	107,1	14,21	19,37	9,07	5,41	8,84	6,52	0,00	2,55	28,37	11,38	39,40
	20	5/95	3121	93,7	3,16	1,11	3,84	8,20	5,35	7,67	6,10	1,88	9,25	6,80	8,75
		20/80	3142	94,3	9,73	3,40	3,34	7,16	6,29	8,72	3,05	2,19	10,55	6,81	8,65

Tabela 4.3 (continuação da página anterior)

ρ	e [%]	V_{CH_4}/V_{H_2} [%/%]	T [K]	P [bar]	CO_2 [$kmol$] $\times 10^4$	CO [$kmol$] $\times 10^4$	H_2 [$kmol$] $\times 10^4$	H_2O [$kmol$] $\times 10^3$	NO [$kmol$] $\times 10^4$	O_2 [$kmol$] $\times 10^4$	N [$kmol$] $\times 10^3$	N_2 [$kmol$] $\times 10^2$	O [$kmol$] $\times 10^5$	OH [$kmol$] $\times 10^4$	H [$kmol$] $\times 10^5$
10	20	50/50	3164	95,0	16,61	5,86	2,84	6,08	7,32	9,85	0,00	2,50	11,94	6,75	8,45
		70/30	3172	95,2	19,15	6,84	2,67	5,66	7,65	10,34	0,00	2,56	12,60	6,73	8,43
		80/20	3175	95,3	20,11	7,22	2,61	5,51	7,78	10,52	0,00	2,58	12,85	6,72	8,42
		90/10	3178	95,4	20,88	7,58	2,58	5,37	7,84	10,53	0,00	2,60	17,43	6,68	8,43
	50	5/95	2778	83,4	3,36	0,22	0,71	7,26	5,42	17,25	5,51	2,02	4,35	3,72	1,35
		20/80	2775	83,3	10,24	0,66	0,59	6,30	5,92	18,40	3,04	2,28	4,46	3,49	1,22
		50/50	2772	83,2	17,36	1,06	0,48	5,31	6,43	19,58	0,51	2,54	4,56	3,24	1,09
		70/30	2771	83,2	20,01	1,21	0,44	4,95	6,59	20,04	0,00	2,62	4,61	3,14	1,04
		80/20	2771	83,2	21,01	1,27	0,43	4,81	6,64	20,21	0,00	2,64	4,64	3,10	1,03
		90/10	2771	83,2	21,86	1,31	0,42	4,69	6,68	20,36	0,00	2,65	4,66	3,07	1,01
12	0	5/95	3487	125,6	2,08	2,82	13,86	8,21	5,07	3,46	5,48	1,82	15,02	9,98	36,14
		20/80	3537	127,4	6,47	8,75	12,02	7,21	6,54	4,42	1,76	2,17	19,22	10,68	37,57
		50/50	3590	129,3	11,01	15,30	10,36	6,09	8,17	5,64	0,00	2,43	24,69	11,39	39,23
		70/30	3610	130,0	12,67	17,89	9,76	5,66	8,80	6,16	0,00	2,50	27,29	11,62	40,09
		80/20	3618	130,3	13,31	18,88	9,52	5,50	9,04	6,35	0,00	2,53	28,39	11,68	40,45
		90/10	3624	130,6	13,85	19,73	9,31	5,37	9,25	6,51	0,00	2,55	29,34	11,73	40,74
	20	5/95	3176	114,4	3,09	1,18	4,11	8,15	5,65	7,59	6,03	1,89	9,85	7,16	9,53
		20/80	3197	115,2	9,49	3,65	3,59	7,11	6,65	8,68	2,96	2,19	11,06	7,22	9,31
		50/50	3219	115,9	16,23	6,24	3,03	6,04	7,74	9,82	0,00	2,50	12,69	7,12	9,14
		70/30	3227	116,2	18,73	7,25	2,85	5,63	8,09	10,30	0,00	2,56	13,46	7,08	9,14
		80/20	3230	116,4	19,69	7,64	2,77	5,47	8,23	10,48	0,00	2,58	13,75	7,06	9,13
		90/10	3233	116,5	20,49	7,97	2,71	5,34	8,34	10,64	0,00	2,60	14,01	7,04	9,12
	50	5/95	2832	102,0	3,33	0,25	0,80	7,23	5,80	17,01	5,47	2,02	4,88	4,02	1,57
		20/80	2829	101,9	10,15	0,75	0,67	6,28	6,34	18,17	3,00	2,28	4,99	3,79	1,42
		50/50	2827	101,8	17,22	1,21	0,54	5,29	6,89	19,36	0,47	2,54	5,09	3,51	1,26
		70/30	2826	101,8	19,84	1,38	0,50	4,93	7,06	19,82	0,00	2,61	5,15	3,41	1,21
		80/20	2825	101,8	20,83	1,44	0,48	4,79	7,12	20,00	0,00	2,63	5,18	3,37	1,19

Tabela 4.3 (continuação da página anterior)

ρ	e [%]	V_{CH_4}/V_{H_2} [%/%]	T [K]	P [bar]	CO_2 [$kmol$] $\times 10^4$	CO [$kmol$] $\times 10^4$	H_2 [$kmol$] $\times 10^4$	H_2O [$kmol$] $\times 10^3$	NO [$kmol$] $\times 10^4$	O_2 [$kmol$] $\times 10^4$	N [$kmol$] $\times 10^3$	N_2 [$kmol$] $\times 10^2$	O [$kmol$] $\times 10^5$	OH [$kmol$] $\times 10^4$	H [$kmol$] $\times 10^5$
12	50	90/10	2825	101,8	21,67	1,50	0,47	4,67	7,16	20,15	0,00	2,65	5,20	3,33	1,18

Estes resultados, obtidos por via de equilíbrio químico, são elementos fundamentais para o posterior desenvolvimento do estudo do tempo de expansão.

A rotina de cálculo *Python*, que modeliza a expansão, pede dados fornecidos por esta tabela, temperaturas e pressões finais de queima, mas as quantidades dos fumos, são fornecidas utilizando frações molares percentuais, ao invés das quantidades molares apresentadas.

É importante referir que, os valores apresentados são apenas as quantidades molares dos fumos, em kmol. As concentrações de início de expansão, analisadas mais à frente, são obtidas ao dividir as quantidades molares dos fumos pelo respetivo volume de ponto morto superior, que difere segundo a razão de compressão utilizada.

No caso dos fumos, dado que a queima ocorre após o tempo de compressão, os dados obtidos diferem com base na razão de compressão empregue. Esta diferenciação encontra-se expressa na Tabela 4.3

Mais abaixo serão analisados de forma mais detalhada os dados presentes nestas tabelas, acompanhados da sua evolução durante o tempo de expansão. Grandezas como a temperatura, pressão, energia libertada e espécies químicas poluentes como CO_2, CO e NO são alvo de esclarecimento.

O esquema de legenda utilizado, acompanhado de cada imagem, expressa que diferentes misturas são caracterizadas segundo a quantidade de ar utilizado através de cores e segundo o tipo de combustível através do tipo de traço. Misturas estéquiométricas apresentam-se a azul, misturas com 20% de excesso de ar a vermelho e misturas que utilizem 50% de excesso de ar são representadas a verde. Misturas de combustível com maior quantidade de metano (90% de volume de CH_4) são representadas a traço cheio, misturas com 80% de metano utilizam traço alternado com ponto, 70% de metano é representado a linha tracejada, 50% apresenta-se também com um tracejado embora mais espaçado, misturas com 20% são representadas através de um traço pontilhado, isto é, composto por vários pontos espaçados entre eles e o combustível de apenas 5% de metano também utiliza este tipo de traço, mas com os pontos mais afastados entre si.

4.1.2 Energias libertadas pela queima

A Figura 4.7, apresenta uma representação gráfica da variação das energias libertadas por cada mistura afetas do respetivo excesso de ar. Os diferentes combustíveis estão representadas nos eixos das abcissas e os valores de energia, em kJ, são representados no eixo das ordenadas. Apenas para este gráfico é utilizados um esquema de cores diferente do expresso acima, uma vez que, as variáveis são diferentes, neste caso os combustíveis. As energias libertadas pelo metano apresentam-se a azul claro, as energias libertadas pelo hidrogénio estão representadas a amarelo e o total de energia libertada, soma do metano e hidrogénio, é representado a rosa.

Através da análise da Tabela 4.2, verifica-se que a soma dos volumes de combustível e de ar totaliza o valor de 1 m^3, estabelecido para o V_{PMI}.

Observa-se que, com o aumento do excesso de ar, cresce o volume e a quantidade de ar presente na mistura inicial, o que implica uma redução da energia libertada na combustão, como evidenciado na Figura 4.7. Assim, maiores valores de excesso de ar resultam em menores energias caloríficas libertadas pela queima.

Constata-se ainda, pela análise da Tabela 4.2, que o aumento da fração de metano na mistura de combustível conduz igualmente a um aumento da quantidade de ar

admitida. Assim, à medida que V_{CH_4} aumenta e V_{H_2} diminui, o volume total de combustível reduz.

No entanto, este acréscimo de ar não promove, ao contrário do observado no caso de excesso de ar, uma diminuição da energia libertada na combustão. Pelo contrário, devido à superior massa volúmica do CH_4, a massa de combustível total aumenta, resultando num acréscimo da energia libertada durante a queima.

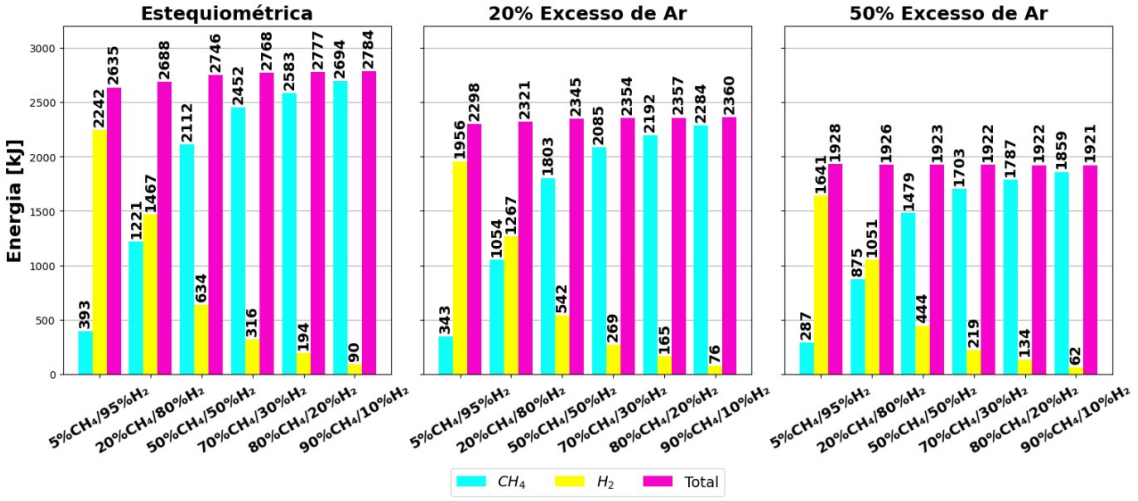


Figura 4.7: Energias libertadas pela queima da mistura reagente

Através de cálculos realizados, aplicando a ferramenta Solver do *Excel*, encontrou-se o ponto de inversão da tendência onde o H_2 é responsável por libertar mais energia que o CH_4. Esse ponto é uma mistura de combustível composta por 23,15% de CH_4 e 76,85% de H_2 em volume de combustível. Qualquer quantidade de metano superior a 23,15% é responsável por libertar a maior parte da energia verificada durante a queima.

O aumento da energia com a maior fração volúmica de CH_4 no combustível deixa de se verificar quando a quantidade de ar nos reagentes excede a quantidade estequiométrica em 50%. Da análise da Figura 4.7, observa-se que o impacto da composição da mistura de combustível na energia libertada pela combustão vai diminuindo com o acréscimo de excesso de ar. Quando este atinge 50%, a tendência inverte-se: o aumento da fração de metano na mistura de combustível passa a prejudicar a energia libertada.

Neste caso, a massa total de combustível é tão reduzida que o PCI do H_2, sendo significativamente superior ao PCI do CH_4, assume um papel determinante, levando a uma diminuição da energia libertada à medida que a massa de H_2 reduz. Importa destacar, contudo, que as variações no valor total de energia libertada, quando se utiliza um excesso de ar de 50%, são muito pequenas.

4.1.3 Temperaturas

A Tabela 4.3 apresenta os dados utilizados na modelação da expansão dos diferentes testes realizados. A Figura 4.8 mostra a representação gráfica das temperaturas no final da combustão, organizadas segundo a razão de compressão, de modo a facilitar a interpretação.

As diferentes misturas de combustível encontram-se representadas no eixo das abcissas, enquanto os valores de temperatura, em K, estão representados no eixo das ordenadas.

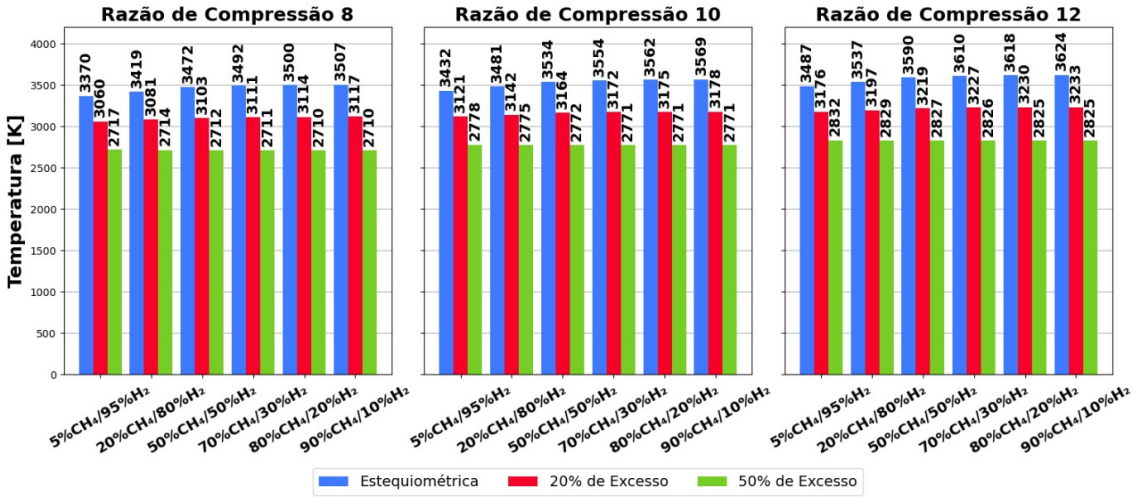


Figura 4.8: Temperaturas no início da expansão para o ciclo Otto

A análise da Figura 4.8 permite salientar que a temperatura de início da expansão tende a aumentar com a razão de compressão. A temperatura atingida após a combustão é também mais elevada nos casos estequiométricos, diminuindo progressivamente à medida que o excesso de ar aumenta. Misturas de combustível com maior fração de metano apresentam igualmente temperaturas mais elevadas, sobretudo nos cenários estequiométricos e com 20% de excesso de ar.

Uma maior razão de compressão conduz invariavelmente a temperaturas e pressões de início de combustão mais elevadas, refletindo-se em temperaturas de início de expansão também mais altas. Este comportamento é corroborado pelas Equações 2.4 e 2.6.

As diferenças de temperatura resultantes das diversas misturas de combustível e níveis de excesso de ar estão relacionadas com a energia disponível para a combustão, determinada pelas quantidades de combustível e de ar, bem como pelos poderes caloríficos inferiores (PCI) das espécies químicas presentes.

De forma geral, as temperaturas aumentam com a fração de metano e diminuem com o acréscimo de ar admitido. Quando o excesso de ar atinge 50%, as diferenças de temperatura entre misturas tornam-se pouco significativas, uma vez que a massa de combustível é reduzida ao ponto da composição deixar de ser o fator determinante. Nestas condições, os poderes caloríficos dos combustíveis passam a ter maior influência do que a massa na determinação do calor libertado. Assim, pequenas reduções na quantidade de hidrogénio refletem-se negativamente na energia total, dado que o PCI do H_2 é cerca de 2,4 vezes superior ao do metano.

A Figura 4.9 apresenta a evolução das temperaturas ao longo do tempo de expansão. No eixo das abcissas encontra-se representado o ângulo da manivela, variando entre o PMS (0°) e o PMI (180°).

A Figura 4.9 permite retirar algumas conclusões acerca das temperaturas no início e no fim da expansão, embora para esse efeito as Figuras 4.8 e 4.10 sejam mais indicadas.

Em particular, a Figura 4.9 evidencia a diminuição da temperatura ao longo da expansão. Nos primeiros instantes, verifica-se uma redução lenta, seguida de um período de queda acentuada. Por fim, próximo do término da expansão, a diminuição tende a abrandar.

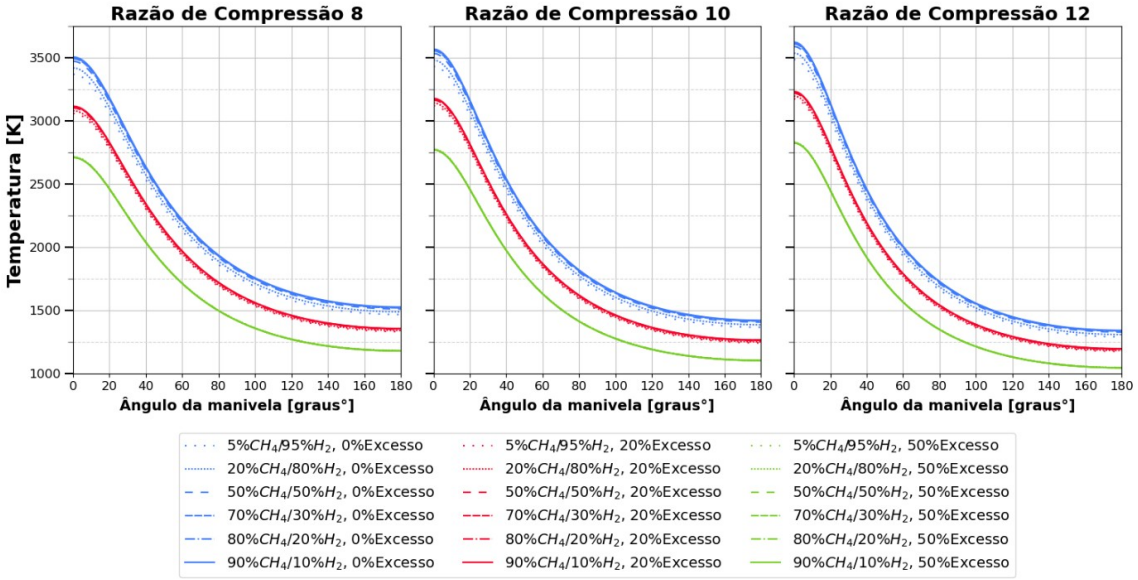


Figura 4.9: Temperaturas ao longo da expansão para o ciclo Otto

As simulações demonstram que as temperaturas seguem um comportamento de expansão consistente, na medida em que as relações hierárquicas entre temperaturas associadas à mesma razão de compressão mantêm-se inalteradas. As temperaturas inicialmente mais elevadas permanecem sempre superiores ao longo de toda a expansão, não ocorrendo interseções entre as curvas correspondentes a uma mesma razão de compressão.

A Figura 4.10 apresenta os valores de temperatura no fim da expansão.

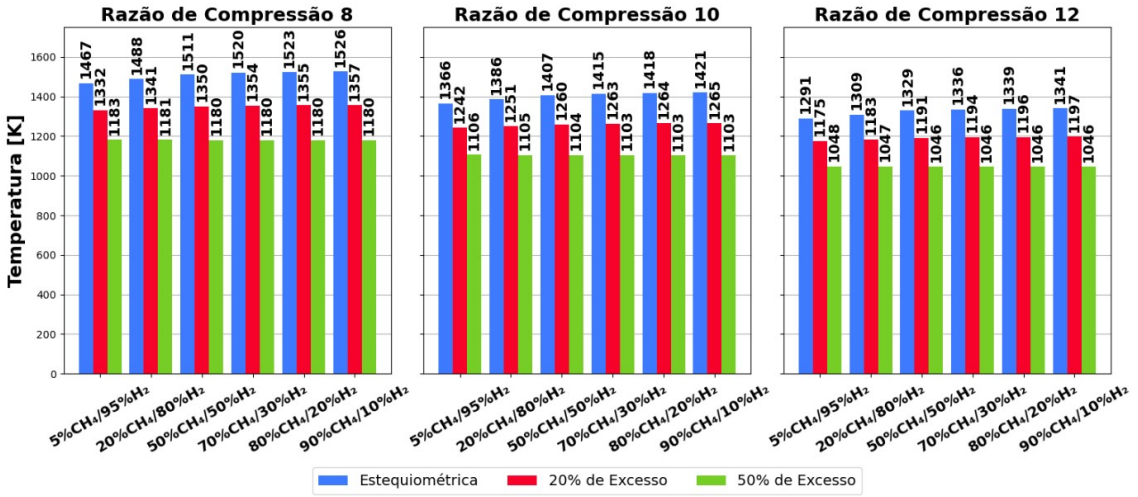


Figura 4.10: Temperaturas no fim da expansão para o ciclo Otto

As relações entre temperaturas, em função da composição de combustível e excessos de ar, observadas no início da expansão, mantêm-se ao longo do processo.

Contudo, estas relações invertem-se quando consideradas em função da razão de compressão.

Uma vez que o ciclo estudado corresponde ao ciclo Otto, as razões de compressão são idênticas às razões de expansão. Assim, maiores razões de compressão implicam expansões maiores, fazendo com que as temperaturas inicialmente mais elevadas, resultantes de compressões superiores, se convertam nas menores temperaturas, resultantes de expansões mais longas.

4.1.4 Pressões

A Figura 4.11 apresenta os valores de pressão no final da combustão e no início da expansão.

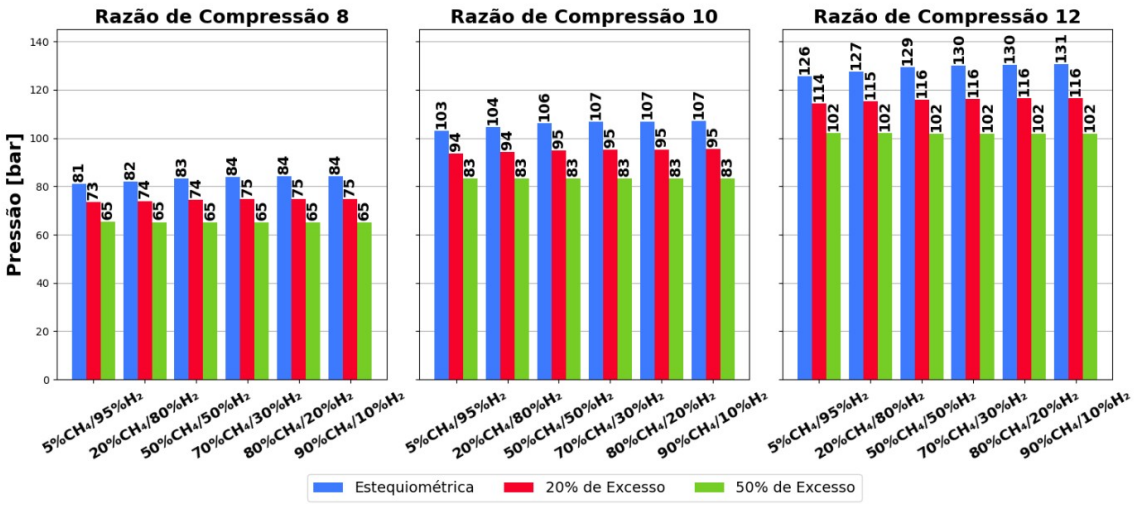


Figura 4.11: Pressões no início da expansão para o ciclo Otto

As pressões de início da expansão aumentam com a razão de compressão e com a fração de metano no combustível, e diminuem à medida que cresce o excesso de ar na mistura.

As diferenças de pressão entre os diversos tipos de mistura de combustível, quantidade de ar e razão de compressão seguem o mesmo padrão observado para as temperaturas, por motivos análogos.

Maiores razões de compressão resultam em pressões mais elevadas no final da compressão. A energia libertada pela combustão aumenta simultaneamente as temperaturas e as pressões. Uma vez que a energia libertada depende apenas da quantidade de combustível presente na mistura, e não da razão de compressão, as diferenças verificadas entre razões distintas de compressão derivam dos valores expressos pela Equação 2.4.

As diferenças entre misturas decorrem das distintas quantidades de energia libertada em cada caso. Misturas com maiores excessos de ar libertam menos energia calorífica, enquanto combustíveis com maior teor de metano tendem, em geral, a libertar mais energia.

A Figura 4.12 apresenta a variação dos valores de pressão ao longo da expansão.

A variação das pressões ao longo da expansão apresenta um comportamento semelhante ao observado para as temperaturas.

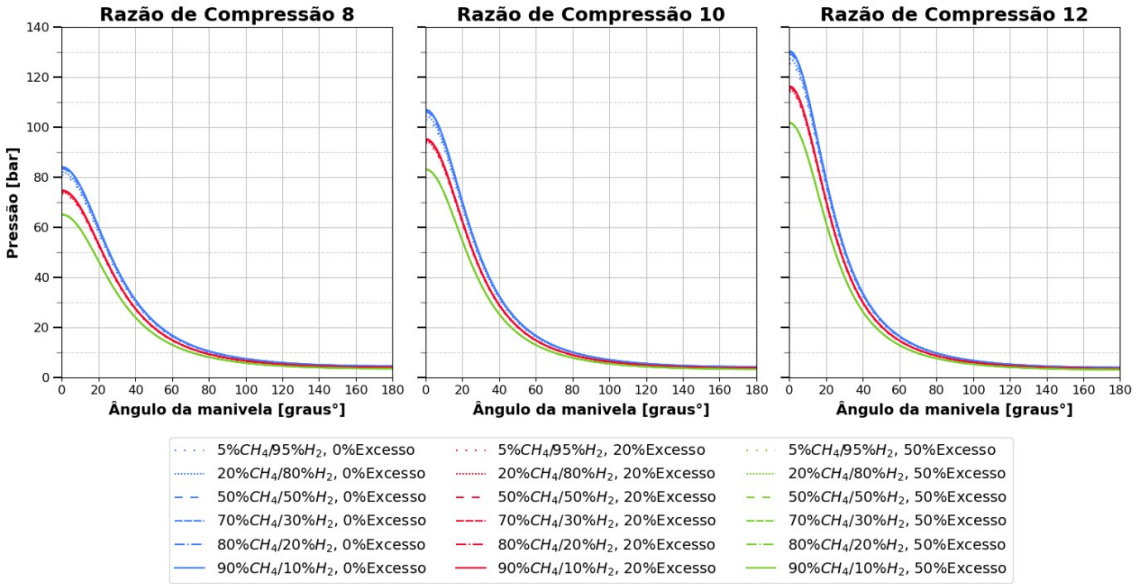


Figura 4.12: Pressões ao longo da expansão para o ciclo Otto

Verifica-se uma diminuição acentuada das pressões desde o início da expansão até atingirem o valor mínimo no seu termo. Durante a primeira metade da expansão, a redução é particularmente abrupta, enquanto na segunda metade a queda de pressão ocorre de forma mais gradual, estabilizando até alcançar o valor correspondente à pressão final de expansão.

Ao contrário do que poderia parecer, as pressões no final da expansão não são idênticas. Elas mantêm variações entre si que seguem o mesmo padrão observado para as temperaturas. Este comportamento é evidenciado na Figura 4.13.

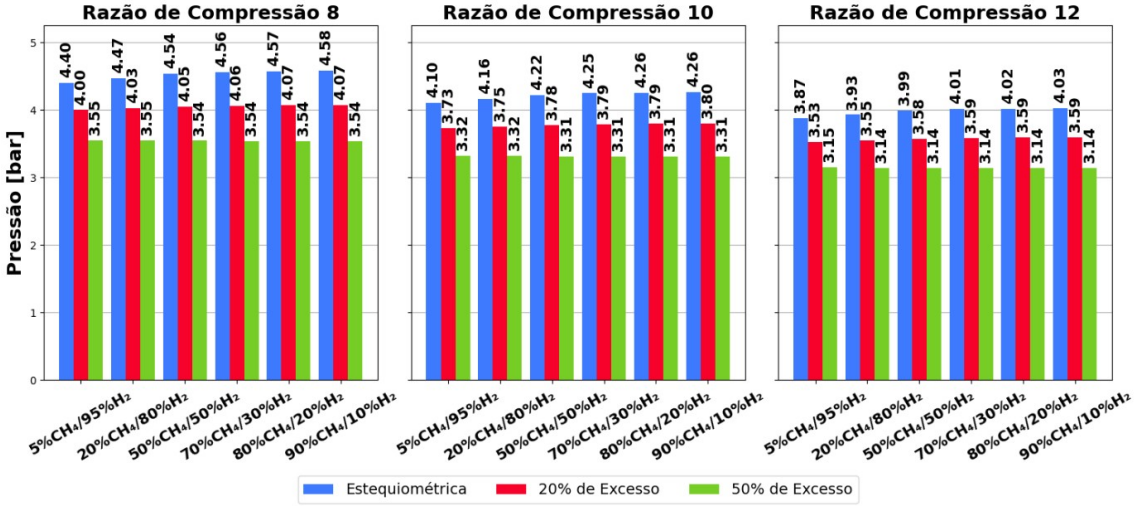


Figura 4.13: Pressões no fim da expansão para o ciclo Otto

As pressões no final da expansão seguem o mesmo padrão de variação observado para as temperaturas.

Elas aumentam com o acréscimo da quantidade de metano no combustível e diminuem com o aumento da razão de compressão e do excesso de ar, excetuando-se os casos em que é utilizado 50% de excesso de ar.

4.1.5 Dióxido de carbono

A Tabela 4.3 apresenta também as quantidades molares iniciais de CO_2. As concentrações da espécie química podem ser consultadas na Figura 4.14.

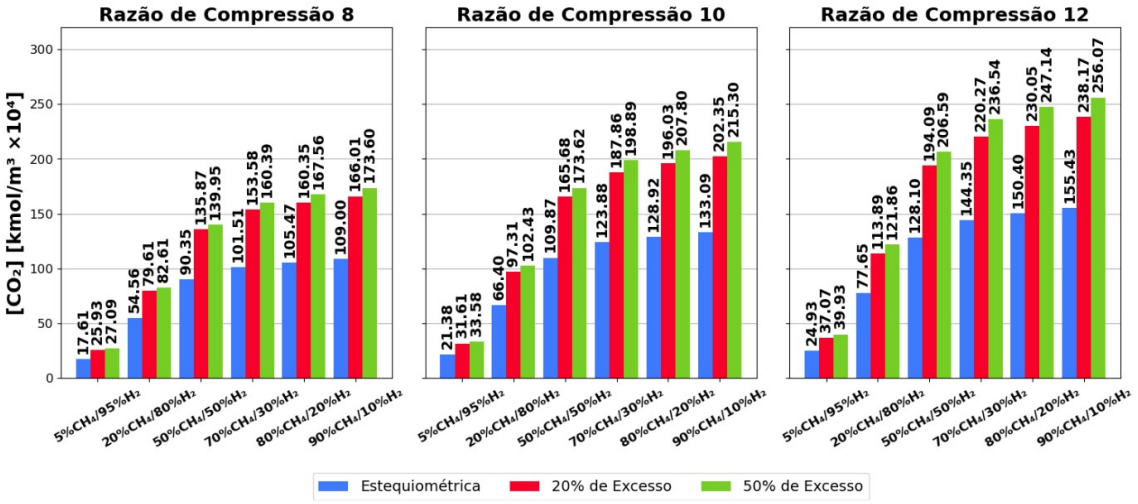


Figura 4.14: Concentrações de CO_2 no início da expansão para o ciclo Otto

É possível observar que $[CO_2]$ aumenta com o aumento da quantidade de CH_4 no combustível, uma vez que há mais carbono disponível.

A concentração de CO_2 também cresce com o excesso de ar aplicado à queima. Este comportamento deve-se à combustão mais completa promovida pelo excesso de ar. Uma maior quantidade de O_2 reage com CO, formando CO_2, conforme indicado na Equação 3.10b. Os valores de k_p das equações de equilíbrio, Equações 3.10a e 3.10b, aumentam com a diminuição da temperatura provocada pelo excesso de ar, confirmando que $[CO_2]$ cresce quando aplicadas as Equações 3.11e e 3.11f.

As concentrações de CO_2 também aumentam com a razão de compressão. Isto deve-se ao menor V_{PMS} nos casos em que a razão de compressão é maior. Inicialmente, considerou-se que as dimensões do cilindro seriam idênticas para todos os testes, com V_{PMI} de 1 m^3. Com o aumento da razão de compressão, o volume disponível para o PMS diminui. Assim, as quantidades molares, que não variam com a razão de compressão, passam a ocupar um volume menor, resultando em concentrações mais elevadas à medida que a compressão do cilindro aumenta.

A Figura 4.15 apresenta a evolução da concentração de CO_2 ao longo da expansão.

Da análise da Figura 4.15 verifica-se que a concentração de CO_2 diminui ao longo da expansão, uma vez que o volume da câmara de combustão aumenta e, segundo o mecanismo de Zeldovich, não ocorre formação nem destruição de CO_2.

Observa-se que, no início da expansão, a queda de concentração é mais acentuada, sendo tanto maior quanto maiores forem as concentrações iniciais. O início da expansão é mais intenso devido às elevadas pressões resultantes da combustão, que são maiores quanto maior a energia disponibilizada pela mistura de reagentes.

Além disso, os volumes em PMS são menores para maiores razões de compressão, o que implica que cada grau de rotação da manivela corresponde a um aumento do volume da câmara de expansão tanto mais significativo quanto maior for a compressão aplicada. Espera-se, portanto, que a diminuição de $[CO_2]$ seja mais rápida nos

casos em que se utilize uma razão de compressão mais elevada.

As concentrações de CO_2 rapidamente tendem a valores mais próximos entre si por volta dos 80° a 90° de rotação da manivela, altura em que a expansão ocorre de forma mais lenta.

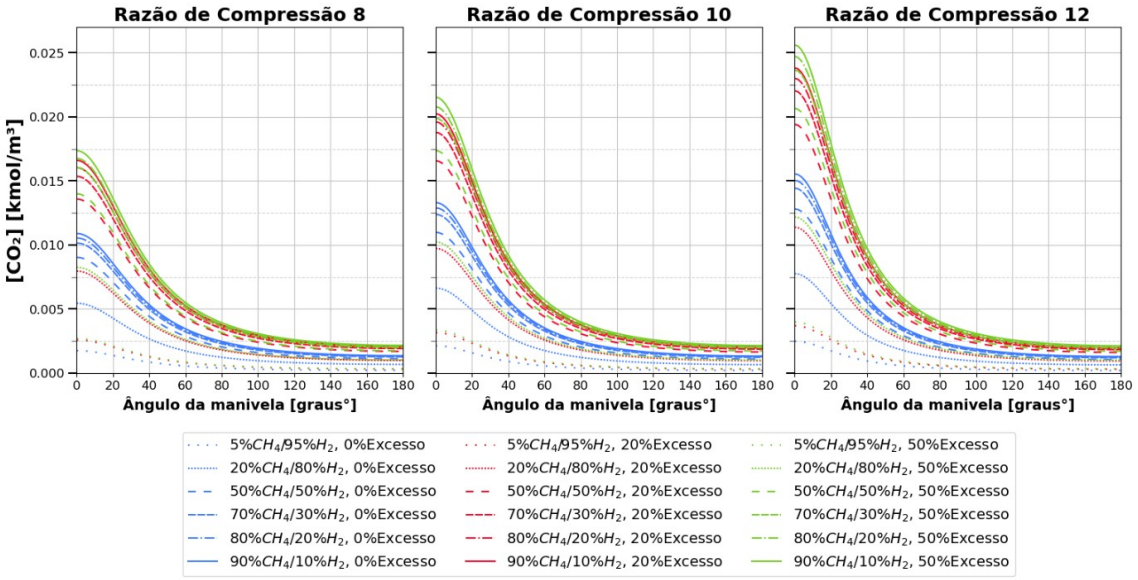


Figura 4.15: Concentrações de CO_2 ao longo da expansão

As hierarquias de concentração estabelecidas entre diferentes misturas de combustível e excessos de ar mantêm-se ao longo da expansão, uma vez que apenas o aumento do volume influencia as variações de concentração ao longo deste processo.

A Figura 4.16 apresenta as concentrações de CO_2 no final da expansão.

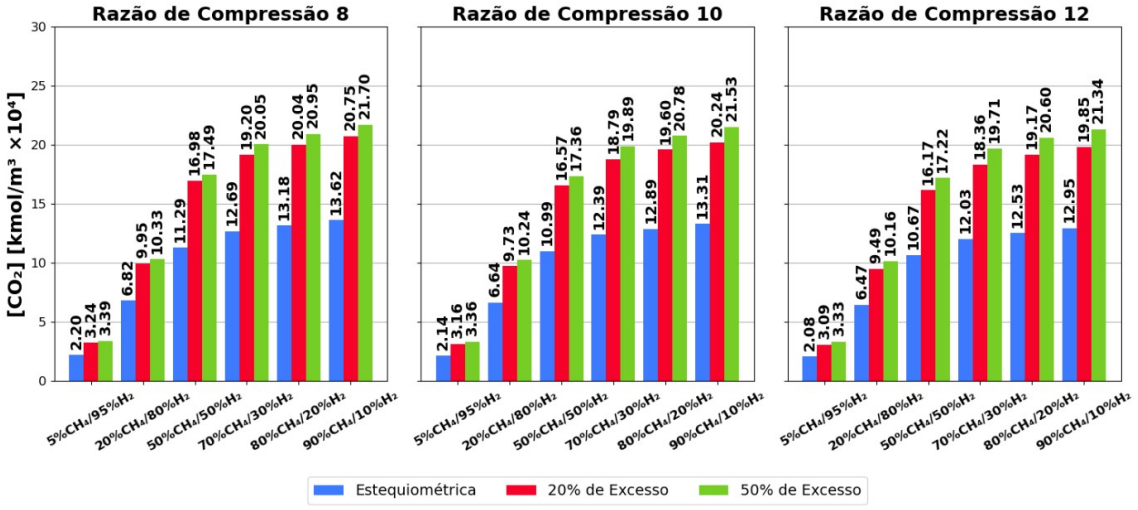


Figura 4.16: Concentrações de CO_2 no fim da expansão para o ciclo Otto

A análise da representação gráfica de $[CO_2]$ no final da expansão demonstra que a razão de compressão deixa de influenciar os valores de concentração. As quantidades molares de CO_2 obtidas após a combustão, que não variam com a razão de compressão, são agora divididas pelo mesmo volume de 1 m^3, originando valores de concentração idênticos entre diferentes razões de compressão.

No entanto, embora os valores sejam agora inferiores, as diferenças de concentração decorrentes das variações na mistura de combustível e no excesso de ar mantêm-se. Observa-se que as concentrações de CO_2 aumentam com o incremento da fração de CH_4 e com o aumento do excesso de ar presente na mistura reagente.

4.1.6 Monóxido de carbono

Para iniciar a análise da evolução do monóxido de carbono num motor de combustão interna, recorre-se à Figura 4.17, que apresenta as concentrações de CO no início da expansão.

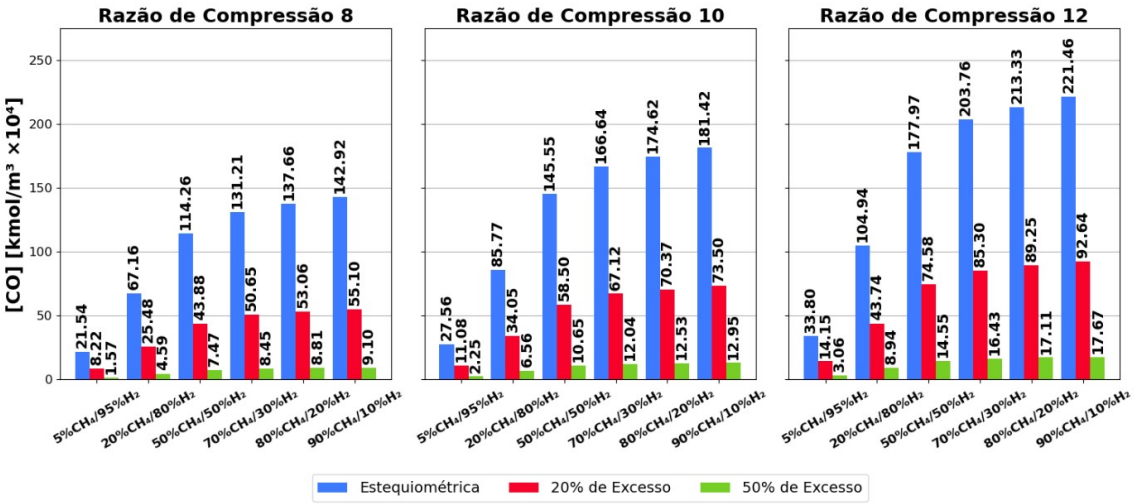


Figura 4.17: Concentrações de CO no início da expansão para o ciclo Otto

Verifica-se que a concentração de CO aumenta com o aumento da quantidade de metano na mistura de combustível, devido à maior disponibilidade de átomos de carbono para reagir e formar o monóxido de carbono.

Observa-se também que, com o aumento da quantidade de ar empregue na combustão, $[CO]$ diminui significativamente. Este resultado confirma o discutido no subcapítulo anterior, em que se destacava que o excesso de ar favorece uma combustão mais completa, permitindo que o CO seja convertido em CO_2 devido à maior concentração de O_2. O aumento de $[CO_2]$ com o excesso de ar, apresentado anteriormente, decorre precisamente da redução de $[CO]$, como ilustrado na Figura 4.17.

Adicionalmente, com o aumento da razão de compressão, observa-se um incremento nas concentrações de CO, explicado pela diminuição do V_{PMS} provocada por maiores razões de compressão, uma vez que a quantidade molar de CO não varia com a compressão.

A Figura 4.18 apresenta a variação de $[CO]$ ao longo da expansão num motor de ciclo Otto.

À semelhança do verificado para o CO_2, o CO também apresenta um decréscimo acentuado de concentração nos estágios iniciais da expansão, convergindo posteriormente para valores mais baixos que não diferem significativamente entre diferentes razões de compressão, ao contrário do que ocorre no início da expansão. Quanto maior o $[CO]$ inicial, maior é a queda observada nos primeiros estágios da expansão.

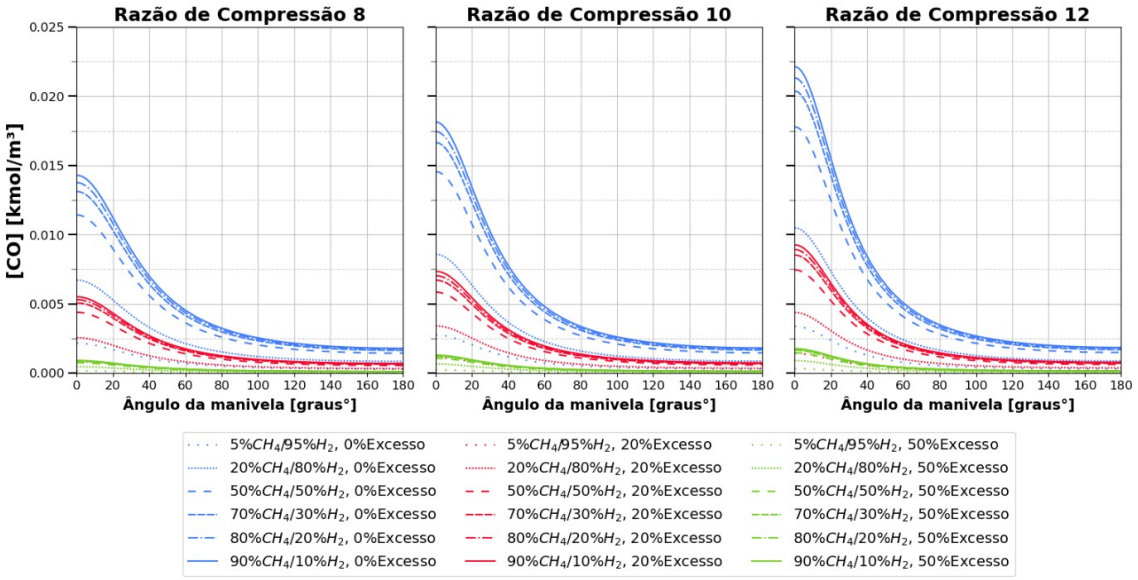


Figura 4.18: Concentrações de CO ao longo da expansão para o ciclo Otto

É possível identificar claramente, pelas cores nos gráficos, a influência do excesso de ar sobre as concentrações. Testes estequiométricos apresentam os maiores valores de $[CO]$, seguidos pelas misturas com 20% de excesso de ar, enquanto os testes com 50% de excesso de ar exibem as menores concentrações de CO.

As linhas de traço contínuo, correspondentes a misturas de combustível com 90% de CH_4 e 10% de H_2, apresentam concentrações de CO significativamente superiores às das misturas com 5% de CH_4 e 95% de H_2, representadas por linhas compostas por pontos espaçados entre si.

A Figura 4.19 apresenta as concentrações de CO no final da expansão.

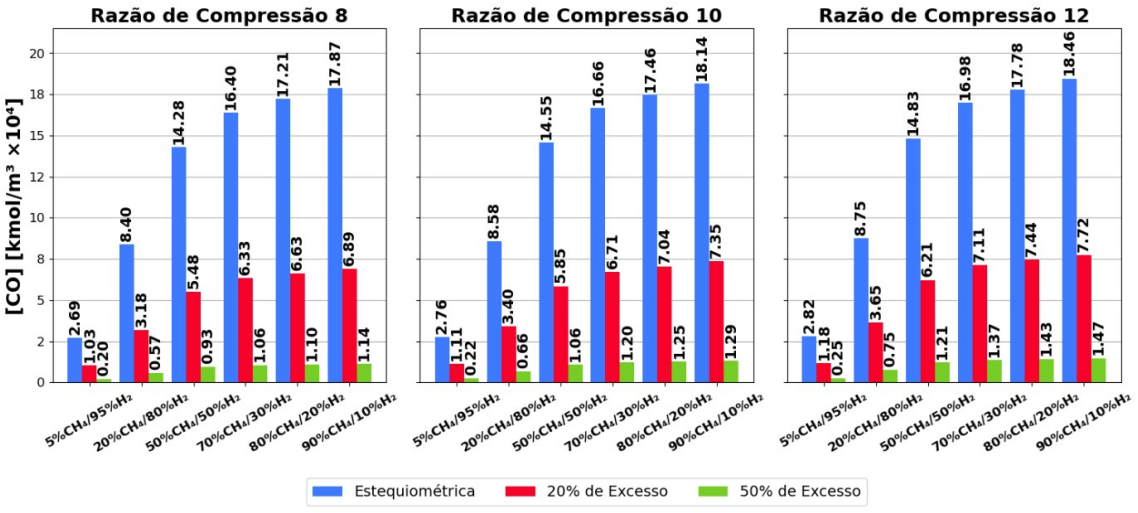


Figura 4.19: Concentrações de CO no fim da expansão para o ciclo Otto

Tal como verificado para o dióxido de carbono, no final da expansão as diferentes razões de compressão não provocam diferenças entre as concentrações de CO.

Os valores de $[CO]$ no fim da expansão são consideravelmente mais baixos do que os observados no início da expansão. Verifica-se que misturas com maior quantidade

de CH_4 apresentam concentrações de CO mais elevadas, enquanto o aumento do excesso de ar conduz a uma redução significativa de $[CO]$, em linha com o comportamento verificado durante a combustão, onde maior disponibilidade de O_2 favorece a conversão de CO em CO_2.

4.1.7 Monóxido de azoto

A Figura 4.20 apresenta, de forma gráfica, as concentrações de NO no início da expansão.

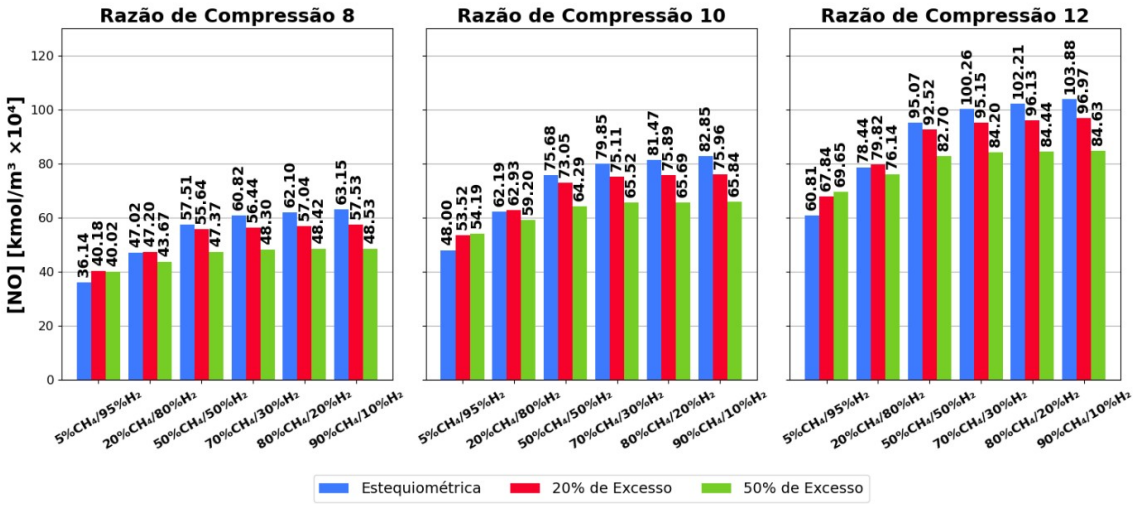


Figura 4.20: Concentrações de NO no início da expansão para o ciclo Otto

A concentração inicial de NO é determinada utilizando a Equação de equilíbrio 3.10g. A constante de equilíbrio desta reação aumenta com a temperatura, o que conduz a um aumento de $[NO]$.

A análise da Figura 4.8 evidencia que as temperaturas aumentam com a razão de compressão e com a maior proporção de CH_4 no combustível, enquanto diminuem com o aumento do excesso de ar. Estas variações são determinantes para as concentrações iniciais de NO, que seguem, assim, a mesma tendência das temperaturas.

A aplicação do mecanismo de Zeldovich permite simular a evolução de $[NO]$ durante a expansão, fornecendo informações sobre a formação e destruição do NO e das espécies químicas envolvidas nestes processos.

A Figura 4.21 clarifica as transformações da concentração do NO ao longo da expansão.

No início da expansão, verifica-se uma produção significativa de NO. A Figura 4.22 destaca os estágios iniciais da expansão, permitindo uma visualização mais detalhada e legível das transformações sofridas pelo NO durante este período crítico.

Observam-se alguns valores díspares nos testes realizados, sendo possível verificar que, em determinados casos, ocorre formação de NO, enquanto noutros predomina a sua destruição.

Nos testes em que a mistura de combustível contém menor quantidade de CH_4, e consequentemente atinge temperaturas mais baixas, a produção de NO inicia-se com valores positivos relativamente elevados, mas decresce de forma abrupta para valores negativos, indicando uma destruição muito repentina da molécula.

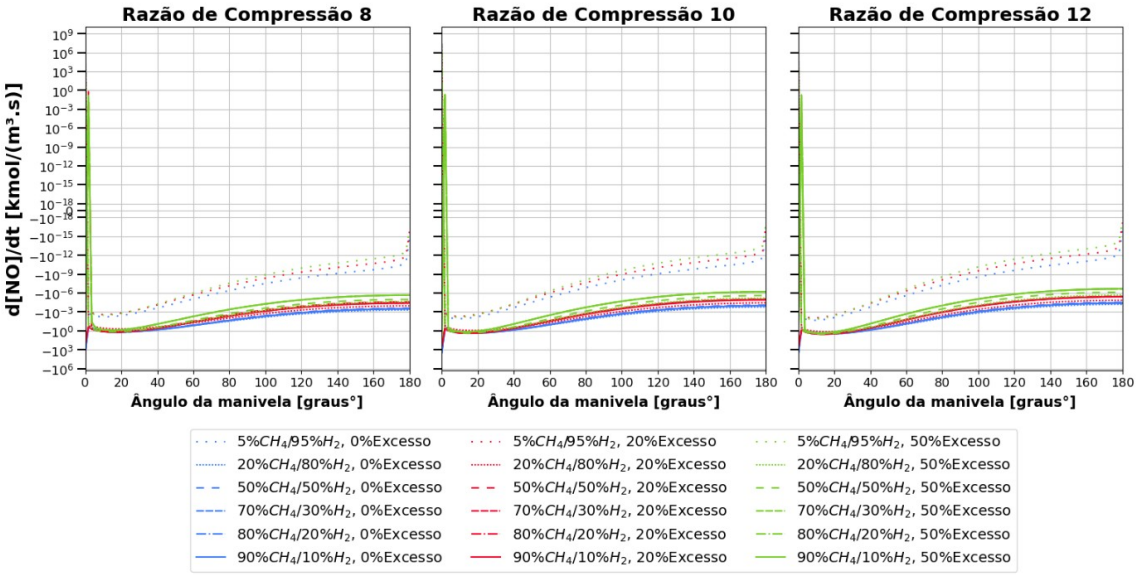


Figura 4.21: Formação e destruição de NO ao longo da expansão para o ciclo Otto

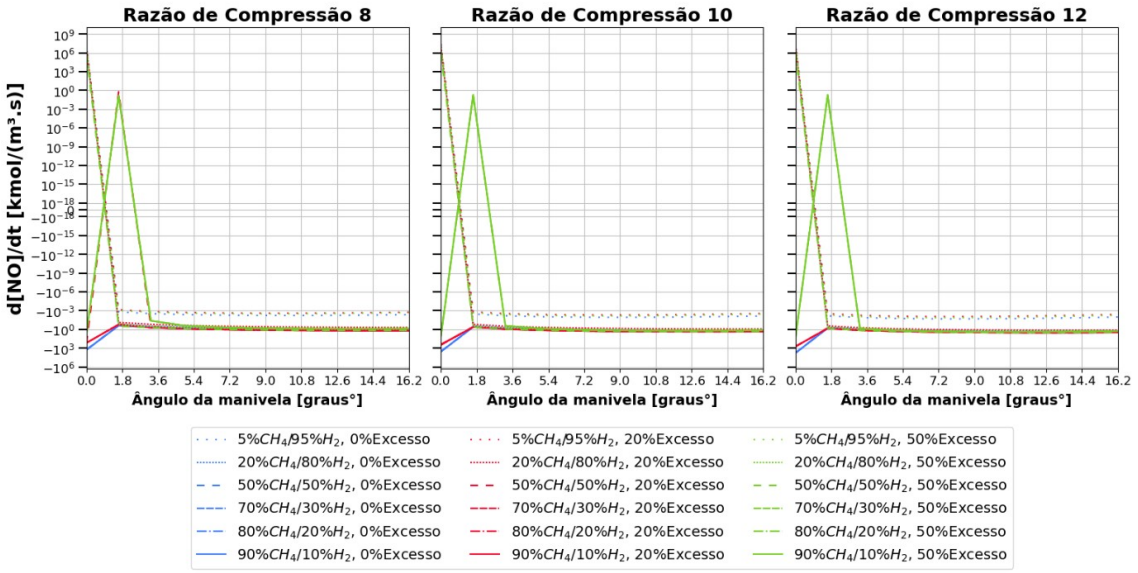


Figura 4.22: Formação e destruição de NO nos estágios iniciais da expansão para o ciclo Otto

Alguns testes demonstram produção de NO por breves instantes. Entre eles, destacam-se aqueles realizados com 50% de excesso de ar e com misturas de combustível contendo 50% ou mais de CH_4 em volume, assim como um teste isolado com razão de compressão de 8, 20% de excesso de ar e mistura de combustível $50\%CH_4/50\%H_2$ em volume, que exibem este comportamento.

Nestes casos, a expansão inicia-se com destruição imediata de NO, apresentando valores negativos segundo o método de Zeldovich para um ângulo da manivela de 0°. Em seguida, observa-se uma subida brusca para valores positivos, evidenciando formação de NO por breves instantes até um ângulo de $1,8°$, a partir do qual inicia-se nova destruição de $[NO]$, até que os valores se aproximem daqueles verificados nos restantes testes.

Para testes com maiores quantidades de metano e excesso de ar inferior a 50%,

os valores iniciais também são negativos. Verifica-se um ligeiro aumento desses valores no ângulo de $1,8°$, mantendo-se ainda negativos, aproximando-se dos valores dos outros testes. Este comportamento não indica formação de NO, mas sim uma diminuição da taxa de destruição da molécula.

Feita a análise da formação e destruição de NO nos estágios iniciais da expansão, realiza-se a análise da mesma grandeza agora na totalidade da expansão.

Observa-se que, de forma geral, ao longo da expansão, a concentração de NO continua a ser destruída. Os declives dos gráficos da Figura 4.21 não se mantêm constantes, indicando que, à medida que a concentração diminui, a taxa de destruição também diminui.

Observa-se que, de forma geral, ao longo da expansão, a concentração de NO é destruída. Os declives dos gráficos da Figura 4.21 não se mantêm constantes, indicando que, à medida que a concentração diminui, a taxa de destruição também diminui.

Destacam-se as misturas de combustível com 5% CH_4/95% H_2 em volume, que, devido à menor concentração de NO, apresentam também menor taxa de destruição da molécula.

Com o comportamento de formação e destruição de NO esclarecido, torna-se possível proceder à análise das concentrações ao longo de toda a expansão.

A Figura 4.23, clarifica a evolução das concentrações de NO ao longo da expansão.

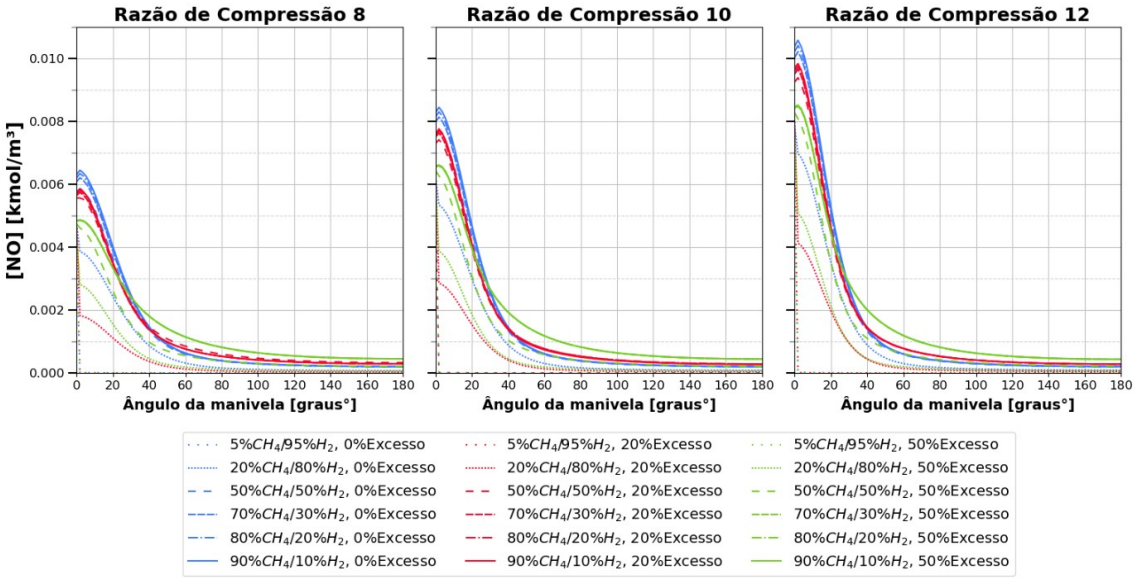


Figura 4.23: Concentrações de NO ao longo da expansão para o ciclo Otto

Motivado pela aplicação do mecanismo de Zeldovich, verifica-se, no caso do NO, uma alteração das hierarquias de concentrações estabelecidas no início da expansão.

Destaca-se particularmente a mudança relacionada com o excesso de ar. Inicialmente, os testes estequiométricos apresentavam consistentemente maiores concentrações de NO, seguidos pelos testes com 20% de excesso de ar e, por fim, pelos testes com 50% de excesso de ar, que exibiam os menores valores de $[NO]$. A análise da Figura 4.23 evidencia que, entre os 30° e 50° da manivela, esta ordem se inverte: as misturas com 50% de excesso de ar passam a apresentar maiores concentrações

de NO, seguidas pelas de 20% e, por último, as estequiométricas, com os menores valores.

Todas as concentrações de NO apresentam um padrão comum de diminuição ao longo da expansão. A queda é mais acentuada no início da expansão, tornando-se progressivamente mais suave a partir de 80° da manivela. A redução inicial é tanto maior quanto maiores forem os valores iniciais de $[NO]$, o que ocorre nos testes com maiores razões de compressão.

Além disso, misturas de combustível com maior proporção de CH_4 mantêm, ao longo de toda a expansão, concentrações superiores de NO.

A Figura 4.24 apresenta as concentrações de NO no fim da expansão.

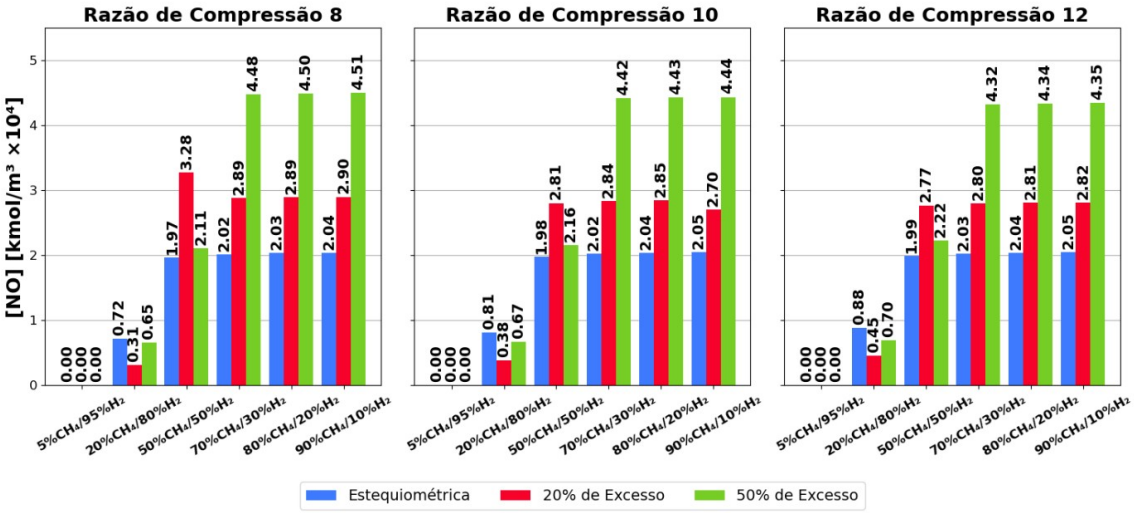


Figura 4.24: Concentrações de NO no fim da expansão para o ciclo Otto

Segundo a Figura 4.24, as concentrações de NO no final da expansão apresentam valores bastante próximos entre si. Observa-se um ligeiro decréscimo das concentrações com o aumento da razão de compressão.

Conforme apontado pela Figura 4.23, as concentrações de NO tendem a aumentar com o excesso de ar em misturas com mais de 50% de CH_4 em volume. Para misturas com 50% de CH_4, os testes com 20% de excesso de ar apresentam maiores valores de $[NO]$, enquanto em misturas com 20% de CH_4, os mesmos testes apresentam os menores valores. Já em misturas com apenas 5% de CH_4, a concentração de NO diminui à medida que o excesso de ar aumenta.

Apesar dessas observações, traçar tendências claras para $[NO]$ no fim da expansão é difícil. De forma geral, as concentrações finais de NO são muito baixas, chegando a valores praticamente nulos em misturas com 5% CH_4/95% H_2.

4.2 Resultados do ciclo Atkinson

Para a elaboração do ciclo Atkinson, utilizaram-se as mesmas misturas de combustível e foram consideradas as mesmas quantidades de excesso de ar analisadas anteriormente para o ciclo Otto.

Considerou-se uma razão de compressão constante de 10, variando-se apenas a razão de expansão. Para melhor comparar os resultados obtidos, nos gráficos desenvolvidos foram incluídos também os resultados para o ciclo Otto a fim de utilizar uma razão de expansão extra para a comparação entre resultados obtidos.

Nas imagens apresentadas mais à frente, são consideradas três razões de expansão distintas: 10, 13 e 15.

Os dados apresentados na Tabela 4.2, assim como os da Tabela 4.3 correspondentes à razão de compressão 10, aplicam-se igualmente ao ciclo Atkinson. Desta forma, nem as energias libertadas pela combustão, nem os valores iniciais de temperaturas, pressões e concentrações de CO_2, CO e NO se alteram.

Assim, torna-se desnecessária a análise repetida destas grandezas, sendo o foco deste capítulo a análise das expansões e das condições finais das propriedades estudadas para o ciclo Otto.

4.2.1 Temperaturas

No início da expansão, os valores das temperaturas correspondem exatamente aos apresentados no gráfico intitulado "Razão de Compressão 10" da Figura 4.8.

A evolução da temperatura durante a expansão está representada nos gráficos apresentados na Figura 4.25.

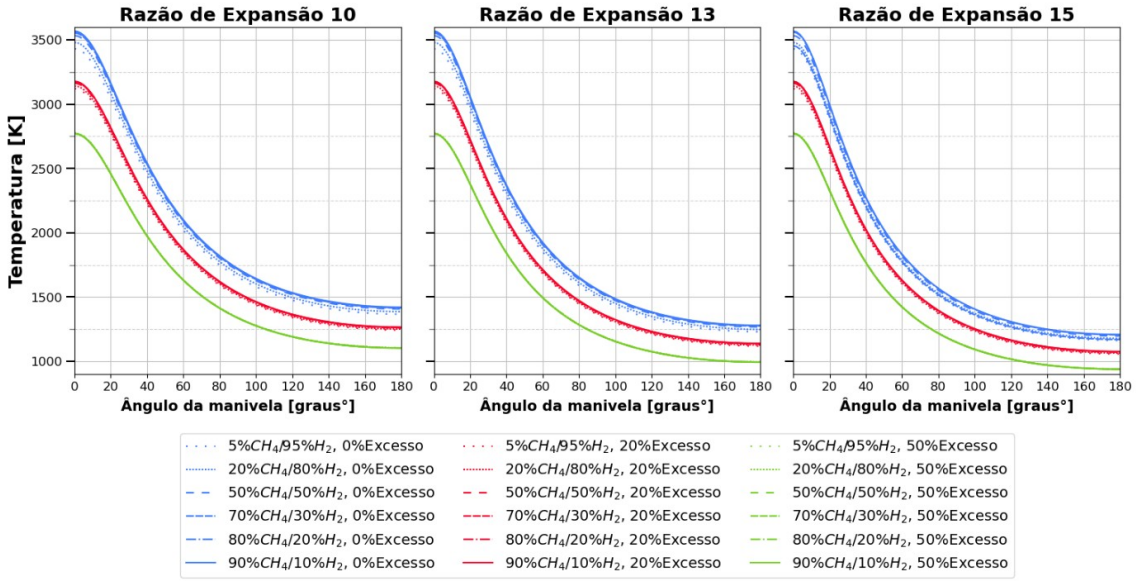


Figura 4.25: Temperaturas ao longo da expansão para o ciclo Atkinson

Como já referido, as temperaturas iniciais são idênticas para todos os casos analisados. Ao longo da expansão, verifica-se uma diminuição das temperaturas, sendo que quanto maior a razão de expansão, mais acentuada é essa descida.

As relações entre temperatura, mistura de combustível e excesso de ar mantêm-se consistentes com as observadas no ciclo Otto. Misturas com maior quantidade de metano apresentam temperaturas mais elevadas durante a expansão, com exceção das misturas que utilizam 50% de excesso de ar, nas quais se observa o efeito inverso.

As diferenças entre as misturas de combustível são mais evidentes em condições estequiométricas e tornam-se progressivamente menos percetíveis à medida que aumenta o excesso de ar, até que se tornam praticamente impercetíveis para 50% de excesso de ar, conforme ilustrado na Figura 4.25.

A Figura 4.26 apresenta as temperaturas de fim de expansão para o caso do ciclo Atkinson.

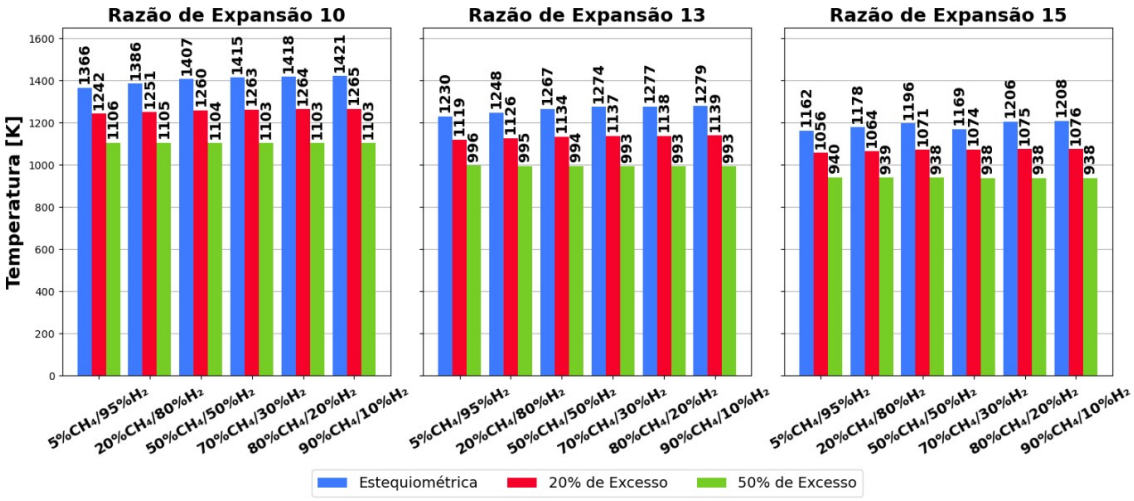


Figura 4.26: Temperaturas de fim de expansão para o ciclo Atkinson

A Figura 4.26 evidencia claramente as relações entre temperaturas finais e a composição da mistura de combustível mencionadas anteriormente. Observa-se que as diferenças de temperatura entre diferentes tipos de combustível diminuem à medida que se aumenta a quantidade de ar na mistura. De forma geral, as temperaturas finais decrescem com o aumento do excesso de ar e também diminuem à medida que se aumenta a razão de expansão, refletindo o efeito termodinâmico de uma expansão mais prolongada no ciclo Atkinson.

4.2.2 Pressões

Como já foi verificado no ciclo Otto, para o ciclo Atkinson, as variações de pressão andam a par das variações de temperatura.

A Figura 4.27 expõe a evolução das pressões ao longo da expansão para os testes realizados para o ciclo Atkinson.

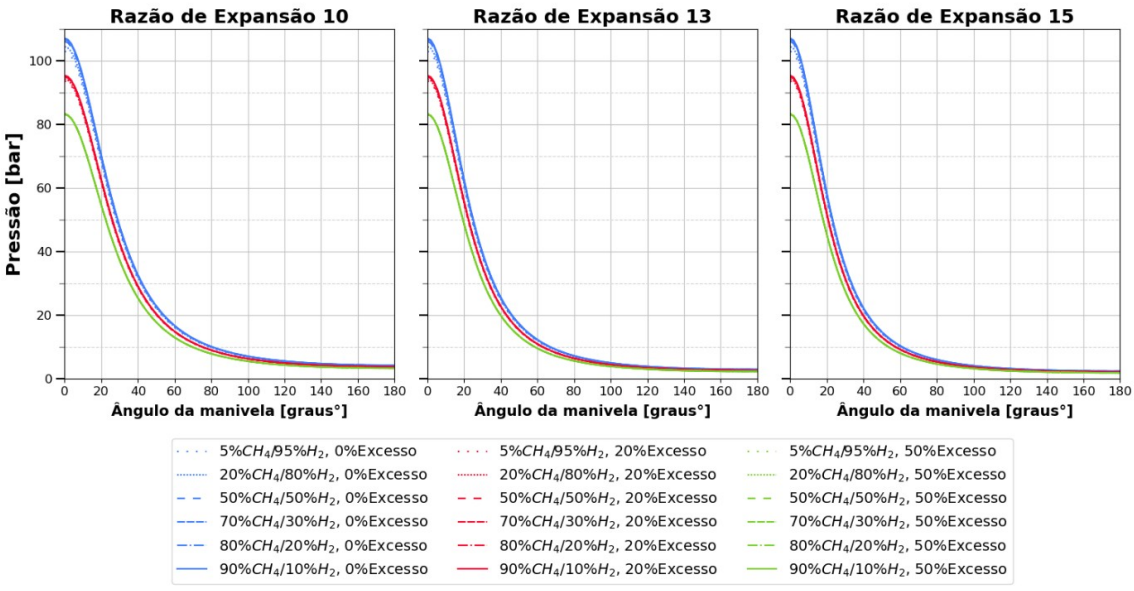


Figura 4.27: Pressões ao longo da expansão para o ciclo Atkinson

As pressões diminuem ao longo da expansão, sendo a maior queda verificada nos estágios iniciais. Quanto maior a razão de expansão, mais acentuada é a redução de pressão, resultando em pressões finais menores em comparação com razões de expansão mais baixas.

Além disso, misturas com maior quantidade de ar apresentam menores pressões ao longo de toda a expansão.

A Figura 4.28 ilustra as pressões finais alcançadas no ciclo Atkinson.

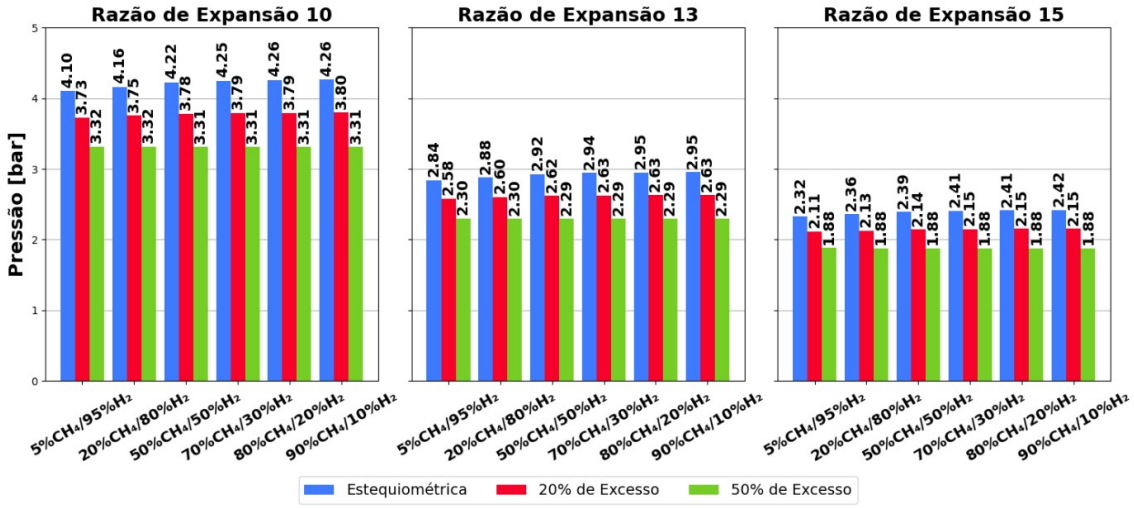


Figura 4.28: Pressões no fim da expansão para o ciclo Atkinson

O decréscimo das pressões devido ao aumento da razão de expansão torna-se mais evidente. As pressões finais da expansão tendem a aumentar com a maior quantidade de metano no combustível e a diminuir à medida que o excesso de ar aumenta.

4.2.3 Dióxido de carbono

A Figura 4.29 evidencia a evolução das concentrações de CO_2 ao longo da expansão no ciclo Atkinson.

A concentração de CO_2 diminui progressivamente ao longo da expansão. As concentrações iniciais são idênticas para as diferentes razões de expansão. Ao analisar um determinado ângulo da manivela, verifica-se que as concentrações de CO_2 associadas a menores razões de expansão tendem a ser mais elevadas, concluindo-se que quanto maior a razão de expansão, maior é a queda das concentrações durante a expansão. Embora esta tendência não seja totalmente percetível na Figura 4.29, espera-se que as concentrações finais sejam menores à medida que a razão de expansão aumenta.

O esquema de cores indica que misturas com maior excesso de ar apresentam maiores $[CO_2]$, comportamento idêntico ao observado no ciclo Otto, o que confirma a consistência da implementação do método. O aumento do excesso de ar leva a temperaturas mais baixas ao fim da combustão, resultando em constantes de equilíbrio maiores para as reações de combustão (Equações 3.11e e 3.11f). Constantes de equilíbrio maiores favorecem a formação de CO_2 simultaneamente à destruição de CO, como previsto pelas energias livres de Gibbs apresentadas no Anexo A 5.1.

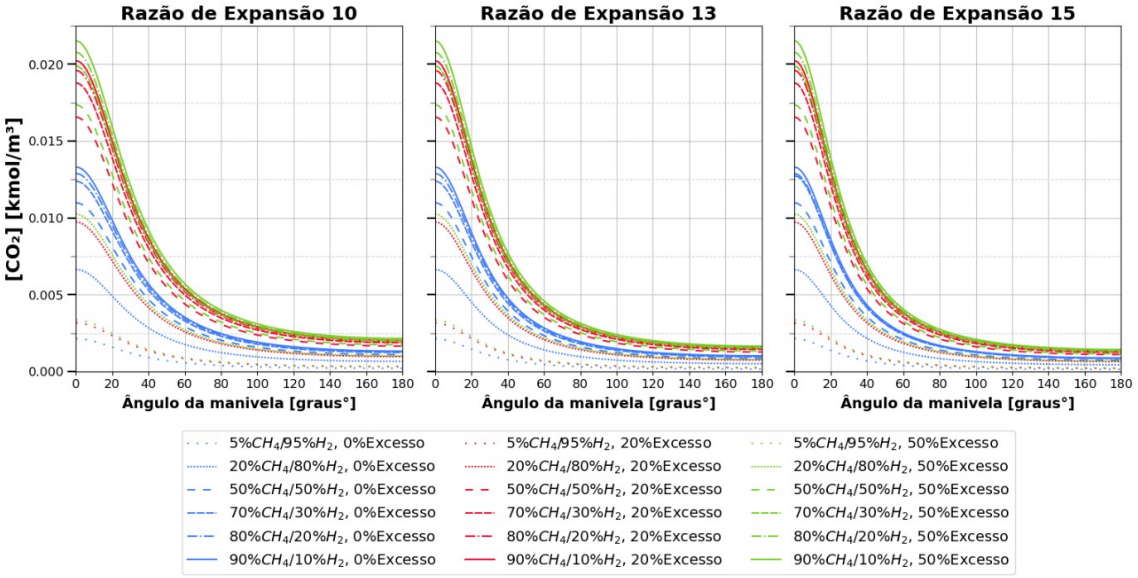


Figura 4.29: Concentrações de CO_2 ao longo da expansão para o ciclo Atkinson

O tipo de traço nos gráficos evidencia que as maiores concentrações de CO_2 ocorrem nas misturas com maior proporção de metano no combustível.

A Figura 4.30 evidencia as concentrações finais de CO_2 no ciclo Atkinson para diferentes razões de expansão.

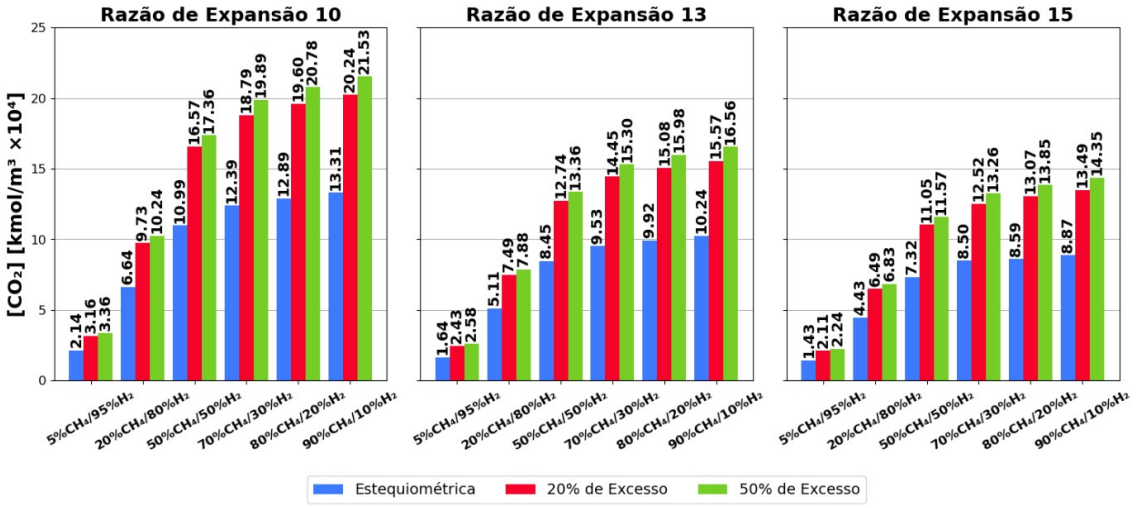


Figura 4.30: Concentrações de CO_2 no fim da expansão para o ciclo Atkinson

Como já foi estimado, as concentrações finais de CO_2 diminuem à medida que a razão de expansão aumenta. Isto deve-se ao facto de uma maior razão de expansão resultar num volume final mais elevado, promovendo a diluição dos produtos e, consequentemente, uma menor concentração de CO_2.

As tendências observadas durante a expansão mantêm-se no final. As concentrações de CO_2 aumentam com o aumento do excesso de ar e com a maior proporção de metano na mistura de combustível. Este comportamento está em concordância com o que foi verificado no ciclo Otto, evidenciando a consistência do modelo implementado e a influência simultânea do combustível e da quantidade de ar sobre as concentrações finais.

4.2.4 Monóxido de carbono

A Figura 4.31 acompanha a evolução da concentração de CO ao longo da expansão.

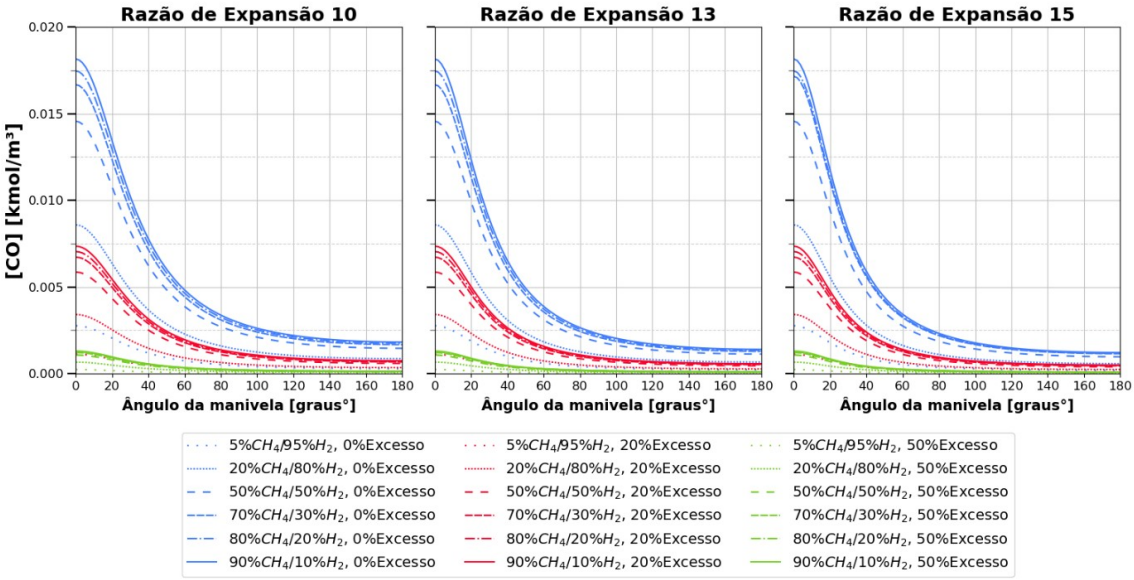


Figura 4.31: Concentrações de de CO ao longo da expansão para o ciclo Atkinson

As concentrações de CO diminuem ao longo da expansão. As concentrações iniciais são idênticas para todas as razões de expansão, uma vez que as condições iniciais do ciclo são mantidas constantes.

Uma análise detalhada da Figura 4.31 evidencia que quanto maior a razão de expansão utilizada, maior é o decréscimo da concentração de CO. Isto deve-se ao aumento do volume final, que provoca uma maior diluição dos produtos.

O esquema de cores evidencia diferenças claras entre os testes com diferentes excessos de ar. Testes estequiométricos apresentam concentrações de CO significativamente mais elevadas do que os testes com excesso de ar. À medida que se aumenta o excesso de ar e avança a expansão, essas diferenças tornam-se menos pronunciadas.

O tipo de traço utilizado indica que as concentrações de CO aumentam com a maior proporção de metano na mistura de combustível.

Estes resultados mantêm a tendência verificada para o ciclo Otto, reforçando a coerência do modelo aplicado.

A figura 4.32 revela as concentrações de CO no fim da expansão.

Segundo a Figura 4.32, as concentrações finais de CO são menores para maiores razões de expansão.

As concentrações de CO diminuem significativamente com o aumento do excesso de ar. De acordo com as constantes de equilíbrio das Equações 3.11e e 3.11f, a formação de CO_2 é favorecida pelo aumento do excesso de ar, enquanto a formação de CO é desfavorecida.

Tal como verificado para o CO_2, misturas de combustível com maior quantidade de CH_4, contendo mais carbono, resultam em concentrações mais elevadas de CO.

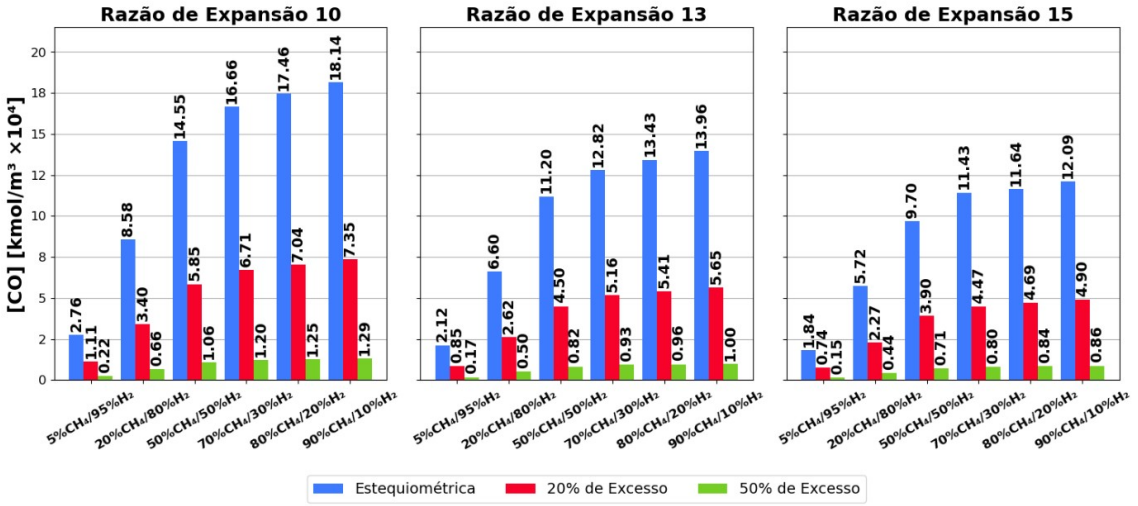


Figura 4.32: Concentrações de CO no fim da expansão para o ciclo Atkinson

4.2.5 Monóxido de azoto

A Figura 4.33 procura evidenciar a formação e destruição de NO nos estágios iniciais da expansão, analisando os primeiros $16,2°$ de rotação da manivela.

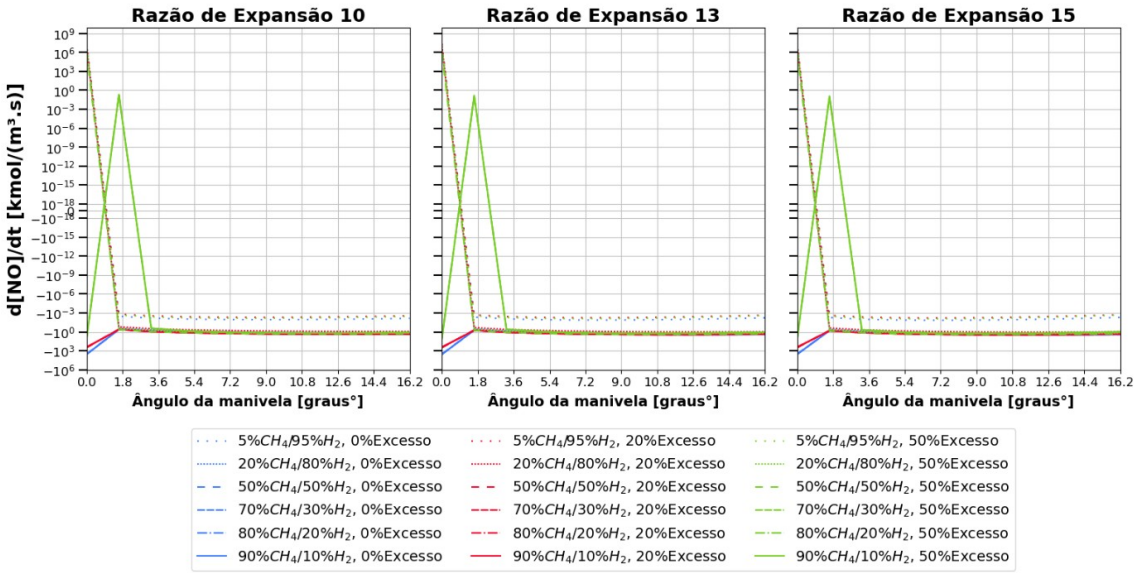


Figura 4.33: Formação e destruição de NO nos estágios iniciais da expansão para o ciclo Atkinson

Nos primeiros ângulos de rotação da manivela verificam-se valores díspares, que indicam tanto a formação como a destruição de $[NO]$, dependendo do tipo de mistura reagente considerada. Com o avançar da expansão, estes valores convergem para pontos semelhantes, evidenciando, de forma inequívoca, a destruição de $[NO]$.

Estas variações podem ser justificadas pelos dados iniciais obtidos para as quantidades molares de NO, apresentados na Tabela 4.3. Estes valores constituem apenas aproximações às concentrações reais, sendo que a aplicação do método de Runge-Kutta de 4ª ordem tem como objetivo integrar as equações diferenciais obtidas para estes pontos, conferindo-lhes maior precisão e proximidade com a realidade. Desta

forma, os valores bastante díspares observados no início da expansão podem ser explicados através de estimativas iniciais pouco precisas para as concentrações de NO, que, após poucas iterações do método de integração, convergem para valores mais fiáveis.

A Figura 4.34 apresenta a evolução das formações e destruições de $[NO]$ durante a totalidade da expansão.

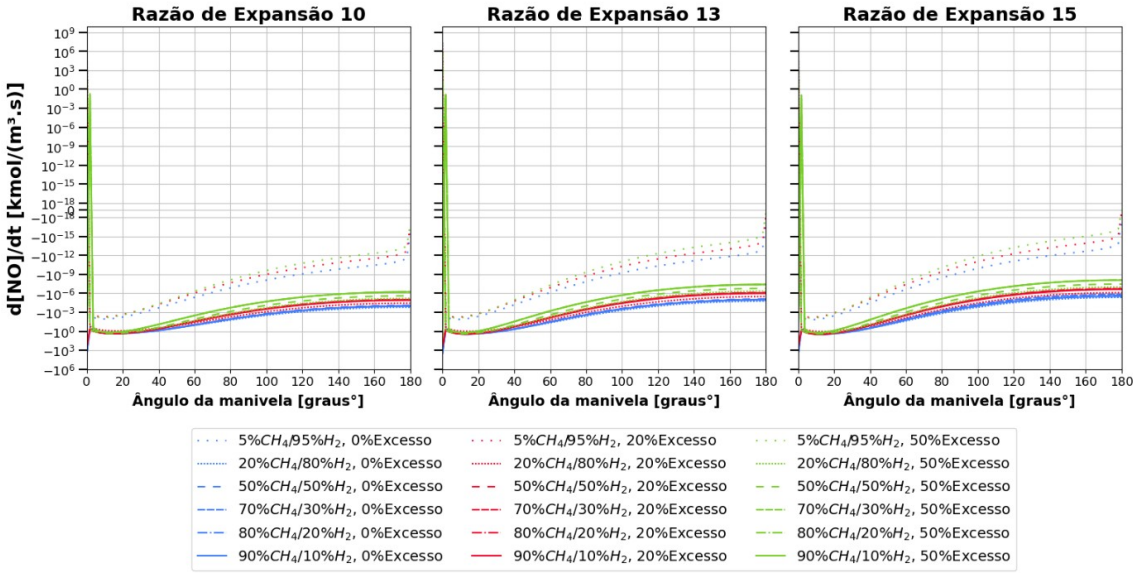


Figura 4.34: Formação e destruição de NO ao longo da expansão para o ciclo Atkinson

Os valores iniciais de produção e destruição de $[NO]$ são idênticos para os três cenários de razão de expansão analisados. A análise da linha correspondente a uma produção de -10^{-3} evidencia que a taxa de destruição de $[NO]$ diminui à medida que aumenta a razão de expansão. Isto indica que, para razões de expansão mais elevadas, a quantidade de $[NO]$ destruída até ao final da expansão é menor.

Verifica-se ainda que a destruição de $[NO]$ é mais acentuada em misturas estequiométricas e naquelas com maior fração volumétrica de metano no combustível. Este comportamento confirma que a destruição de $[NO]$ é tanto maior quanto maior a concentração inicial da espécie, a qual está diretamente associada às condições de temperatura e pressão mais elevadas obtidas durante a combustão.

A Figura 4.35 caracteriza as concentrações do NO ao longo da expansão.

Os valores iniciais de concentrações são idênticos para as três razões de expansão, coincidindo com os apresentados na Figura 4.20 para o caso da razão de compressão 10.

A análise da Figura 4.35 permite verificar que, para um ângulo da manivela de aproximadamente 20°, o aumento da razão de expansão conduz a uma maior redução da concentração de NO, aproximando os valores de $[NO]$ do intervalo de -10^{-3}. Este comportamento evidencia que expansões mais longas promovem uma maior diminuição da concentração da molécula.

No que respeita ao efeito do excesso de ar, observa-se que as hierarquias estabelecidas no início da expansão se invertem com o avanço da manivela. Inicialmente, as misturas estequiométricas apresentavam as maiores concentrações de NO, seguidas pelas de 20% de excesso de ar e, por último, as de 50% de excesso de ar. Contudo,

ao longo da expansão, as misturas com maior excesso de ar ultrapassam as demais, de modo que, no final da expansão, são as que apresentam as maiores concentrações de NO, seguidas pelas misturas com 20% de excesso de ar, e por último, com a menor concentração de NO, as misturas estequiométricas.

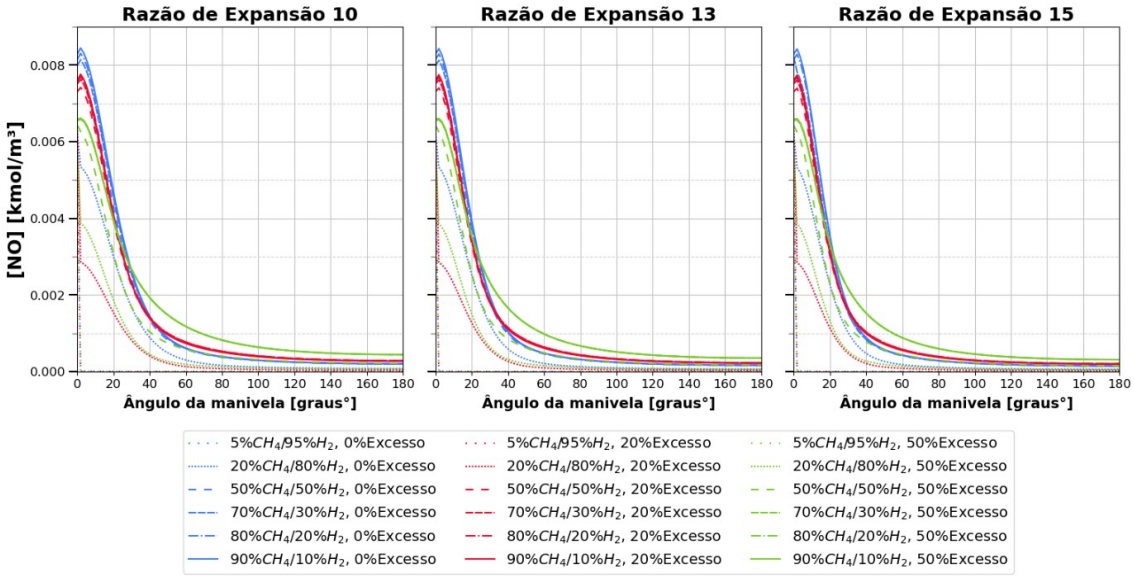


Figura 4.35: Concentrações de NO ao longo da expansão para o ciclo Atkinson

Em contrapartida, a influência da composição do combustível mantém-se inalterada ao longo de toda a expansão. Misturas com maior percentagem volúmica de metano continuam a apresentar sistematicamente as maiores concentrações de NO, devido às temperaturas mais elevadas geradas durante a combustão.

A Figura 4.36 evidencia as concentrações de NO no final da expansão.

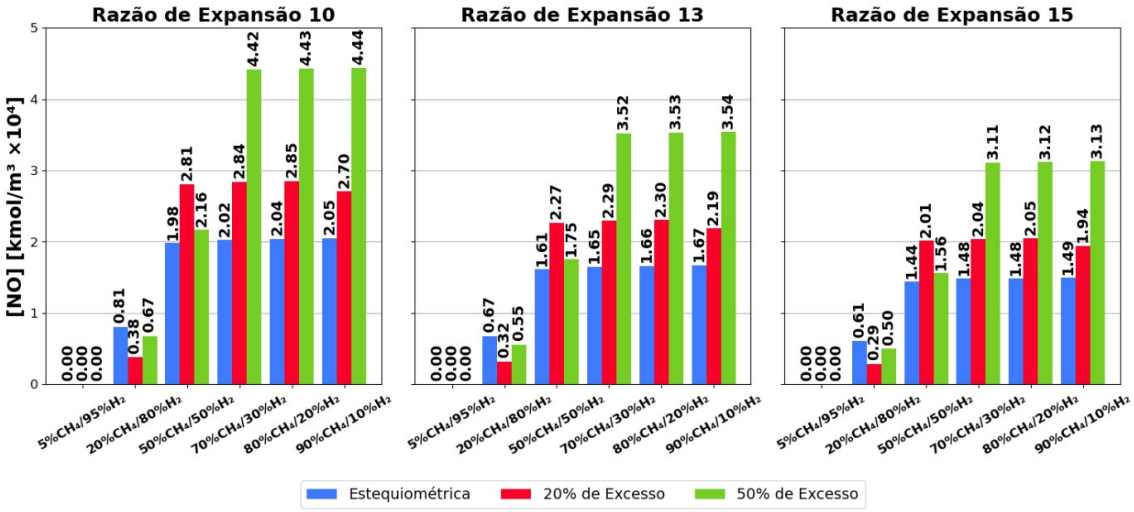


Figura 4.36: Concentrações de NO no final da expansão para o ciclo Atkinson

As concentrações finais de NO diminuem com o aumento da razão de expansão.

Verifica-se um aumento das concentrações finais com a quantidade de excesso de ar aplicada, motivadas pela inversão de hierarquias evidenciada na Figura 4.35.

No que respeita à composição do combustível, as concentrações finais de NO aumentam com a percentagem de metano na mistura. Este padrão é observado inclusivamente nos testes com 50% de excesso de ar. Anteriormente, misturas com 50% de excesso de ar, motivadas pelos valores obtidos para as energias caloríficas, não seguiam a tendência de misturas que utilizam diferentes quantidades de excesso de ar para o caso das temperaturas e pressões que desempenham papel fundamental na formação de $[NO]$. Nestes casos específicos, o aumento da fração de metano no combustível conduzia a menores temperaturas e pressões, contrariando a tendência observada para os restantes valores de excesso de ar.

Por fim, para misturas de combustível contendo apenas 5% em volume de metano, as concentrações finais de NO são praticamente nulas.

Todos os resultados até agora apresentados graficamente para o ciclo de Atkinson, podem ser mais detalhadamente consultados no Apêndice B 5.1.

5 Conclusão

Neste capítulo é efetuada a conclusão final do trabalho. São resumidos os principais resultados obtidos a partir da análise do capítulo anterior, onde foram expostos e discutidos os comportamentos verificados durante a expansão para os ciclos Otto e Atkinson.

5.1 Conclusões finais

Este trabalho teve como principal objetivo o estudo da expansão e emissões associadas de um motor que utilize como combustível uma mistura de hidrogénio e metano, e que funcione segundo o ciclo Otto e Atkinson.

Para isso foram analisadas diferentes misturas de reagentes. Variaram-se as proporções entre metano e hidrogénio no combustível e as quantidades de ar na mistura reagente. Foram ainda consideradas distintas razões de compressão para o ciclo Otto e razões de expansão para o ciclo Atkinson. Com estas condições definidas, determinou-se o equilíbrio químico através de uma folha de cálculo em *Excel*.

A fase de expansão foi modelada com recurso a uma rotina de cálculo em *Python*, considerando tanto o mecanismo cinemático do motor como a cinética química, esta última baseada no mecanismo de Zeldovich. A integração das equações diferenciais foi realizada pelo método de Runge-Kutta de 4ª ordem.

Um dos objetivos do trabalho era também estudar as diferenças entre resultados obtidos por via da utilização de diferentes métodos de integração numéricos. Foi realizado um teste experimental que comparava o método de Euler e o método de Runge-Kutta de 4ª ordem. As diferenças verificadas não eram significativas no plano geral da expansão, os resultados obtidos variavam apenas em casas decimais bastante avançadas.

Outros testes experimentais foram realizados a fim de estudar as diferenças produzidas pela utilização de distintos intervalos de tempo para passo de integração e diferentes velocidades angulares do veio do motor. Concluiu-se que a par de pequenas diferenças verificadas apenas num estreito período de rotação da manivela, para a formação e destruição de monóxido de azoto, não se verificavam diferenças consideráveis no espetro alargado de toda a expansão.

As grandezas analisadas em detalhe durante a expansão foram a temperatura, a pressão, e as concentrações de poluentes como o CO_2, CO e NO.

De forma geral, conclui-se que temperatura, pressão e concentrações de poluentes diminuem com o aumento do volume ao longo da expansão. A redução é mais acentuada nos instantes iniciais, devido à violência da combustão e ao elevado trabalho desenvolvido nessa fase, e tende a atenuar-se à medida que a expansão avança. Quanto maior a razão de expansão, maior a queda verificada destas grandezas.

As pressões e temperaturas seguem padrões muito semelhantes. As temperaturas e pressões inicialmente mais altas resultam de menores quantidades de ar e maiores

quantidades de metano e razão de compressão. As pressões e temperaturas mais altas no fim da expansão resultam de menores quantidades de ar, maiores quantidades de metano e menor razão de compressão.

Conclui-se que as concentrações de CO_2 são mais elevadas quanto maior é a quantidade de ar, isto contrasta com o que se observa para as concentrações de CO. As equações de equilíbrio utilizadas favorecem a formação de CO_2 e destruição de CO com a diminuição da temperatura durante a explosão, a quantidade de excesso de ar implica diretamente a temperatura, diminuindo o valor desta. As concentrações de CO e CO_2 são tanto maiores quanto maior a concentração de metano no combustível, maior quantidade de CH_4 traduz-se em maior quantidade de carbono para formação destas moléculas. A razão de compressão ou expansão apenas implica variações das concentrações de CO e CO_2, na medida que controlam o volume da câmara de combustão. Maiores razões de compressão implicam menores volumes e por isso maiores concentrações, já maiores razões de expansão implicam maiores volumes e por isso menores concentrações. Uma vez que, para análise do ciclo Otto o V_{PMI} é idêntico para todos os casos, as concentrações finais destes poluentes não variam com a razão de compressão. Variam no início, fruto das variações de volume que diferentes razões de compressão implicam. Para análise do ciclo Atkinson o V_{PMS} é idêntico para todos os casos, as concentrações iniciais destes poluentes não variam com a razão de expansão, variam no final, fruto das variações de volume que maiores razões de expansão implicam.

O monóxido de azoto é influenciado pelas temperaturas e concentrações de O_2 e N_2. As temperaturas, quando são altas, são a causa principal de formação de NO. Quando estas decrescem as concentrações de O_2 e N_2 passam a desempenhar papel principal. Conclui-se que as concentrações iniciais do NO são altamente influenciadas pela temperatura e levemente influenciadas pelas concentrações de N_2 e O_2. Maiores temperaturas implicam maiores concentrações de NO. No final da expansão, por via da aplicação do mecanismo de Zeldovich, a importância da temperatura nas concentrações de NO diminui e a concentração de O_2 e N_2, desempenha um papel agora mais relevante. Misturas com maior excesso de ar e por isso menor temperatura e maiores concentrações de O_2 e N_2 apresentam maiores concentrações de NO, enquanto misturas de combustível com maior quantidade de metano continuam a apresentar maiores concentrações de NO resultado das maiores temperaturas que provocam em relação a misturas de combustível com maior quantidade de hidrogénio.

Conclui-se que, de forma geral, misturas de reagentes que libertam menos energia, ou seja, com maior quantidade de ar e combustível maioritariamente composto por hidrogénio em vez de metano, e que sofram uma mais longa expansão, apresentam menores concentrações de poluentes, assim como temperaturas e pressões mais baixas. Por outro lado, misturas que libertam mais energia, com quantidade de ar estequiométrica e combustível maioritariamente composto por metano em vez de hidrogénio, e que sofram uma mais curta expansão, resultam em maiores concentrações de poluentes, bem como temperaturas e pressões mais elevadas no final da expansão.

Referências

[1] Y. A. Cengel and M. A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 9th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2019.

[2] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 2nd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2018.

[3] I. Rolo, V. A. F. Costa, and F. P. Brito, "Hydrogen-based energy systems: Current technology development status, opportunities and challenges," *Energies*, vol. 17, no. 1, p. 180, 2024.

[4] Y. Workineh, H. Mekonnen, and B. Belew, "Numerical methods for solving second-order initial value problems of ordinary differential equations with euler and runge-kutta fourth-order methods," *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, vol. 10, 2024.

[5] Z. Stępień, "A comprehensive overview of hydrogen-fueled internal combustion engines: Achievements and future challenges," *Energies*, vol. 14, no. 20, p. 6504, 2021.

[6] Semin, R. A. Bakar, and A. R. Ismail, "Compressed natural gas as an alternative fuel for internal combustion engines: A technical review," *International Review of Mechanical Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 192–206, 2009.

[7] M. J. B. Kabeyi and O. A. Olanrewaju, "Biogas production and applications in the sustainable energy transition," *Journal of Energy*, vol. 2022, p. 8750221, 2022.

[8] S. R. Turns, *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*, 1st ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2000.

[9] R. H. Perry, D. W. Green, and J. O. Maloney, Eds., *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

[10] Energy Institute, "Statistical review of world energy 2023," https://www.energyinst.org/statistical-review, London, UK, 2023, [Accessed: 6 December 2024].

[11] M. Bevilacqua, T. Grünewald, S. Overlack, O. Rolser, A. Schrum, and C. Therkelsen, "Global energy perspective 2023: Energy value pools outlook," https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023-energy-value-pools-outlook#/, 2024, mcKinsey & Company, [Accessed: 7 December 2024].

[12] European Commission, "A european green deal," 2019, [Accessed: 8 December 2024]. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

[13] European Environment Agency, "Decarbonising road transport – the role of vehicles, fuels and transport demand," https://www.eea.europa.eu/publications/decarbonising-road-transport, 2022, [Accessed: 8 December 2024].

[14] B. Ashok, A. N. Kumar, A. Jacob, and R. Vignesh, "Emission formation in ic engines," in *NOx Emission Control Technologies in Stationary and Automotive Internal Combustion Engines: Approaches Toward NOx Free Automobiles*, B. Ashok, S. Rajesh, and A. N. Kumar, Eds. Cambridge, MA, USA: Academic Press, 2021, pp. 1–34.

[15] V. Ganesan, *IC Engines*, 4th ed. New Delhi, India: Tata McGraw-Hill Education Private Limited, 2012.

[16] R. Stone, *Introduction to Internal Combustion Engines*, 3rd ed. London, UK: Macmillan Press Ltd, 1999.

[17] R. K. Rajput, *Internal Combustion Engines*, 2nd ed. New Delhi, India: Laxmi Publications, 2009.

[18] J. Martins, *Motores de Combustão Interna*, 2nd ed. Porto, Portugal: Publindústria, 2006.

[19] S. T. P. Purayil, M. O. Hamdan, S. A. B. Al-Omari, M. Y. E. Selim, and E. Elnajjar, "Review of hydrogen–gasoline si dual fuel engines: Engine performance and emission," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 1298–1319, 2023.

[20] D. Akal, S. Öztuna, and M. K. Büyükakın, "A review of hydrogen usage in internal combustion engines (gasoline–lpg–diesel) from combustion performance aspect," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 60, pp. 34 780–34 791, 2020.

[21] S. Verhelst and T. Wallner, "Hydrogen-fueled internal combustion engines," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 35, no. 6, pp. 490–527, Dec. 2009.

[22] G. Bassioni and H. Klein, "Liquefaction of natural gas and simulated process optimization: A review," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 2, p. 102431, 2024.

[23] Y. Kim, J. Lee, N. An, and J. Kim, "Advanced natural gas liquefaction and regasification processes: Liquefied natural gas supply chain with cryogenic carbon capture and storage," *Energy Conversion and Management*, vol. 292, p. 117349, 2023.

[24] W. Li, J. Ma, H. Liu, H. Wang, H. Zhang, T. Qi, D. Wu, and J. Pan, "Investigations on combustion system optimization of a heavy-duty natural gas engine," *Fuel*, vol. 331, p. 125621, 2023.

[25] A. Huonder and D. Olsen, "Methane emission reduction technologies for natural gas engines: A review," *Energies*, vol. 16, no. 20, p. 7054, 2023.

[26] I. Glassman and R. A. Yetter, *Combustion*, 4th ed. Burlington, MA, USA and London, UK: Academic Press, an imprint of Elsevier, 2008, includes expanded appendices, updated problem sets, and new material on scramjets, sensitivity analysis, stratified flame propagation, and carbon combustion. [Online]. Available: https://www.elsevier.com/books/combustion/glassman/978-0-12-088573-2

[27] J. Warnatz, U. Maas, and R. W. Dibble, *Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation*, 4th ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006, originally developed from a lecture series by J. Warnatz at Stuttgart University. The 4th edition includes major structural revisions, a new chapter on atmospheric impacts, and extended discussions on Otto and Diesel engine combustion.

[28] B. Lewis and G. von Elbe, *Combustion, Flames and Explosions of Gases*, 3rd ed. Orlando, FL: Academic Press, 1987, first edition published in 1951.

[29] U.S. Environmental Protection Agency, "Timeline of major accomplishments in transportation air pollution and climate change," https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/timeline-major-accomplishments, 2023, [Accessed: 31 August 2025].

[30] DieselNet, "Gaseous emissions," https://dieselnet.com/tech/gasemi.php, 2023, [Accessed: 31 August 2025].

[31] DieselNet, "Emission formation in diesel engines," https://dieselnet.com/tech/diesel_emissions.php, 2023, [Accessed: 31 August 2025].

[32] J. Sterlepper, H.-J. Neußer, and H. Ruhland, "Hc-emissions of si engines – optical investigation of flame propagations in piston top land crevice," in *SAE Technical Paper 941994*. SAE International, 1994, [Accessed: 31 August 2025]. [Online]. Available: https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/941994/

[33] International Agency for Research on Cancer, "Diesel engine exhaust carcinogenicity (group 1 classification)," https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr213_E.pdf, 2012, iARC Press Release No. 213, Lyon, France. [Accessed: 31 August 2025].

[34] U.S. Environmental Protection Agency, "What is acid rain?" https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain, 2023, [Accessed: 31 August 2025].

[35] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "Effects of acid rain," https://www.epa.gov/acidrain/effects-acid-rain, 2023, [Accessed: 31 August 2025].

[36] U.S. National Park Service, "Ozone effects on plants," https://www.nps.gov/subjects/air/nature-ozone.htm, 2020, [Accessed: 31 August 2025].

[37] P. Glarborg, J. A. Miller, B. Ruscic, and S. J. Klippenstein, "Modeling nitrogen chemistry in combustion," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 67, pp. 31–68, 2018.

[38] G. D. Smith, *Numerical Solution of Partial Differential Equations: Finite Difference Methods*, 3rd ed. Oxford, UK: Clarendon Press, Oxford University Press, 1985, classic reference on finite difference methods for solving PDEs.

[39] R. L. Burden and J. D. Faires, *Numerical Analysis*, 9th ed. Boston, MA, USA: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2011, classic undergraduate text on numerical approximation techniques.

[40] M. Newman, *Computational Physics*, revised and expanded ed. Charleston, SC: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013, first edition published in 2012.

[41] F. M. B. Minhós, "Equações diferenciais ordinárias: Relatório de unidade curricular," 2009, relatório da unidade curricular Equações Diferenciais Ordinárias, Universidade de Évora. Disponível em: https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4783/1/EDO_FMinhos.pdf.

[42] U. Sodré, "Equações diferenciais ordinárias: Notas de aula," 2003, notas de aula da disciplina Equações Diferenciais Ordinárias, Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: https://www.uel.br/projetos/matessencial/superior/pdfs/edo.pdf.

[43] J. Figueiredo and C. Ribeiro, "Apontamentos de equações diferenciais (complementos de análise matemática ee)," 2013, material de ensino do Departamento de Matemática e Aplicações, Universidade do Minho. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/27285/1/ApontamentosEDs-CAM.pdf.

[44] J. C. Butcher, *Numerical Methods for Ordinary Differential Equations*, 2nd ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2008, second edition with expanded coverage of Runge-Kutta methods, multistep methods, and stability theory.

[45] A. Iserles, *A First Course in the Numerical Analysis of Differential Equations*, 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2009, cambridge Texts in Applied Mathematics series, 2nd edition, extensively updated with new chapters on geometric numerical integration, spectral methods, and conjugate gradients.

[46] S. C. Chapra and R. P. Canale, *Numerical Methods for Engineers*, 7th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2015.

[47] L. Wang, C. Hong, X. Li, Z. Yang, S. Guo, and Q. Li, "Review on blended hydrogen-fuel internal combustion engines: A case study for china," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 11 530–11 550, 2022.

[48] A. L. Niculae, L. Miron, and R. Chiriac, "On the possibility to simulate the operation of a si engine using alternative gaseous fuels," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 39–44, 2020.

[49] K. Haghighi and G. P. McTaggart-Cowan, "Modelling the impacts of Hydrogen–Methane blend fuels on a stationary power generation engine," *Energies*, vol. 16, no. 5, p. 2420, 2023.

[50] F. Moreno, M. Muñoz, J. Arroyo, O. Magén, C. Monné, and I. Suelves, "Efficiency and emissions in a vehicle spark ignition engine fueled with hydrogen and methane blends," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 15, pp. 11 495–11 503, 2012.

[51] Y. Huang and F. Ma, "Intelligent regression algorithm study based on performance and NOx emission experimental data of a hydrogen enriched compressed natural gas (HCNG) engine," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 26, pp. 11 409–11 415, 2016.

[52] T. S. Hora and A. K. Agarwal, "Experimental study of the composition of hydrogen enriched compressed natural gas on engine performance, combustion and emission characteristics," *Fuel*, vol. 160, pp. 318–329, 2015.

[53] Y. Liu, Y. He, C. Han, and C. Yuan, "Combustion and energy distribution of hydrogen-enriched compressed natural gas engines with low heat rejection based on atkinson cycle," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 11, no. 1, p. 1687814018819580, 2019.

[54] Z. Yang, N. Miganakallu, T. Miller, V. B. Vinhaes, J. Worm, J. Naber, and D. Roth, "Investigation of high load operation of spark-ignited over-expanded atkinson cycle engine," *Applied Energy*, vol. 262, p. 114519, 2020.

[55] C. Cinar, A. O. Ozdemir, H. E. Gulcan, and T. Topgül, "Theoretical and experimental investigation of the performance of an atkinson cycle engine," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 46, no. 8, p. 7841–7850, 2021.

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração. Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim. Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP),

Simão Pedro da Costa Monteiro

Porto, 3 de setembro de 2025

Apêndice A - Expansão do ciclo Otto

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0002	0,0003	0,0013	0,0084	0,0005	0,0003	0,0057	0,0181	0,0001	0,0009	0,0003	0,036101	80,92	3369,85	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,6098	0,7459	3,5944	23,1402	1,2513	0,9468	15,7314	50,1291	0,3809	2,5497	0,9205	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	80,92	3369,85	1,76E-03	2,15E-03	1,04E-02	6,68E-02	3,61E-03	2,73E-03	4,54E-02	1,45E-01	1,10E-03	7,36E-03	2,66E-03	1,72E+07	-1,88E+06	-2,82E+07	5,50E+06	7,38E+06	-2,08E+07	2,08E+07
9	74,98	3297,27	1,67E-03	2,04E-03	9,83E-03	6,33E-02	5,79E-06	7,42E-09	2,05E-02	1,50E-01	1,66E-02	4,29E-09	9,49E-03	-5,82E-03	-1,03E-05	-5,86E-03	5,84E-03	5,85E-03	-6,99E-06	6,99E-06
18	61,15	3110,62	1,44E-03	1,76E-03	8,50E-03	5,47E-02	2,51E-06	2,40E-09	1,77E-02	1,30E-01	1,44E-02	1,20E-09	8,20E-03	-4,51E-03	-5,99E-06	-4,53E-03	4,52E-03	4,53E-03	-3,50E-06	3,50E-06
27	46,29	2872,86	1,18E-03	1,45E-03	6,97E-03	4,48E-02	7,50E-07	4,67E-10	1,45E-02	1,06E-01	1,18E-02	1,89E-10	6,73E-03	-1,73E-03	-1,50E-06	-1,73E-03	1,73E-03	1,73E-03	-7,05E-07	7,05E-07
36	34,17	2634,05	9,51E-04	1,16E-03	5,61E-03	3,61E-02	1,82E-07	6,82E-11	1,17E-02	8,56E-02	9,48E-03	2,14E-11	5,41E-03	-4,66E-04	-2,44E-07	-4,67E-04	4,66E-04	4,67E-04	-8,91E-08	8,91E-08
45	25,36	2418,95	7,69E-04	9,40E-04	4,53E-03	2,92E-02	4,09E-08	8,88E-12	9,44E-03	6,92E-02	7,66E-03	2,13E-12	4,38E-03	-1,08E-04	-3,28E-08	-1,08E-04	1,08E-04	1,08E-04	-9,14E-09	9,14E-09
54	19,22	2234,96	6,31E-04	7,72E-04	3,72E-03	2,39E-02	9,24E-09	1,16E-12	7,75E-03	5,68E-02	6,29E-03	2,12E-13	3,59E-03	-2,39E-05	-4,22E-09	-2,39E-05	2,39E-05	2,39E-05	-8,93E-10	8,93E-10
63	14,98	2081,34	5,28E-04	6,46E-04	3,11E-03	2,00E-02	2,21E-09	1,62E-13	6,48E-03	4,75E-02	5,26E-03	2,28E-14	3,00E-03	-5,45E-06	-5,65E-10	-5,45E-06	5,45E-06	5,45E-06	-9,19E-11	9,19E-11
72	12,02	1954,49	4,51E-04	5,52E-04	2,66E-03	1,71E-02	5,78E-10	2,57E-14	5,54E-03	4,06E-02	4,50E-03	2,82E-15	2,57E-03	-1,33E-06	-8,35E-11	-1,33E-06	1,33E-06	1,33E-06	-1,06E-11	1,06E-11
81	9,93	1850,29	3,93E-04	4,81E-04	2,32E-03	1,49E-02	1,69E-10	4,71E-15	4,83E-03	3,54E-02	3,92E-03	4,11E-16	2,24E-03	-3,55E-07	-1,40E-11	-3,55E-07	3,55E-07	3,55E-07	-1,41E-12	1,41E-12
90	8,41	1764,94	3,50E-04	4,28E-04	2,06E-03	1,33E-02	5,57E-11	1,02E-15	4,29E-03	3,15E-02	3,48E-03	7,21E-17	1,99E-03	-1,05E-07	-2,72E-12	-1,05E-07	1,05E-07	1,05E-07	-2,22E-13	2,22E-13
99	7,31	1695,21	3,16E-04	3,87E-04	1,86E-03	1,20E-02	2,08E-11	2,61E-16	3,88E-03	2,84E-02	3,15E-03	1,54E-17	1,80E-03	-3,47E-08	-6,18E-13	-3,47E-08	3,47E-08	3,47E-08	-4,18E-14	4,18E-14
108	6,49	1638,46	2,90E-04	3,55E-04	1,71E-03	1,10E-02	8,79E-12	7,94E-17	3,56E-03	2,61E-02	2,89E-03	3,97E-18	1,65E-03	-1,27E-08	-1,63E-13	-1,27E-08	1,27E-08	1,27E-08	-9,39E-15	9,39E-15
117	5,87	1592,52	2,70E-04	3,31E-04	1,59E-03	1,03E-02	4,20E-12	2,85E-17	3,32E-03	2,43E-02	2,69E-03	1,24E-18	1,54E-03	-5,19E-09	-5,01E-14	-5,19E-09	5,19E-09	5,19E-09	-2,50E-15	2,50E-15
126	5,41	1555,67	2,55E-04	3,12E-04	1,50E-03	9,68E-03	2,25E-12	1,20E-17	3,13E-03	2,29E-02	2,54E-03	4,64E-19	1,45E-03	-2,33E-09	-1,76E-14	-2,33E-09	2,33E-09	2,33E-09	-7,84E-16	7,84E-16
135	5,06	1526,53	2,43E-04	2,98E-04	1,43E-03	9,23E-03	1,35E-12	5,91E-18	2,99E-03	2,19E-02	2,42E-03	2,07E-19	1,38E-03	-1,13E-09	-7,05E-15	-1,13E-09	1,13E-09	1,13E-09	-2,84E-16	2,84E-16
144	4,81	1504,02	2,34E-04	2,87E-04	1,38E-03	8,89E-03	8,95E-13	3,35E-18	2,88E-03	2,11E-02	2,34E-03	1,08E-19	1,33E-03	-5,88E-10	-3,13E-15	-5,88E-10	5,88E-10	5,88E-10	-1,16E-16	1,16E-16
153	4,62	1487,31	2,28E-04	2,79E-04	1,34E-03	8,65E-03	6,56E-13	2,18E-18	2,80E-03	2,05E-02	2,27E-03	6,64E-20	1,30E-03	-3,17E-10	-1,49E-15	-3,17E-10	3,17E-10	3,17E-10	-5,24E-17	5,24E-17
162	4,50	1475,79	2,24E-04	2,73E-04	1,32E-03	8,48E-03	5,27E-13	1,61E-18	2,74E-03	2,01E-02	2,23E-03	4,70E-20	1,27E-03	-1,67E-10	-7,25E-16	-1,67E-10	1,67E-10	1,67E-10	-2,44E-17	2,44E-17
171	4,43	1469,04	2,21E-04	2,70E-04	1,30E-03	8,39E-03	4,63E-13	1,34E-18	2,71E-03	1,99E-02	2,20E-03	3,83E-20	1,26E-03	-7,29E-11	-3,00E-16	-7,29E-11	7,29E-11	7,29E-11	-9,85E-18	9,85E-18
180	4,40	1466,81	2,20E-04	2,69E-04	1,30E-03	8,35E-03	4,43E-13	1,26E-18	2,70E-03	1,98E-02	2,19E-03	3,58E-20	1,25E-03	-1,82E-15	-1,97E-19	-1,82E-15	1,82E-15	1,82E-15	-2,77E-22	2,77E-22

Teste: Razão de compressão 8, 0% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0007	0,0008	0,0011	0,0073	0,0006	0,0004	0,0020	0,0216	0,0002	0,0010	0,0003	0,036101	82,10	3419,06	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	1,8893	2,3255	3,1426	20,2864	1,6280	1,2251	5,4318	59,8615	0,4896	2,7604	0,9597	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	82,10	3419,06	5,46E-03	6,72E-03	9,08E-03	5,86E-02	4,70E-03	3,54E-03	1,57E-02	1,73E-01	1,41E-03	7,97E-03	2,77E-03	6,18E+06	-8,69E+05	-1,11E+07	2,47E+06	3,34E+06	-7,78E+06	7,78E+06
9	76,08	3345,42	5,17E-03	6,36E-03	8,60E-03	5,55E-02	3,50E-03	2,15E-03	2,87E-05	1,72E-01	1,04E-02	1,81E-03	8,36E-03	-6,62E-01	3,64E-01	-2,24E-02	3,42E-01	-2,12E-02	-4,36E-02	4,36E-02
18	62,04	3156,04	4,47E-03	5,50E-03	7,43E-03	4,80E-02	2,64E-03	2,08E-03	1,44E-05	1,49E-01	8,99E-03	1,53E-03	7,26E-03	-9,39E-01	5,60E-01	-1,99E-02	4,79E-01	-8,09E-02	-1,01E-01	1,01E-01
27	46,97	2914,81	3,66E-03	4,51E-03	6,09E-03	3,93E-02	1,75E-03	1,97E-03	5,38E-06	1,22E-01	7,32E-03	1,20E-03	6,01E-03	-8,45E-01	5,64E-01	-9,44E-03	4,27E-01	-1,37E-01	-1,46E-01	1,46E-01
36	34,66	2672,51	2,95E-03	3,63E-03	4,90E-03	3,16E-02	1,08E-03	1,81E-03	1,72E-06	9,84E-02	5,83E-03	8,96E-04	4,91E-03	-6,03E-01	4,51E-01	-3,32E-03	3,03E-01	-1,48E-01	-1,51E-01	1,51E-01
45	25,73	2454,28	2,38E-03	2,93E-03	3,96E-03	2,56E-02	6,59E-04	1,64E-03	5,22E-07	7,96E-02	4,65E-03	6,62E-04	4,03E-03	-3,73E-01	3,03E-01	-1,03E-03	1,87E-01	-1,16E-01	-1,17E-01	1,17E-01
54	19,51	2267,60	1,95E-03	2,41E-03	3,25E-03	2,10E-02	4,12E-04	1,45E-03	1,61E-07	6,54E-02	3,77E-03	5,02E-04	3,35E-03	-2,08E-01	1,72E-01	-3,11E-04	1,04E-01	-6,74E-02	-6,77E-02	6,77E-02
63	15,20	2111,74	1,64E-03	2,01E-03	2,72E-03	1,76E-02	2,75E-04	1,27E-03	5,27E-08	5,47E-02	3,14E-03	3,99E-04	2,82E-03	-1,08E-01	8,51E-02	-9,58E-05	5,42E-02	-3,08E-02	-3,09E-02	3,09E-02
72	12,20	1983,03	1,40E-03	1,72E-03	2,33E-03	1,50E-02	1,99E-04	1,11E-03	1,90E-08	4,68E-02	2,67E-03	3,31E-04	2,42E-03	-5,41E-02	3,96E-02	-3,12E-05	2,71E-02	-1,25E-02	-1,25E-02	1,25E-02
81	10,07	1877,31	1,22E-03	1,50E-03	2,03E-03	1,31E-02	1,56E-04	9,81E-04	7,64E-09	4,08E-02	2,32E-03	2,85E-04	2,12E-03	-2,68E-02	1,85E-02	-1,11E-05	1,34E-02	-5,09E-03	-5,10E-03	5,10E-03
90	8,54	1790,71	1,08E-03	1,33E-03	1,80E-03	1,16E-02	1,29E-04	8,78E-04	3,46E-09	3,63E-02	2,06E-03	2,52E-04	1,88E-03	-1,35E-02	9,05E-03	-4,35E-06	6,74E-03	-2,30E-03	-2,31E-03	2,31E-03
99	7,41	1719,97	9,79E-04	1,21E-03	1,63E-03	1,05E-02	1,12E-04	7,97E-04	1,74E-09	3,28E-02	1,87E-03	2,27E-04	1,70E-03	-7,11E-03	4,74E-03	-1,89E-06	3,56E-03	-1,18E-03	-1,19E-03	1,19E-03
108	6,58	1662,38	8,99E-04	1,11E-03	1,50E-03	9,66E-03	1,01E-04	7,34E-04	9,71E-10	3,01E-02	1,71E-03	2,08E-04	1,56E-03	-3,99E-03	2,68E-03	-8,96E-07	2,00E-03	-6,84E-04	-6,85E-04	6,85E-04
117	5,96	1615,78	8,38E-04	1,03E-03	1,39E-03	8,99E-03	9,22E-05	6,84E-04	5,92E-10	2,81E-02	1,59E-03	1,93E-04	1,46E-03	-2,40E-03	1,64E-03	-4,60E-07	1,20E-03	-4,35E-04	-4,35E-04	4,35E-04
126	5,49	1578,39	7,90E-04	9,73E-04	1,31E-03	8,48E-03	8,60E-05	6,46E-04	3,92E-10	2,65E-02	1,50E-03	1,82E-04	1,37E-03	-1,56E-03	1,08E-03	-2,52E-07	7,79E-04	-2,99E-04	-3,00E-04	3,00E-04
135	5,14	1548,82	7,54E-04	9,28E-04	1,25E-03	8,09E-03	8,14E-05	6,17E-04	2,79E-10	2,52E-02	1,43E-03	1,74E-04	1,31E-03	-1,09E-03	7,64E-04	-1,46E-07	5,43E-04	-2,21E-04	-2,21E-04	2,21E-04
144	4,88	1525,98	7,26E-04	8,94E-04	1,21E-03	7,80E-03	7,80E-05	5,95E-04	2,13E-10	2,43E-02	1,38E-03	1,67E-04	1,26E-03	-8,12E-04	5,79E-04	-8,68E-08	4,06E-04	-1,74E-04	-1,74E-04	1,74E-04
153	4,69	1509,03	7,06E-04	8,69E-04	1,17E-03	7,58E-03	7,54E-05	5,79E-04	1,74E-10	2,37E-02	1,34E-03	1,62E-04	1,23E-03	-6,49E-04	4,69E-04	-5,21E-08	3,25E-04	-1,45E-04	-1,45E-04	1,45E-04
162	4,56	1497,34	6,93E-04	8,52E-04	1,15E-03	7,44E-03	7,37E-05	5,68E-04	1,51E-10	2,32E-02	1,32E-03	1,59E-04	1,20E-03	-5,54E-04	4,04E-04	-2,99E-08	2,77E-04	-1,27E-04	-1,27E-04	1,27E-04
171	4,49	1490,49	6,85E-04	8,43E-04	1,14E-03	7,35E-03	7,26E-05	5,61E-04	1,38E-10	2,29E-02	1,30E-03	1,57E-04	1,19E-03	-5,03E-04	3,69E-04	-1,39E-08	2,52E-04	-1,18E-04	-1,18E-04	1,18E-04
180	4,47	1488,23	6,82E-04	8,40E-04	1,13E-03	7,32E-03	7,21E-05	5,59E-04	1,34E-10	2,28E-02	1,30E-03	1,57E-04	1,19E-03	-4,85E-04	3,58E-04	-6,41E-10	2,43E-04	-1,15E-04	-1,15E-04	1,15E-04

Teste: Razão de compressão 8, 0% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0012	0,0015	0,0010	0,0062	0,0007	0,0006	0,0000	0,0244	0,0002	0,0011	0,0004	0,0371	83,37	3471,97	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,1284	3,9564	2,6334	16,6947	1,9912	1,5189	0,0000	65,6023	0,6214	2,8659	0,9873	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,37	3471,97	9,03E-03	1,14E-02	7,61E-03	4,82E-02	5,75E-03	4,39E-03	0,0E+00	1,89E-01	1,79E-03	8,28E-03	2,85E-03	-1,73E+03	3,39E+02	3,67E+03	-9,71E+02	-1,31E+03	2,36E+03	-2,36E+03
9	77,25	3397,19	8,56E-03	1,08E-02	7,20E-03	4,57E-02	5,31E-03	4,28E-03	3,72E-06	1,79E-01	1,64E-03	7,79E-03	2,75E-03	-1,05E+00	5,77E-01	-2,96E-03	5,26E-01	-5,02E-02	-5,31E-02	5,31E-02
18	63,00	3204,88	7,40E-03	9,35E-03	6,23E-03	3,95E-02	3,98E-03	4,04E-03	1,86E-06	1,55E-01	1,39E-03	6,69E-03	2,42E-03	-1,46E+00	8,32E-01	-2,64E-03	7,33E-01	-9,98E-02	-1,02E-01	1,02E-01
27	47,69	2959,92	6,06E-03	7,67E-03	5,10E-03	3,24E-02	2,63E-03	3,68E-03	6,83E-07	1,28E-01	1,08E-03	5,44E-03	2,03E-03	-1,26E+00	7,48E-01	-1,24E-03	6,29E-01	-1,19E-01	-1,20E-01	1,20E-01
36	35,20	2713,87	4,88E-03	6,17E-03	4,11E-03	2,60E-02	1,65E-03	3,24E-03	2,14E-07	1,03E-01	8,24E-04	4,33E-03	1,69E-03	-8,20E-01	5,03E-01	-4,26E-04	4,10E-01	-9,33E-02	-9,37E-02	9,37E-02
45	26,13	2492,26	3,94E-03	4,99E-03	3,32E-03	2,10E-02	1,06E-03	2,79E-03	6,44E-08	8,34E-02	6,35E-04	3,46E-03	1,39E-03	-4,41E-01	2,68E-01	-1,28E-04	2,21E-01	-4,73E-02	-4,74E-02	4,74E-02
54	19,81	2302,69	3,24E-03	4,09E-03	2,72E-03	1,73E-02	7,28E-04	2,37E-03	2,03E-08	6,85E-02	5,08E-04	2,83E-03	1,16E-03	-2,09E-01	1,21E-01	-3,78E-05	1,05E-01	-1,66E-02	-1,66E-02	1,66E-02
63	15,44	2144,42	2,71E-03	3,43E-03	2,28E-03	1,45E-02	5,45E-04	2,02E-03	7,06E-09	5,74E-02	4,20E-04	2,36E-03	9,72E-04	-9,24E-02	5,12E-02	-1,19E-05	4,62E-02	-4,95E-03	-4,96E-03	4,96E-03
72	12,39	2013,72	2,31E-03	2,93E-03	1,95E-03	1,24E-02	4,37E-04	1,74E-03	2,74E-09	4,91E-02	3,58E-04	2,02E-03	8,32E-04	-4,00E-02	2,17E-02	-4,11E-06	2,00E-02	-1,75E-03	-1,76E-03	1,76E-03
81	10,23	1906,36	2,02E-03	2,55E-03	1,70E-03	1,08E-02	3,68E-04	1,53E-03	1,18E-09	4,28E-02	3,12E-04	1,76E-03	7,26E-04	-1,77E-02	9,70E-03	-1,58E-06	8,84E-03	-8,61E-04	-8,62E-04	8,62E-04
90	8,67	1818,42	1,79E-03	2,27E-03	1,51E-03	9,57E-03	3,21E-04	1,36E-03	5,61E-10	3,80E-02	2,77E-04	1,56E-03	6,46E-04	-8,24E-03	4,64E-03	-6,62E-07	4,12E-03	-5,18E-04	-5,18E-04	5,18E-04
99	7,53	1746,58	1,62E-03	2,05E-03	1,37E-03	8,65E-03	2,88E-04	1,23E-03	2,92E-10	3,44E-02	2,50E-04	1,41E-03	5,84E-04	-4,12E-03	2,40E-03	-3,02E-07	2,06E-03	-3,37E-04	-3,37E-04	3,37E-04
108	6,68	1688,11	1,49E-03	1,88E-03	1,25E-03	7,95E-03	2,63E-04	1,13E-03	1,66E-10	3,16E-02	2,29E-04	1,30E-03	5,37E-04	-2,23E-03	1,34E-03	-1,48E-07	1,12E-03	-2,28E-04	-2,28E-04	2,28E-04
117	6,05	1640,78	1,39E-03	1,75E-03	1,17E-03	7,40E-03	2,44E-04	1,05E-03	1,03E-10	2,94E-02	2,13E-04	1,21E-03	5,00E-04	-1,31E-03	8,17E-04	-7,79E-08	6,56E-04	-1,60E-04	-1,60E-04	1,60E-04
126	5,57	1602,81	1,31E-03	1,65E-03	1,10E-03	6,98E-03	2,30E-04	9,95E-04	6,86E-11	2,77E-02	2,01E-04	1,14E-03	4,71E-04	-8,37E-04	5,36E-04	-4,33E-08	4,19E-04	-1,18E-04	-1,18E-04	1,18E-04
135	5,22	1572,79	1,25E-03	1,58E-03	1,05E-03	6,66E-03	2,19E-04	9,50E-04	4,92E-11	2,65E-02	1,92E-04	1,09E-03	4,50E-04	-5,78E-04	3,79E-04	-2,52E-08	2,89E-04	-9,07E-05	-9,07E-05	9,07E-05
144	4,95	1549,60	1,20E-03	1,52E-03	1,01E-03	6,42E-03	2,10E-04	9,15E-04	3,78E-11	2,55E-02	1,85E-04	1,05E-03	4,33E-04	-4,29E-04	2,88E-04	-1,51E-08	2,15E-04	-7,32E-05	-7,32E-05	7,32E-05
153	4,76	1532,38	1,17E-03	1,48E-03	9,84E-04	6,24E-03	2,04E-04	8,90E-04	3,09E-11	2,48E-02	1,80E-04	1,02E-03	4,21E-04	-3,42E-04	2,33E-04	-9,11E-09	1,71E-04	-6,21E-05	-6,21E-05	6,21E-05
162	4,63	1520,51	1,15E-03	1,45E-03	9,65E-04	6,12E-03	2,00E-04	8,73E-04	2,68E-11	2,43E-02	1,76E-04	9,99E-04	4,13E-04	-2,92E-04	2,01E-04	-5,21E-09	1,46E-04	-5,52E-05	-5,52E-05	5,52E-05
171	4,56	1513,55	1,13E-03	1,43E-03	9,54E-04	6,05E-03	1,98E-04	8,63E-04	2,47E-11	2,40E-02	1,74E-04	9,88E-04	4,09E-04	-2,66E-04	1,84E-04	-2,39E-09	1,33E-04	-5,15E-05	-5,15E-05	5,15E-05
180	4,54	1511,26	1,13E-03	1,43E-03	9,51E-04	6,03E-03	1,97E-04	8,60E-04	2,40E-11	2,39E-02	1,74E-04	9,84E-04	4,07E-04	-2,57E-04	1,79E-04	-2,57E-11	1,29E-04	-5,03E-05	-5,03E-05	5,03E-05

Teste: Razão de compressão 8, 0% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0013	0,0017	0,0009	0,0058	0,0008	0,0006	0,0000	0,0250	0,0003	0,0011	0,0004	0,0379	83,86	3492,20	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,5147	4,5430	2,4412	15,1947	2,1059	1,6307	0,0000	66,0332	0,6710	2,8787	0,9869	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,86	3492,20	1,02E-02	1,31E-02	7,05E-03	4,39E-02	6,08E-03	4,71E-03	0,0E+00	1,91E-01	1,94E-03	8,31E-03	2,85E-03	-1,88E+03	4,03E+02	4,13E+03	-1,13E+03	-1,53E+03	2,60E+03	-2,60E+03
9	77,71	3416,98	9,61E-03	1,24E-02	6,68E-03	4,16E-02	5,62E-03	4,59E-03	4,08E-06	1,81E-01	1,78E-03	7,82E-03	2,75E-03	-1,11E+00	6,10E-01	-3,23E-03	5,56E-01	-5,36E-02	-5,69E-02	5,69E-02
18	63,37	3223,56	8,31E-03	1,07E-02	5,77E-03	3,59E-02	4,21E-03	4,33E-03	2,05E-06	1,57E-01	1,50E-03	6,72E-03	2,42E-03	-1,55E+00	8,81E-01	-2,89E-03	7,75E-01	-1,06E-01	-1,09E-01	1,09E-01
27	47,98	2977,16	6,81E-03	8,80E-03	4,73E-03	2,94E-02	2,78E-03	3,94E-03	7,57E-07	1,29E-01	1,17E-03	5,45E-03	2,04E-03	-1,33E+00	7,96E-01	-1,37E-03	6,68E-01	-1,28E-01	-1,30E-01	1,30E-01
36	35,41	2729,68	5,48E-03	7,09E-03	3,81E-03	2,37E-02	1,74E-03	3,47E-03	2,39E-07	1,04E-01	8,92E-04	4,34E-03	1,69E-03	-8,78E-01	5,43E-01	-4,72E-04	4,39E-01	-1,04E-01	-1,04E-01	1,04E-01
45	26,28	2506,78	4,43E-03	5,73E-03	3,08E-03	1,92E-02	1,11E-03	2,99E-03	7,21E-08	8,40E-02	6,85E-04	3,47E-03	1,40E-03	-4,78E-01	2,94E-01	-1,43E-04	2,39E-01	-5,55E-02	-5,56E-02	5,56E-02
54	19,92	2316,11	3,64E-03	4,70E-03	2,53E-03	1,57E-02	7,60E-04	2,54E-03	2,28E-08	6,90E-02	5,46E-04	2,83E-03	1,17E-03	-2,29E-01	1,36E-01	-4,23E-05	1,15E-01	-2,09E-02	-2,10E-02	2,10E-02
63	15,53	2156,91	3,04E-03	3,93E-03	2,11E-03	1,32E-02	5,65E-04	2,17E-03	7,92E-09	5,78E-02	4,51E-04	2,36E-03	9,84E-04	-1,02E-01	5,80E-02	-1,33E-05	5,12E-02	-6,79E-03	-6,81E-03	6,81E-03
72	12,46	2025,45	2,60E-03	3,36E-03	1,81E-03	1,12E-02	4,51E-04	1,87E-03	3,07E-09	4,94E-02	3,84E-04	2,02E-03	8,43E-04	-4,48E-02	2,49E-02	-4,61E-06	2,24E-02	-2,50E-03	-2,51E-03	2,51E-03
81	10,29	1917,47	2,27E-03	2,93E-03	1,58E-03	9,80E-03	3,79E-04	1,64E-03	1,33E-09	4,31E-02	3,34E-04	1,76E-03	7,36E-04	-2,00E-02	1,12E-02	-1,77E-06	1,00E-02	-1,20E-03	-1,20E-03	1,20E-03
90	8,72	1829,02	2,02E-03	2,60E-03	1,40E-03	8,71E-03	3,30E-04	1,46E-03	6,31E-10	3,83E-02	2,96E-04	1,56E-03	6,54E-04	-9,39E-03	5,38E-03	-7,42E-07	4,69E-03	-6,91E-04	-6,91E-04	6,91E-04
99	7,57	1756,76	1,82E-03	2,36E-03	1,27E-03	7,88E-03	2,95E-04	1,32E-03	3,30E-10	3,46E-02	2,68E-04	1,41E-03	5,92E-04	-4,72E-03	2,80E-03	-3,39E-07	2,36E-03	-4,35E-04	-4,36E-04	4,36E-04
108	6,72	1697,95	1,67E-03	2,16E-03	1,16E-03	7,23E-03	2,69E-04	1,22E-03	1,88E-10	3,18E-02	2,46E-04	1,30E-03	5,44E-04	-2,57E-03	1,57E-03	-1,67E-07	1,28E-03	-2,89E-04	-2,89E-04	2,89E-04
117	6,08	1650,34	1,56E-03	2,01E-03	1,08E-03	6,74E-03	2,50E-04	1,13E-03	1,17E-10	2,96E-02	2,29E-04	1,21E-03	5,06E-04	-1,52E-03	9,59E-04	-8,79E-08	7,58E-04	-2,01E-04	-2,01E-04	2,01E-04
126	5,61	1612,15	1,47E-03	1,90E-03	1,02E-03	6,35E-03	2,35E-04	1,07E-03	7,80E-11	2,79E-02	2,16E-04	1,14E-03	4,78E-04	-9,70E-04	6,32E-04	-4,90E-08	4,85E-04	-1,47E-04	-1,47E-04	1,47E-04
135	5,25	1581,96	1,40E-03	1,81E-03	9,74E-04	6,06E-03	2,24E-04	1,02E-03	5,60E-11	2,66E-02	2,06E-04	1,09E-03	4,56E-04	-6,71E-04	4,48E-04	-2,86E-08	3,36E-04	-1,12E-04	-1,12E-04	1,12E-04
144	4,98	1558,63	1,35E-03	1,75E-03	9,38E-04	5,84E-03	2,15E-04	9,84E-04	4,31E-11	2,57E-02	1,98E-04	1,05E-03	4,39E-04	-5,00E-04	3,40E-04	-1,72E-08	2,50E-04	-9,05E-05	-9,05E-05	9,05E-05
153	4,79	1541,31	1,31E-03	1,70E-03	9,12E-04	5,68E-03	2,09E-04	9,57E-04	3,53E-11	2,50E-02	1,93E-04	1,02E-03	4,27E-04	-3,99E-04	2,76E-04	-1,03E-08	1,99E-04	-7,66E-05	-7,66E-05	7,66E-05
162	4,66	1529,37	1,29E-03	1,67E-03	8,95E-04	5,57E-03	2,05E-04	9,38E-04	3,06E-11	2,45E-02	1,89E-04	9,98E-04	4,19E-04	-3,40E-04	2,38E-04	-5,91E-09	1,70E-04	-6,80E-05	-6,80E-05	6,80E-05
171	4,59	1522,37	1,27E-03	1,65E-03	8,85E-04	5,51E-03	2,03E-04	9,28E-04	2,82E-11	2,42E-02	1,87E-04	9,87E-04	4,14E-04	-3,10E-04	2,18E-04	-2,71E-09	1,55E-04	-6,34E-05	-6,34E-05	6,34E-05
180	4,56	1520,07	1,27E-03	1,64E-03	8,81E-04	5,49E-03	2,02E-04	9,24E-04	2,74E-11	2,41E-02	1,86E-04	9,83E-04	4,13E-04	-3,00E-04	2,12E-04	-3,32E-11	1,50E-04	-6,19E-05	-6,19E-05	6,19E-05

Teste: Razão de compressão 8, 0% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0014	0,0018	0,0009	0,0056	0,0008	0,0006	0,0000	0,0253	0,0003	0,0011	0,0004	0,0382	84,04	3499,94	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,6521	4,7665	2,3712	14,6366	2,1503	1,6745	0,0000	66,1901	0,6902	2,8825	0,9859	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	84,04	3499,94	1,05E-02	1,38E-02	6,85E-03	4,23E-02	6,21E-03	4,84E-03	0,0E+00	1,91E-01	1,99E-03	8,32E-03	2,85E-03	-1,94E+03	4,30E+02	4,31E+03	-1,19E+03	-1,62E+03	2,69E+03	-2,69E+03
9	77,87	3424,55	9,99E-03	1,30E-02	6,49E-03	4,00E-02	5,74E-03	4,71E-03	4,22E-06	1,81E-01	1,83E-03	7,83E-03	2,75E-03	-1,13E+00	6,23E-01	-3,33E-03	5,68E-01	-5,49E-02	-5,82E-02	5,82E-02
18	63,51	3230,70	8,63E-03	1,13E-02	5,61E-03	3,46E-02	4,30E-03	4,44E-03	2,12E-06	1,57E-01	1,54E-03	6,73E-03	2,42E-03	-1,58E+00	9,00E-01	-2,99E-03	7,91E-01	-1,09E-01	-1,12E-01	1,12E-01
27	48,08	2983,76	7,08E-03	9,24E-03	4,60E-03	2,84E-02	2,84E-03	4,04E-03	7,87E-07	1,29E-01	1,21E-03	5,46E-03	2,04E-03	-1,36E+00	8,15E-01	-1,42E-03	6,83E-01	-1,32E-01	-1,33E-01	1,33E-01
36	35,48	2735,73	5,70E-03	7,44E-03	3,70E-03	2,28E-02	1,78E-03	3,56E-03	2,48E-07	1,04E-01	9,18E-04	4,34E-03	1,70E-03	-9,00E-01	5,58E-01	-4,91E-04	4,50E-01	-1,07E-01	-1,08E-01	1,08E-01
45	26,34	2512,33	4,60E-03	6,01E-03	2,99E-03	1,85E-02	1,13E-03	3,06E-03	7,52E-08	8,42E-02	7,05E-04	3,47E-03	1,41E-03	-4,92E-01	3,05E-01	-1,49E-04	2,46E-01	-5,87E-02	-5,88E-02	5,88E-02
54	19,97	2321,24	3,78E-03	4,93E-03	2,45E-03	1,51E-02	7,73E-04	2,61E-03	2,38E-08	6,92E-02	5,61E-04	2,83E-03	1,17E-03	-2,37E-01	1,41E-01	-4,42E-05	1,19E-01	-2,27E-02	-2,27E-02	2,27E-02
63	15,56	2161,69	3,16E-03	4,13E-03	2,05E-03	1,27E-02	5,72E-04	2,23E-03	8,27E-09	5,80E-02	4,63E-04	2,36E-03	9,88E-04	-1,06E-01	6,08E-02	-1,39E-05	5,32E-02	-7,56E-03	-7,57E-03	7,57E-03
72	12,49	2029,94	2,70E-03	3,53E-03	1,75E-03	1,08E-02	4,56E-04	1,92E-03	3,21E-09	4,95E-02	3,94E-04	2,02E-03	8,46E-04	-4,67E-02	2,62E-02	-4,81E-06	2,34E-02	-2,82E-03	-2,82E-03	2,82E-03
81	10,31	1921,72	2,36E-03	3,08E-03	1,53E-03	9,44E-03	3,83E-04	1,69E-03	1,38E-09	4,32E-02	3,43E-04	1,76E-03	7,39E-04	-2,09E-02	1,18E-02	-1,84E-06	1,05E-02	-1,34E-03	-1,34E-03	1,34E-03
90	8,74	1833,07	2,09E-03	2,73E-03	1,36E-03	8,39E-03	3,33E-04	1,50E-03	6,60E-10	3,84E-02	3,04E-04	1,56E-03	6,57E-04	-9,85E-03	5,69E-03	-7,75E-07	4,93E-03	-7,64E-04	-7,65E-04	7,65E-04
99	7,59	1760,65	1,89E-03	2,47E-03	1,23E-03	7,59E-03	2,98E-04	1,36E-03	3,46E-10	3,47E-02	2,75E-04	1,41E-03	5,94E-04	-4,97E-03	2,96E-03	-3,54E-07	2,48E-03	-4,77E-04	-4,77E-04	4,77E-04
108	6,74	1701,71	1,74E-03	2,27E-03	1,13E-03	6,97E-03	2,72E-04	1,25E-03	1,97E-10	3,19E-02	2,52E-04	1,30E-03	5,46E-04	-2,71E-03	1,67E-03	-1,75E-07	1,35E-03	-3,15E-04	-3,15E-04	3,15E-04
117	6,10	1654,00	1,62E-03	2,11E-03	1,05E-03	6,49E-03	2,52E-04	1,16E-03	1,22E-10	2,97E-02	2,35E-04	1,21E-03	5,09E-04	-1,60E-03	1,02E-03	-9,19E-08	8,00E-04	-2,18E-04	-2,18E-04	2,18E-04
126	5,62	1615,73	1,53E-03	1,99E-03	9,92E-04	6,12E-03	2,37E-04	1,10E-03	8,18E-11	2,80E-02	2,21E-04	1,14E-03	4,80E-04	-1,03E-03	6,72E-04	-5,13E-08	5,13E-04	-1,59E-04	-1,59E-04	1,59E-04
135	5,26	1585,46	1,46E-03	1,90E-03	9,46E-04	5,84E-03	2,26E-04	1,05E-03	5,88E-11	2,67E-02	2,11E-04	1,09E-03	4,58E-04	-7,10E-04	4,76E-04	-2,99E-08	3,55E-04	-1,22E-04	-1,22E-04	1,22E-04
144	4,99	1562,08	1,40E-03	1,83E-03	9,11E-04	5,63E-03	2,17E-04	1,01E-03	4,52E-11	2,57E-02	2,03E-04	1,05E-03	4,41E-04	-5,29E-04	3,62E-04	-1,80E-08	2,64E-04	-9,78E-05	-9,78E-05	9,78E-05
153	4,80	1544,72	1,36E-03	1,78E-03	8,86E-04	5,47E-03	2,11E-04	9,83E-04	3,70E-11	2,50E-02	1,97E-04	1,02E-03	4,29E-04	-4,22E-04	2,94E-04	-1,08E-08	2,11E-04	-8,27E-05	-8,27E-05	8,27E-05
162	4,67	1532,76	1,34E-03	1,75E-03	8,69E-04	5,36E-03	2,07E-04	9,64E-04	3,22E-11	2,46E-02	1,94E-04	9,97E-04	4,21E-04	-3,61E-04	2,54E-04	-6,20E-09	1,80E-04	-7,34E-05	-7,34E-05	7,34E-05
171	4,60	1525,75	1,32E-03	1,73E-03	8,59E-04	5,30E-03	2,04E-04	9,53E-04	2,96E-11	2,43E-02	1,91E-04	9,86E-04	4,16E-04	-3,28E-04	2,33E-04	-2,85E-09	1,64E-04	-6,84E-05	-6,84E-05	6,84E-05
180	4,57	1523,44	1,32E-03	1,72E-03	8,56E-04	5,28E-03	2,03E-04	9,49E-04	2,88E-11	2,42E-02	1,91E-04	9,82E-04	4,14E-04	-3,18E-04	2,26E-04	-3,65E-11	1,59E-04	-6,68E-05	-6,68E-05	6,68E-05

Teste: Razão de compressão 8, 0% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0015	0,0019	0,0009	0,0055	0,0008	0,0007	0,0000	0,0255	0,0003	0,0011	0,0004	0,0385	84,20	3506,55	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,7741	4,9489	2,3053	14,1776	2,1865	1,7068	0,0000	66,3257	0,7105	2,8759	0,9887	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	84,20	3506,55	1,09E-02	1,43E-02	6,66E-03	4,09E-02	6,31E-03	4,93E-03	0,00E+00	1,92E-01	2,05E-03	8,31E-03	2,86E-03	-1,99E+03	4,56E+02	4,49E+03	-1,25E+03	-1,71E+03	2,78E+03	-2,78E+03
9	78,02	3431,02	1,03E-02	1,35E-02	6,30E-03	3,88E-02	5,83E-03	4,80E-03	4,38E-06	1,81E-01	1,89E-03	7,81E-03	2,76E-03	-1,15E+00	6,33E-01	-3,44E-03	5,77E-01	-5,60E-02	-5,94E-02	5,94E-02
18	63,63	3236,80	8,92E-03	1,17E-02	5,45E-03	3,35E-02	4,37E-03	4,52E-03	2,20E-06	1,57E-01	1,59E-03	6,71E-03	2,42E-03	-1,61E+00	9,15E-01	-3,10E-03	8,04E-01	-1,11E-01	-1,14E-01	1,14E-01
27	48,17	2989,40	7,31E-03	9,59E-03	4,47E-03	2,75E-02	2,89E-03	4,11E-03	8,18E-07	1,29E-01	1,25E-03	5,44E-03	2,05E-03	-1,39E+00	8,30E-01	-1,47E-03	6,95E-01	-1,35E-01	-1,36E-01	1,36E-01
36	35,55	2740,90	5,89E-03	7,72E-03	3,60E-03	2,21E-02	1,81E-03	3,63E-03	2,59E-07	1,04E-01	9,46E-04	4,32E-03	1,70E-03	-9,18E-01	5,71E-01	-5,10E-04	4,59E-01	-1,11E-01	-1,12E-01	1,12E-01
45	26,39	2517,08	4,76E-03	6,24E-03	2,91E-03	1,79E-02	1,15E-03	3,12E-03	7,84E-08	8,44E-02	7,26E-04	3,46E-03	1,42E-03	-5,04E-01	3,14E-01	-1,55E-04	2,52E-01	-6,18E-02	-6,19E-02	6,19E-02
54	20,00	2325,63	3,90E-03	5,12E-03	2,38E-03	1,47E-02	7,82E-04	2,66E-03	2,48E-08	6,94E-02	5,77E-04	2,82E-03	1,18E-03	-2,44E-01	1,46E-01	-4,61E-05	1,22E-01	-2,44E-02	-2,45E-02	2,45E-02
63	15,59	2165,77	3,27E-03	4,28E-03	2,00E-03	1,23E-02	5,78E-04	2,27E-03	8,63E-09	5,81E-02	4,76E-04	2,35E-03	9,95E-04	-1,10E-01	6,33E-02	-1,45E-05	5,50E-02	-8,31E-03	-8,32E-03	8,32E-03
72	12,51	2033,78	2,79E-03	3,66E-03	1,71E-03	1,05E-02	4,59E-04	1,96E-03	3,35E-09	4,97E-02	4,05E-04	2,01E-03	8,53E-04	-4,85E-02	2,74E-02	-5,02E-06	2,43E-02	-3,13E-03	-3,13E-03	3,13E-03
81	10,33	1925,35	2,43E-03	3,19E-03	1,49E-03	9,15E-03	3,85E-04	1,72E-03	1,45E-09	4,33E-02	3,52E-04	1,75E-03	7,44E-04	-2,18E-02	1,24E-02	-1,92E-06	1,09E-02	-1,48E-03	-1,48E-03	1,48E-03
90	8,75	1836,53	2,16E-03	2,84E-03	1,32E-03	8,13E-03	3,35E-04	1,53E-03	6,90E-10	3,85E-02	3,12E-04	1,55E-03	6,62E-04	-1,03E-02	5,98E-03	-8,09E-07	5,14E-03	-8,34E-04	-8,35E-04	8,35E-04
99	7,60	1763,98	1,96E-03	2,57E-03	1,19E-03	7,35E-03	3,00E-04	1,39E-03	3,61E-10	3,48E-02	2,82E-04	1,40E-03	5,99E-04	-5,20E-03	3,12E-03	-3,70E-07	2,60E-03	-5,17E-04	-5,17E-04	5,17E-04
108	6,75	1704,92	1,80E-03	2,36E-03	1,10E-03	6,75E-03	2,73E-04	1,28E-03	2,06E-10	3,20E-02	2,59E-04	1,29E-03	5,50E-04	-2,84E-03	1,76E-03	-1,82E-07	1,42E-03	-3,39E-04	-3,40E-04	3,40E-04
117	6,11	1657,12	1,67E-03	2,19E-03	1,02E-03	6,29E-03	2,53E-04	1,19E-03	1,28E-10	2,98E-02	2,41E-04	1,20E-03	5,13E-04	-1,68E-03	1,07E-03	-9,61E-08	8,40E-04	-2,35E-04	-2,35E-04	2,35E-04
126	5,63	1618,78	1,58E-03	2,07E-03	9,64E-04	5,93E-03	2,38E-04	1,12E-03	8,57E-11	2,81E-02	2,27E-04	1,13E-03	4,84E-04	-1,08E-03	7,09E-04	-5,36E-08	5,38E-04	-1,70E-04	-1,70E-04	1,70E-04
135	5,27	1588,46	1,51E-03	1,97E-03	9,20E-04	5,66E-03	2,27E-04	1,07E-03	6,16E-11	2,68E-02	2,17E-04	1,08E-03	4,61E-04	-7,46E-04	5,03E-04	-3,13E-08	3,73E-04	-1,30E-04	-1,30E-04	1,30E-04
144	5,00	1565,03	1,45E-03	1,90E-03	8,86E-04	5,45E-03	2,18E-04	1,03E-03	4,74E-11	2,58E-02	2,09E-04	1,04E-03	4,45E-04	-5,56E-04	3,83E-04	-1,88E-08	2,78E-04	-1,05E-04	-1,05E-04	1,05E-04
153	4,81	1547,64	1,41E-03	1,85E-03	8,62E-04	5,30E-03	2,12E-04	1,00E-03	3,88E-11	2,51E-02	2,03E-04	1,01E-03	4,32E-04	-4,44E-04	3,11E-04	-1,13E-08	2,22E-04	-8,85E-05	-8,85E-05	8,85E-05
162	4,68	1535,65	1,38E-03	1,81E-03	8,45E-04	5,20E-03	2,08E-04	9,84E-04	3,38E-11	2,46E-02	1,99E-04	9,93E-04	4,24E-04	-3,80E-04	2,68E-04	-6,49E-09	1,90E-04	-7,85E-05	-7,85E-05	7,85E-05
171	4,61	1528,63	1,37E-03	1,79E-03	8,35E-04	5,14E-03	2,05E-04	9,73E-04	3,11E-11	2,43E-02	1,97E-04	9,81E-04	4,19E-04	-3,45E-04	2,46E-04	-2,98E-09	1,73E-04	-7,32E-05	-7,32E-05	7,32E-05
180	4,58	1526,31	1,36E-03	1,79E-03	8,32E-04	5,12E-03	2,04E-04	9,69E-04	3,02E-11	2,42E-02	1,96E-04	9,77E-04	4,18E-04	-3,35E-04	2,39E-04	-4,00E-11	1,67E-04	-7,15E-05	-7,15E-05	7,15E-05

Teste: Razão de compressão 8, 0% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	rpm	Tempo	Maniv/Biel	Δt
kmol	0,0003	0,0001	0,0004	0,0083	0,0005	0,0008	0,0062	0,0188	0,0001	0,0006	0,0001	0,0361	73,47	3059,75	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,8979	0,2845	0,9830	22,8527	1,3914	2,1501	17,0918	52,1153	0,2401	1,7718	0,2213	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m³											kmol/(m³.s)						
0	73,47	3059,75	2,59E-03	8,22E-04	2,84E-03	6,60E-02	4,02E-03	6,21E-03	4,94E-02	1,51E-01	6,93E-04	5,12E-03	6,39E-04	1,26E+07	-3,66E+06	-2,6E+07	6,56E+06	1,02E+07	-1,55E+07	1,55E+07
9	68,08	2993,85	2,46E-03	7,78E-04	2,69E-03	6,25E-02	2,28E-06	2,15E-09	2,15E-02	1,57E-01	2,11E-02	4,41E-10	5,45E-03	-2,53E-03	-3,30E-06	-2,54E-03	2,54E-03	2,54E-03	-7,92E-07	7,92E-07
18	55,52	2824,38	2,12E-03	6,73E-04	2,32E-03	5,40E-02	9,23E-07	6,30E-10	1,86E-02	1,36E-01	1,82E-02	1,10E-10	4,71E-03	-1,83E-03	-1,73E-06	-1,83E-03	1,83E-03	1,83E-03	-3,53E-07	3,53E-07
27	42,03	2608,49	1,74E-03	5,51E-04	1,91E-03	4,43E-02	2,49E-07	1,06E-10	1,52E-02	1,11E-01	1,49E-02	1,46E-11	3,86E-03	-6,31E-04	-3,74E-07	-6,32E-04	6,31E-04	6,32E-04	-6,03E-08	6,03E-08
36	31,02	2391,66	1,40E-03	4,44E-04	1,53E-03	3,56E-02	5,36E-08	1,30E-11	1,23E-02	8,96E-02	1,20E-02	1,36E-12	3,11E-03	-1,51E-04	-5,12E-08	-1,51E-04	1,51E-04	1,51E-04	-6,24E-09	6,24E-09
45	23,02	2196,36	1,13E-03	3,59E-04	1,24E-03	2,88E-02	1,06E-08	1,41E-12	9,91E-03	7,24E-02	9,71E-03	1,10E-13	2,51E-03	-3,06E-05	-5,73E-09	-3,06E-05	3,06E-05	3,06E-05	-5,17E-10	5,17E-10
54	17,45	2029,30	9,29E-04	2,94E-04	1,02E-03	2,36E-02	2,09E-09	1,52E-13	8,13E-03	5,94E-02	7,97E-03	8,79E-15	2,06E-03	-5,96E-06	-6,11E-10	-5,96E-06	5,96E-06	5,96E-06	-4,08E-11	4,08E-11
63	13,60	1889,81	7,77E-04	2,46E-04	8,51E-04	1,98E-02	4,40E-10	1,78E-14	6,80E-03	4,97E-02	6,67E-03	7,70E-16	1,73E-03	-1,20E-06	-6,83E-11	-1,20E-06	1,20E-06	1,20E-06	-3,41E-12	3,41E-12
72	10,92	1774,64	6,64E-04	2,11E-04	7,27E-04	1,69E-02	1,02E-10	2,37E-15	5,81E-03	4,25E-02	5,70E-03	7,81E-17	1,47E-03	-2,59E-07	-8,50E-12	-2,59E-07	2,59E-07	2,59E-07	-3,23E-13	3,23E-13
81	9,01	1680,02	5,79E-04	1,84E-04	6,34E-04	1,47E-02	2,67E-11	3,72E-16	5,07E-03	3,70E-02	4,97E-03	9,50E-18	1,29E-03	-6,19E-08	-1,22E-12	-6,19E-08	6,19E-08	6,19E-08	-3,59E-14	3,59E-14
90	7,64	1602,52	5,15E-04	1,63E-04	5,64E-04	1,31E-02	7,96E-12	6,97E-17	4,50E-03	3,29E-02	4,42E-03	1,41E-18	1,14E-03	-1,66E-08	-2,05E-13	-1,66E-08	1,66E-08	1,66E-08	-4,81E-15	4,81E-15
99	6,63	1539,21	4,65E-04	1,47E-04	5,10E-04	1,18E-02	2,72E-12	1,57E-17	4,07E-03	2,98E-02	3,99E-03	2,60E-19	1,03E-03	-5,00E-09	-4,10E-14	-5,00E-09	5,00E-09	5,00E-09	-7,81E-16	7,81E-16
108	5,89	1487,68	4,27E-04	1,35E-04	4,68E-04	1,09E-02	1,06E-12	4,28E-18	3,74E-03	2,73E-02	3,67E-03	5,91E-20	9,49E-04	-1,70E-09	-9,68E-15	-1,70E-09	1,70E-09	1,70E-09	-1,54E-16	1,54E-16
117	5,33	1445,97	3,98E-04	1,26E-04	4,36E-04	1,01E-02	4,74E-13	1,40E-18	3,48E-03	2,55E-02	3,42E-03	1,65E-20	8,84E-04	-6,46E-10	-2,70E-15	-6,46E-10	6,46E-10	6,46E-10	-3,68E-17	3,68E-17
126	4,91	1412,52	3,75E-04	1,19E-04	4,11E-04	9,56E-03	2,40E-13	5,43E-19	3,29E-03	2,40E-02	3,22E-03	5,64E-21	8,33E-04	-2,73E-10	-8,76E-16	-2,73E-10	2,73E-10	2,73E-10	-1,05E-17	1,05E-17
135	4,60	1386,06	3,58E-04	1,13E-04	3,92E-04	9,12E-03	1,37E-13	2,49E-19	3,13E-03	2,29E-02	3,07E-03	2,33E-21	7,95E-04	-1,27E-10	-3,27E-16	-1,27E-10	1,27E-10	1,27E-10	-3,51E-18	3,51E-18
144	4,36	1365,62	3,45E-04	1,09E-04	3,78E-04	8,78E-03	8,78E-14	1,34E-19	3,02E-03	2,21E-02	2,96E-03	1,15E-21	7,66E-04	-6,35E-11	-1,37E-16	-6,35E-11	6,35E-11	6,35E-11	-1,35E-18	1,35E-18
153	4,20	1350,44	3,36E-04	1,06E-04	3,67E-04	8,54E-03	6,25E-14	8,34E-20	2,94E-03	2,15E-02	2,88E-03	6,69E-22	7,45E-04	-3,33E-11	-6,31E-17	-3,33E-11	3,33E-11	3,33E-11	-5,82E-19	5,82E-19
162	4,08	1339,98	3,29E-04	1,04E-04	3,60E-04	8,38E-03	4,92E-14	5,98E-20	2,88E-03	2,10E-02	2,82E-03	4,59E-22	7,31E-04	-1,72E-11	-2,97E-17	-1,72E-11	1,72E-11	1,72E-11	-2,62E-19	2,62E-19
171	4,02	1333,85	3,25E-04	1,03E-04	3,56E-04	8,28E-03	4,27E-14	4,91E-20	2,85E-03	2,08E-02	2,79E-03	3,66E-22	7,22E-04	-7,41E-12	-1,21E-17	-7,41E-12	7,41E-12	7,41E-12	-1,04E-19	1,04E-19
180	4,00	1331,83	3,24E-04	1,03E-04	3,55E-04	8,25E-03	4,08E-14	4,60E-20	2,84E-03	2,07E-02	2,78E-03	3,40E-22	7,19E-04	-1,81E-16	-1,14E-20	-1,81E-16	1,81E-16	1,81E-16	-2,85E-24	2,85E-24

Teste: Razão de compressão 8, 20% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0010	0,0003	0,0003	0,0072	0,0006	0,0009	0,0031	0,0218	0,0001	0,0006	0,0001	0,0361	73,98	3080,62	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,7563	0,8822	0,8628	19,9669	1,6343	2,4393	8,6692	60,5159	0,2704	1,7845	0,2181	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	73,98	3080,62	7,96E-03	2,55E-03	2,49E-03	5,77E-02	4,72E-03	7,05E-03	2,50E-02	1,75E-01	7,81E-04	5,15E-03	6,30E-04	6,15E+06	-2,14E+06	-1,40E+07	3,91E+06	6,05E+06	-7,92E+06	7,92E+06
9	68,55	3014,27	7,54E-03	2,41E-03	2,36E-03	5,46E-02	1,64E-03	9,29E-04	3,48E-05	1,79E-01	1,97E-02	2,00E-04	5,28E-03	-3,50E-01	1,68E-01	-2,96E-02	1,90E-01	2,15E-02	-8,06E-03	8,06E-03
18	55,90	2843,64	6,52E-03	2,09E-03	2,04E-03	4,72E-02	1,21E-03	9,05E-04	1,65E-05	1,55E-01	1,71E-02	1,67E-04	4,57E-03	-4,92E-01	2,53E-01	-2,49E-02	2,59E-01	5,94E-03	-1,90E-02	1,90E-02
27	42,32	2626,28	5,34E-03	1,71E-03	1,67E-03	3,87E-02	7,80E-04	8,56E-04	5,73E-06	1,27E-01	1,40E-02	1,26E-04	3,76E-03	-4,34E-01	2,38E-01	-1,09E-02	2,22E-01	-1,59E-02	-2,68E-02	2,68E-02
36	31,24	2407,97	4,30E-03	1,38E-03	1,35E-03	3,12E-02	4,64E-04	7,82E-04	1,69E-06	1,02E-01	1,13E-02	8,94E-05	3,04E-03	-2,99E-01	1,73E-01	-3,53E-03	1,51E-01	-2,21E-02	-2,56E-02	2,56E-02
45	23,18	2211,34	3,48E-03	1,11E-03	1,09E-03	2,52E-02	2,70E-04	6,93E-04	4,75E-07	8,27E-02	9,08E-03	6,25E-05	2,46E-03	-1,75E-01	1,04E-01	-1,02E-03	8,78E-02	-1,65E-02	-1,75E-02	1,75E-02
54	17,58	2043,14	2,85E-03	9,13E-04	8,93E-04	2,07E-02	1,64E-04	6,03E-04	1,35E-07	6,79E-02	7,45E-03	4,55E-05	2,03E-03	-9,04E-02	5,37E-02	-2,83E-04	4,53E-02	-8,31E-03	-8,59E-03	8,59E-03
63	13,70	1902,70	2,39E-03	7,64E-04	7,47E-04	1,73E-02	1,08E-04	5,22E-04	4,04E-08	5,68E-02	6,23E-03	3,56E-05	1,70E-03	-4,28E-02	2,45E-02	-8,02E-05	2,14E-02	-3,03E-03	-3,11E-03	3,11E-03
72	10,99	1786,74	2,04E-03	6,53E-04	6,38E-04	1,48E-02	7,88E-05	4,54E-04	1,34E-08	4,86E-02	5,32E-03	2,96E-05	1,45E-03	-1,93E-02	1,06E-02	-2,40E-05	9,64E-03	-9,23E-04	-9,47E-04	9,47E-04
81	9,07	1691,48	1,78E-03	5,69E-04	5,57E-04	1,29E-02	6,26E-05	3,99E-04	5,02E-09	4,23E-02	4,64E-03	2,55E-05	1,27E-03	-8,61E-03	4,60E-03	-7,91E-06	4,31E-03	-2,91E-04	-2,99E-04	2,99E-04
90	7,69	1613,45	1,58E-03	5,06E-04	4,95E-04	1,14E-02	5,28E-05	3,56E-04	2,14E-09	3,76E-02	4,13E-03	2,26E-05	1,13E-03	-3,98E-03	2,11E-03	-2,91E-06	1,99E-03	-1,17E-04	-1,20E-04	1,20E-04
99	6,68	1549,71	1,43E-03	4,57E-04	4,47E-04	1,04E-02	4,64E-05	3,23E-04	1,03E-09	3,40E-02	3,73E-03	2,04E-05	1,02E-03	-1,96E-03	1,04E-03	-1,20E-06	9,79E-04	-6,14E-05	-6,26E-05	6,26E-05
108	5,93	1497,83	1,31E-03	4,20E-04	4,11E-04	9,51E-03	4,20E-05	2,97E-04	5,53E-10	3,12E-02	3,43E-03	1,87E-05	9,35E-04	-1,04E-03	5,57E-04	-5,47E-07	5,19E-04	-3,81E-05	-3,87E-05	3,87E-05
117	5,37	1455,84	1,22E-03	3,91E-04	3,83E-04	8,85E-03	3,87E-05	2,76E-04	3,27E-10	2,91E-02	3,19E-03	1,74E-05	8,71E-04	-5,98E-04	3,25E-04	-2,71E-07	2,99E-04	-2,60E-05	-2,63E-05	2,63E-05
126	4,95	1422,15	1,15E-03	3,69E-04	3,61E-04	8,35E-03	3,63E-05	2,61E-04	2,11E-10	2,74E-02	3,01E-03	1,64E-05	8,21E-04	-3,74E-04	2,06E-04	-1,45E-07	1,87E-04	-1,89E-05	-1,90E-05	1,90E-05
135	4,63	1395,51	1,10E-03	3,52E-04	3,44E-04	7,97E-03	3,44E-05	2,49E-04	1,48E-10	2,62E-02	2,87E-03	1,56E-05	7,83E-04	-2,54E-04	1,42E-04	-8,18E-08	1,27E-04	-1,44E-05	-1,45E-05	1,45E-05
144	4,39	1374,93	1,06E-03	3,39E-04	3,32E-04	7,67E-03	3,31E-05	2,40E-04	1,11E-10	2,52E-02	2,77E-03	1,51E-05	7,55E-04	-1,86E-04	1,05E-04	-4,80E-08	9,32E-05	-1,16E-05	-1,16E-05	1,16E-05
153	4,23	1359,65	1,03E-03	3,30E-04	3,22E-04	7,46E-03	3,21E-05	2,33E-04	8,98E-11	2,45E-02	2,69E-03	1,46E-05	7,34E-04	-1,47E-04	8,33E-05	-2,84E-08	7,35E-05	-9,78E-06	-9,81E-06	9,81E-06
162	4,11	1349,12	1,01E-03	3,23E-04	3,16E-04	7,32E-03	3,14E-05	2,29E-04	7,73E-11	2,41E-02	2,64E-03	1,43E-05	7,20E-04	-1,24E-04	7,09E-05	-1,61E-08	6,22E-05	-8,68E-06	-8,70E-06	8,70E-06
171	4,05	1342,95	9,99E-04	3,20E-04	3,13E-04	7,24E-03	3,10E-05	2,26E-04	7,07E-11	2,38E-02	2,61E-03	1,42E-05	7,12E-04	-1,13E-04	6,44E-05	-7,34E-09	5,63E-05	-8,09E-06	-8,10E-06	8,10E-06
180	4,03	1340,92	9,95E-04	3,18E-04	3,11E-04	7,21E-03	3,08E-05	2,25E-04	6,86E-11	2,37E-02	2,60E-03	1,41E-05	7,09E-04	-1,09E-04	6,23E-05	-1,09E-10	5,44E-05	-7,93E-06	-7,93E-06	7,93E-06

Teste: Razão de compressão 8, 20% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0017	0,0005	0,0003	0,0061	0,0007	0,0010	0,0000	0,0250	0,0000	0,0006	0,0001	0,0361	74,50	3102,59	1,40	8	3000	0,01	0,3	1E-10
x (%)	4,7046	1,5193	0,7344	16,9368	1,9267	2,8259	-0,0028	69,2436	0,1106	1,7891	0,2119	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	74,50	3102,59	1,36E-02	4,39E-03	2,12E-03	4,89E-02	5,56E-03	8,16E-03	0,0E+00	2,00E-01	3,19E-04	5,17E-03	6,12E-04	-1,88E+02	2,55E+01	2,86E+02	-4,89E+01	-7,45E+01	2,11E+02	-2,11E+02
9	69,03	3035,76	1,29E-02	4,16E-03	2,01E-03	4,63E-02	5,05E-03	7,65E-03	3,30E-07	1,89E-01	4,92E-04	5,08E-03	3,90E-04	-1,12E+00	5,77E-01	-2,84E-04	5,58E-01	-1,87E-02	-1,89E-02	1,89E-02
18	56,30	2863,92	1,11E-02	3,59E-03	1,74E-03	4,00E-02	3,74E-03	6,94E-03	1,57E-07	1,64E-01	4,13E-04	4,38E-03	3,49E-04	-1,41E+00	7,31E-01	-2,40E-04	7,03E-01	-2,76E-02	-2,78E-02	2,78E-02
27	42,62	2645,01	9,12E-03	2,94E-03	1,42E-03	3,28E-02	2,52E-03	5,97E-03	5,50E-08	1,35E-01	3,28E-04	3,58E-03	2,97E-04	-9,68E-01	5,02E-01	-1,04E-04	4,84E-01	-1,80E-02	-1,81E-02	1,81E-02
36	31,46	2425,15	7,34E-03	2,37E-03	1,15E-03	2,64E-02	1,71E-03	4,97E-03	1,67E-08	1,09E-01	2,59E-04	2,88E-03	2,44E-04	-4,66E-01	2,38E-01	-3,36E-05	2,33E-01	-5,07E-03	-5,10E-03	5,10E-03
45	23,35	2227,11	5,93E-03	1,92E-03	9,26E-04	2,14E-02	1,25E-03	4,08E-03	5,07E-09	8,79E-02	2,09E-04	2,32E-03	1,98E-04	-1,80E-01	9,07E-02	-9,88E-06	9,01E-02	-5,92E-04	-6,02E-04	6,02E-04
54	17,70	2057,71	4,87E-03	1,57E-03	7,60E-04	1,75E-02	9,75E-04	3,38E-03	1,63E-09	7,21E-02	1,71E-04	1,91E-03	1,63E-04	-6,27E-02	3,17E-02	-2,98E-06	3,13E-02	-3,80E-04	-3,82E-04	3,82E-04
63	13,80	1916,27	4,07E-03	1,32E-03	6,36E-04	1,47E-02	7,99E-04	2,83E-03	5,66E-10	6,04E-02	1,43E-04	1,60E-03	1,36E-04	-2,13E-02	1,11E-02	-9,63E-07	1,06E-02	-4,53E-04	-4,54E-04	4,54E-04
72	11,07	1799,48	3,48E-03	1,12E-03	5,43E-04	1,25E-02	6,77E-04	2,42E-03	2,15E-10	5,16E-02	1,22E-04	1,36E-03	1,17E-04	-7,48E-03	4,08E-03	-3,36E-07	3,74E-03	-3,39E-04	-3,39E-04	3,39E-04
81	9,14	1703,54	3,04E-03	9,80E-04	4,74E-04	1,09E-02	5,88E-04	2,12E-03	8,92E-11	4,50E-02	1,06E-04	1,19E-03	1,02E-04	-2,82E-03	1,62E-03	-1,26E-07	1,41E-03	-2,08E-04	-2,08E-04	2,08E-04
90	7,75	1624,96	2,70E-03	8,71E-04	4,21E-04	9,71E-03	5,22E-04	1,88E-03	4,06E-11	4,00E-02	9,43E-05	1,06E-03	9,06E-05	-1,16E-03	7,03E-04	-5,15E-08	5,82E-04	-1,20E-04	-1,20E-04	1,20E-04
99	6,73	1560,76	2,44E-03	7,88E-04	3,81E-04	8,78E-03	4,71E-04	1,70E-03	2,03E-11	3,62E-02	8,52E-05	9,55E-04	8,19E-05	-5,30E-04	3,35E-04	-2,27E-08	2,65E-04	-6,99E-05	-7,00E-05	7,00E-05
108	5,97	1508,51	2,24E-03	7,23E-04	3,50E-04	8,06E-03	4,33E-04	1,56E-03	1,11E-11	3,32E-02	7,82E-05	8,77E-04	7,53E-05	-2,67E-04	1,76E-04	-1,07E-08	1,33E-04	-4,23E-05	-4,23E-05	4,23E-05
117	5,41	1466,22	2,09E-03	6,74E-04	3,26E-04	7,51E-03	4,03E-04	1,45E-03	6,61E-12	3,09E-02	7,29E-05	8,17E-04	7,01E-05	-1,48E-04	1,01E-04	-5,45E-09	7,40E-05	-2,70E-05	-2,70E-05	2,70E-05
126	4,98	1432,29	1,97E-03	6,35E-04	3,07E-04	7,08E-03	3,80E-04	1,37E-03	4,28E-12	2,92E-02	6,87E-05	7,71E-04	6,61E-05	-9,01E-05	6,33E-05	-2,94E-09	4,50E-05	-1,83E-05	-1,83E-05	1,83E-05
135	4,66	1405,46	1,88E-03	6,06E-04	2,93E-04	6,76E-03	3,62E-04	1,31E-03	2,99E-12	2,78E-02	6,55E-05	7,35E-04	6,31E-05	-5,99E-05	4,32E-05	-1,67E-09	3,00E-05	-1,32E-05	-1,32E-05	1,32E-05
144	4,42	1384,74	1,81E-03	5,84E-04	2,82E-04	6,51E-03	3,49E-04	1,26E-03	2,25E-12	2,68E-02	6,31E-05	7,08E-04	6,08E-05	-4,33E-05	3,18E-05	-9,82E-10	2,17E-05	-1,02E-05	-1,02E-05	1,02E-05
153	4,26	1369,35	1,76E-03	5,68E-04	2,74E-04	6,33E-03	3,39E-04	1,23E-03	1,81E-12	2,61E-02	6,14E-05	6,89E-04	5,91E-05	-3,39E-05	2,52E-05	-5,81E-10	1,69E-05	-8,32E-06	-8,32E-06	8,32E-06
162	4,14	1358,74	1,72E-03	5,57E-04	2,69E-04	6,21E-03	3,33E-04	1,20E-03	1,56E-12	2,56E-02	6,02E-05	6,75E-04	5,80E-05	-2,85E-05	2,15E-05	-3,28E-10	1,42E-05	-7,22E-06	-7,22E-06	7,22E-06
171	4,08	1352,53	1,70E-03	5,51E-04	2,66E-04	6,14E-03	3,29E-04	1,19E-03	1,42E-12	2,53E-02	5,95E-05	6,68E-04	5,73E-05	-2,57E-05	1,95E-05	-1,49E-10	1,29E-05	-6,63E-06	-6,63E-06	6,63E-06
180	4,05	1350,48	1,70E-03	5,48E-04	2,65E-04	6,11E-03	3,28E-04	1,18E-03	1,38E-12	2,52E-02	5,93E-05	6,65E-04	5,71E-05	-2,48E-05	1,89E-05	-2,59E-14	1,24E-05	-6,45E-06	-6,45E-06	6,45E-06

Teste: Razão de compressão 8, 20% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0006	0,0003	0,0057	0,0007	0,0010	0,0000	0,0256	0,0001	0,0006	0,0001	0,0367	74,70	3110,87	1,40	8	3000	0,01	0,3	1E-10
x (%)	5,3177	1,7539	0,6857	15,5142	1,9544	2,8332	0,0000	69,6741	0,3187	1,7374	0,2106	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	74,70	3110,87	1,54E-02	5,07E-03	1,98E-03	4,48E-02	5,64E-03	8,18E-03	0,0E+00	2,01E-01	9,20E-04	5,02E-03	6,08E-04	-1,47E+02	7,62E+01	4,40E+02	-1,47E+02	-2,23E+02	2,17E+02	-2,17E+02
9	69,22	3043,86	1,45E-02	4,80E-03	1,88E-03	4,24E-02	5,15E-03	7,87E-03	5,73E-07	1,91E-01	8,43E-04	4,72E-03	6,04E-04	-1,21E+00	6,38E-01	-4,92E-04	6,04E-01	-3,43E-02	-3,47E-02	3,47E-02
18	56,45	2871,56	1,26E-02	4,15E-03	1,62E-03	3,67E-02	3,78E-03	7,17E-03	2,74E-07	1,65E-01	7,07E-04	4,06E-03	5,44E-04	-1,54E+00	8,26E-01	-4,17E-04	7,73E-01	-5,36E-02	-5,40E-02	5,40E-02
27	42,73	2652,07	1,03E-02	3,40E-03	1,33E-03	3,01E-02	2,48E-03	6,20E-03	9,51E-08	1,36E-01	5,57E-04	3,31E-03	4,69E-04	-1,12E+00	6,01E-01	-1,82E-04	5,58E-01	-4,29E-02	-4,31E-02	4,31E-02
36	31,54	2431,62	8,30E-03	2,74E-03	1,07E-03	2,42E-02	1,63E-03	5,19E-03	2,86E-08	1,09E-01	4,35E-04	2,65E-03	3,91E-04	-5,68E-01	3,03E-01	-5,82E-05	2,84E-01	-1,89E-02	-1,89E-02	1,89E-02
45	23,41	2233,05	6,70E-03	2,21E-03	8,65E-04	1,96E-02	1,15E-03	4,29E-03	8,49E-09	8,85E-02	3,46E-04	2,14E-03	3,21E-04	-2,32E-01	1,21E-01	-1,68E-05	1,16E-01	-5,48E-03	-5,50E-03	5,50E-03
54	17,75	2063,20	5,50E-03	1,81E-03	7,09E-04	1,61E-02	8,76E-04	3,55E-03	2,69E-09	7,27E-02	2,83E-04	1,75E-03	2,65E-04	-8,37E-02	4,38E-02	-4,98E-06	4,19E-02	-1,96E-03	-1,96E-03	1,96E-03
63	13,83	1921,39	4,60E-03	1,52E-03	5,94E-04	1,34E-02	7,10E-04	2,98E-03	9,29E-10	6,08E-02	2,36E-04	1,46E-03	2,22E-04	-2,92E-02	1,57E-02	-1,59E-06	1,46E-02	-1,08E-03	-1,08E-03	1,08E-03
72	11,10	1804,29	3,93E-03	1,30E-03	5,07E-04	1,15E-02	5,98E-04	2,55E-03	3,52E-10	5,20E-02	2,01E-04	1,25E-03	1,90E-04	-1,05E-02	5,86E-03	-5,50E-07	5,23E-03	-6,35E-04	-6,35E-04	6,35E-04
81	9,16	1708,09	3,43E-03	1,13E-03	4,42E-04	1,00E-02	5,19E-04	2,23E-03	1,46E-10	4,53E-02	1,75E-04	1,09E-03	1,66E-04	-3,99E-03	2,35E-03	-2,07E-07	2,00E-03	-3,58E-04	-3,58E-04	3,58E-04
90	7,77	1629,30	3,05E-03	1,01E-03	3,93E-04	8,89E-03	4,60E-04	1,98E-03	6,67E-11	4,03E-02	1,56E-04	9,69E-04	1,48E-04	-1,66E-03	1,03E-03	-8,43E-08	8,31E-04	-2,00E-04	-2,00E-04	2,00E-04
99	6,74	1564,93	2,76E-03	9,09E-04	3,55E-04	8,04E-03	4,15E-04	1,79E-03	3,33E-11	3,64E-02	1,41E-04	8,76E-04	1,34E-04	-7,60E-04	4,94E-04	-3,71E-08	3,80E-04	-1,14E-04	-1,14E-04	1,14E-04
108	5,99	1512,54	2,53E-03	8,35E-04	3,26E-04	7,39E-03	3,81E-04	1,65E-03	1,82E-11	3,34E-02	1,29E-04	8,05E-04	1,23E-04	-3,84E-04	2,60E-04	-1,76E-08	1,92E-04	-6,84E-05	-6,84E-05	6,84E-05
117	5,42	1470,13	2,36E-03	7,78E-04	3,04E-04	6,88E-03	3,55E-04	1,53E-03	1,09E-11	3,11E-02	1,20E-04	7,49E-04	1,14E-04	-2,14E-04	1,50E-04	-8,95E-09	1,07E-04	-4,34E-05	-4,34E-05	4,34E-05
126	4,99	1436,11	2,22E-03	7,33E-04	2,87E-04	6,49E-03	3,34E-04	1,45E-03	7,06E-12	2,94E-02	1,13E-04	7,07E-04	1,08E-04	-1,30E-04	9,45E-05	-4,84E-09	6,52E-05	-2,93E-05	-2,93E-05	2,93E-05
135	4,67	1409,21	2,12E-03	7,00E-04	2,74E-04	6,19E-03	3,19E-04	1,38E-03	4,94E-12	2,80E-02	1,08E-04	6,74E-04	1,03E-04	-8,69E-05	6,46E-05	-2,75E-09	4,34E-05	-2,11E-05	-2,11E-05	2,11E-05
144	4,44	1388,43	2,04E-03	6,74E-04	2,64E-04	5,96E-03	3,07E-04	1,33E-03	3,72E-12	2,70E-02	1,04E-04	6,49E-04	9,92E-05	-6,29E-05	4,77E-05	-1,62E-09	3,14E-05	-1,62E-05	-1,62E-05	1,62E-05
153	4,27	1373,01	1,99E-03	6,56E-04	2,56E-04	5,80E-03	2,99E-04	1,29E-03	2,99E-12	2,63E-02	1,01E-04	6,32E-04	9,65E-05	-4,92E-05	3,79E-05	-9,58E-10	2,46E-05	-1,33E-05	-1,33E-05	1,33E-05
162	4,15	1362,37	1,95E-03	6,43E-04	2,51E-04	5,69E-03	2,93E-04	1,27E-03	2,57E-12	2,58E-02	9,94E-05	6,19E-04	9,46E-05	-4,14E-05	3,22E-05	-5,41E-10	2,07E-05	-1,15E-05	-1,15E-05	1,15E-05
171	4,09	1356,14	1,93E-03	6,36E-04	2,48E-04	5,62E-03	2,90E-04	1,25E-03	2,35E-12	2,55E-02	9,82E-05	6,12E-04	9,36E-05	-3,74E-05	2,92E-05	-2,45E-10	1,87E-05	-1,06E-05	-1,06E-05	1,06E-05
180	4,06	1354,08	1,92E-03	6,33E-04	2,48E-04	5,60E-03	2,89E-04	1,25E-03	2,28E-12	2,54E-02	9,79E-05	6,10E-04	9,32E-05	-3,61E-05	2,83E-05	-1,25E-13	1,81E-05	-1,03E-05	-1,03E-05	1,03E-05

Teste: Razão de compressão 8, 20% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0021	0,0007	0,0002	0,0055	0,0007	0,0011	0,0000	0,0258	0,0001	0,0006	0,0001	0,0370	74,78	3114,01	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,5518	1,8372	0,6645	14,9950	1,9748	2,8636	0,0000	69,8578	0,3242	1,7218	0,2094	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	74,78	3114,01	1,60E-02	5,31E-03	1,92E-03	4,33E-02	5,70E-03	8,27E-03	0,0E+00	2,02E-01	9,36E-04	4,97E-03	6,05E-04	-1,48E+02	7,89E+01	4,51E+02	-1,51E+02	-2,30E+02	2,20E+02	-2,20E+02
9	69,29	3046,94	1,52E-02	5,03E-03	1,82E-03	4,10E-02	5,21E-03	7,96E-03	5,86E-07	1,91E-01	8,58E-04	4,68E-03	6,01E-04	-1,22E+00	6,45E-01	-5,03E-04	6,11E-01	-3,46E-02	-3,51E-02	3,51E-02
18	56,51	2874,46	1,31E-02	4,34E-03	1,57E-03	3,55E-02	3,81E-03	7,24E-03	2,80E-07	1,66E-01	7,20E-04	4,02E-03	5,42E-04	-1,56E+00	8,36E-01	-4,27E-04	7,82E-01	-5,42E-02	-5,46E-02	5,46E-02
27	42,78	2654,75	1,08E-02	3,56E-03	1,29E-03	2,91E-02	2,50E-03	6,27E-03	9,75E-08	1,36E-01	5,67E-04	3,28E-03	4,67E-04	-1,13E+00	6,10E-01	-1,86E-04	5,66E-01	-4,39E-02	-4,40E-02	4,40E-02
36	31,57	2434,07	8,66E-03	2,87E-03	1,04E-03	2,34E-02	1,64E-03	5,25E-03	2,93E-08	1,10E-01	4,42E-04	2,62E-03	3,90E-04	-5,79E-01	3,09E-01	-5,97E-05	2,89E-01	-1,96E-02	-1,97E-02	1,97E-02
45	23,43	2235,30	7,00E-03	2,32E-03	8,38E-04	1,89E-02	1,15E-03	4,33E-03	8,71E-09	8,87E-02	3,52E-04	2,11E-03	3,20E-04	-2,37E-01	1,24E-01	-1,73E-05	1,18E-01	-5,82E-03	-5,84E-03	5,84E-03
54	17,77	2065,28	5,74E-03	1,90E-03	6,87E-04	1,55E-02	8,80E-04	3,59E-03	2,76E-09	7,29E-02	2,88E-04	1,73E-03	2,65E-04	-8,58E-02	4,50E-02	-5,10E-06	4,29E-02	-2,08E-03	-2,09E-03	2,09E-03
63	13,85	1923,33	4,81E-03	1,59E-03	5,75E-04	1,30E-02	7,13E-04	3,02E-03	9,53E-10	6,10E-02	2,40E-04	1,45E-03	2,22E-04	-3,00E-02	1,61E-02	-1,63E-06	1,50E-02	-1,13E-03	-1,13E-03	1,13E-03
72	11,11	1806,11	4,11E-03	1,36E-03	4,92E-04	1,11E-02	6,00E-04	2,58E-03	3,61E-10	5,21E-02	2,05E-04	1,24E-03	1,90E-04	-1,08E-02	6,04E-03	-5,64E-07	5,38E-03	-6,59E-04	-6,60E-04	6,60E-04
81	9,17	1709,81	3,58E-03	1,19E-03	4,29E-04	9,67E-03	5,20E-04	2,26E-03	1,50E-10	4,54E-02	1,78E-04	1,08E-03	1,66E-04	-4,11E-03	2,43E-03	-2,12E-07	2,06E-03	-3,71E-04	-3,71E-04	3,71E-04
90	7,77	1630,94	3,18E-03	1,05E-03	3,81E-04	8,60E-03	4,61E-04	2,01E-03	6,86E-11	4,04E-02	1,58E-04	9,60E-04	1,48E-04	-1,71E-03	1,06E-03	-8,66E-08	8,56E-04	-2,07E-04	-2,07E-04	2,07E-04
99	6,75	1566,51	2,88E-03	9,52E-04	3,44E-04	7,77E-03	4,16E-04	1,81E-03	3,43E-11	3,65E-02	1,43E-04	8,68E-04	1,34E-04	-7,85E-04	5,11E-04	-3,82E-08	3,92E-04	-1,18E-04	-1,18E-04	1,18E-04
108	5,99	1514,07	2,64E-03	8,75E-04	3,16E-04	7,14E-03	3,82E-04	1,67E-03	1,88E-11	3,35E-02	1,31E-04	7,97E-04	1,23E-04	-3,97E-04	2,69E-04	-1,81E-08	1,98E-04	-7,07E-05	-7,07E-05	7,07E-05
117	5,43	1471,62	2,46E-03	8,15E-04	2,95E-04	6,65E-03	3,56E-04	1,55E-03	1,12E-11	3,12E-02	1,22E-04	7,42E-04	1,14E-04	-2,21E-04	1,55E-04	-9,21E-09	1,10E-04	-4,49E-05	-4,49E-05	4,49E-05
126	5,00	1437,56	2,32E-03	7,68E-04	2,78E-04	6,27E-03	3,35E-04	1,46E-03	7,28E-12	2,95E-02	1,15E-04	7,00E-04	1,08E-04	-1,35E-04	9,78E-05	-4,98E-09	6,74E-05	-3,03E-05	-3,03E-05	3,03E-05
135	4,68	1410,64	2,21E-03	7,33E-04	2,65E-04	5,98E-03	3,20E-04	1,40E-03	5,10E-12	2,81E-02	1,10E-04	6,67E-04	1,03E-04	-8,99E-05	6,68E-05	-2,83E-09	4,50E-05	-2,19E-05	-2,19E-05	2,19E-05
144	4,44	1389,83	2,13E-03	7,06E-04	2,55E-04	5,76E-03	3,08E-04	1,34E-03	3,84E-12	2,71E-02	1,06E-04	6,43E-04	9,92E-05	-6,51E-05	4,93E-05	-1,67E-09	3,26E-05	-1,68E-05	-1,68E-05	1,68E-05
153	4,27	1374,39	2,08E-03	6,87E-04	2,48E-04	5,60E-03	3,00E-04	1,31E-03	3,09E-12	2,63E-02	1,03E-04	6,25E-04	9,64E-05	-5,10E-05	3,92E-05	-9,88E-10	2,55E-05	-1,37E-05	-1,37E-05	1,37E-05
162	4,16	1363,74	2,04E-03	6,73E-04	2,44E-04	5,50E-03	2,94E-04	1,28E-03	2,66E-12	2,58E-02	1,01E-04	6,13E-04	9,46E-05	-4,29E-05	3,33E-05	-5,58E-10	2,14E-05	-1,19E-05	-1,19E-05	1,19E-05
171	4,09	1357,51	2,01E-03	6,66E-04	2,41E-04	5,43E-03	2,91E-04	1,27E-03	2,43E-12	2,55E-02	9,99E-05	6,06E-04	9,35E-05	-3,87E-05	3,03E-05	-2,53E-10	1,94E-05	-1,09E-05	-1,09E-05	1,09E-05
180	4,07	1355,45	2,00E-03	6,63E-04	2,40E-04	5,41E-03	2,89E-04	1,26E-03	2,36E-12	2,54E-02	9,95E-05	6,04E-04	9,32E-05	-3,74E-05	2,93E-05	-1,32E-13	1,87E-05	-1,06E-05	-1,06E-05	1,06E-05

Teste: Razão de compressão 8, 20% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0021	0,0007	0,0002	0,0054	0,0007	0,0011	0,0000	0,0260	0,0001	0,0006	0,0001	0,0372	74,84	3116,69	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,7483	1,9079	0,6467	14,5581	1,9921	2,8894	0,0000	70,0123	0,3288	1,7082	0,2084	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	74,84	3116,69	1,66E-02	5,51E-03	1,87E-03	4,20E-02	5,75E-03	8,34E-03	0,0E+00	2,02E-01	9,50E-04	4,93E-03	6,02E-04	-1,48E+02	8,12E+01	4,59E+02	-1,56E+02	-2,37E+02	2,23E+02	-2,23E+02
9	69,35	3049,56	1,57E-02	5,22E-03	1,77E-03	3,98E-02	5,25E-03	8,03E-03	5,97E-07	1,92E-01	8,70E-04	4,64E-03	5,98E-04	-1,23E+00	6,51E-01	-5,11E-04	6,17E-01	-3,48E-02	-3,53E-02	3,53E-02
18	56,55	2876,94	1,36E-02	4,51E-03	1,53E-03	3,44E-02	3,85E-03	7,31E-03	2,86E-07	1,66E-01	7,30E-04	3,99E-03	5,39E-04	-1,58E+00	8,45E-01	-4,35E-04	7,90E-01	-5,47E-02	-5,52E-02	5,52E-02
27	42,81	2657,03	1,11E-02	3,70E-03	1,25E-03	2,82E-02	2,52E-03	6,33E-03	9,95E-08	1,36E-01	5,75E-04	3,25E-03	4,66E-04	-1,15E+00	6,17E-01	-1,90E-04	5,73E-01	-4,46E-02	-4,48E-02	4,48E-02
36	31,60	2436,17	8,97E-03	2,98E-03	1,01E-03	2,27E-02	1,65E-03	5,30E-03	2,99E-08	1,10E-01	4,49E-04	2,60E-03	3,89E-04	-5,87E-01	3,14E-01	-6,09E-05	2,94E-01	-2,03E-02	-2,03E-02	2,03E-02
45	23,45	2237,23	7,25E-03	2,41E-03	8,15E-04	1,84E-02	1,16E-03	4,38E-03	8,90E-09	8,89E-02	3,57E-04	2,10E-03	3,20E-04	-2,41E-01	1,27E-01	-1,76E-05	1,20E-01	-6,11E-03	-6,13E-03	6,13E-03
54	17,78	2067,06	5,95E-03	1,97E-03	6,69E-04	1,51E-02	8,83E-04	3,63E-03	2,82E-09	7,30E-02	2,92E-04	1,72E-03	2,64E-04	-8,75E-02	4,59E-02	-5,21E-06	4,37E-02	-2,19E-03	-2,19E-03	2,19E-03
63	13,86	1924,98	4,98E-03	1,65E-03	5,60E-04	1,26E-02	7,15E-04	3,05E-03	9,75E-10	6,11E-02	2,43E-04	1,44E-03	2,22E-04	-3,06E-02	1,65E-02	-1,66E-06	1,53E-02	-1,17E-03	-1,18E-03	1,18E-03
72	11,12	1807,66	4,25E-03	1,41E-03	4,78E-04	1,08E-02	6,02E-04	2,61E-03	3,70E-10	5,22E-02	2,08E-04	1,23E-03	1,90E-04	-1,10E-02	6,18E-03	-5,76E-07	5,50E-03	-6,80E-04	-6,81E-04	6,81E-04
81	9,18	1711,28	3,71E-03	1,23E-03	4,17E-04	9,39E-03	5,22E-04	2,28E-03	1,54E-10	4,56E-02	1,81E-04	1,07E-03	1,66E-04	-4,21E-03	2,49E-03	-2,17E-07	2,11E-03	-3,82E-04	-3,82E-04	3,82E-04
90	7,78	1632,34	3,30E-03	1,09E-03	3,71E-04	8,35E-03	4,62E-04	2,02E-03	7,02E-11	4,05E-02	1,60E-04	9,51E-04	1,48E-04	-1,76E-03	1,09E-03	-8,86E-08	8,79E-04	-2,13E-04	-2,13E-04	2,13E-04
99	6,76	1567,86	2,98E-03	9,89E-04	3,35E-04	7,55E-03	4,17E-04	1,83E-03	3,52E-11	3,66E-02	1,45E-04	8,60E-04	1,33E-04	-8,06E-04	5,25E-04	-3,91E-08	4,03E-04	-1,21E-04	-1,22E-04	1,22E-04
108	6,00	1515,37	2,74E-03	9,08E-04	3,08E-04	6,93E-03	3,83E-04	1,68E-03	1,93E-11	3,36E-02	1,33E-04	7,90E-04	1,23E-04	-4,08E-04	2,77E-04	-1,85E-08	2,04E-04	-7,27E-05	-7,27E-05	7,27E-05
117	5,43	1472,88	2,55E-03	8,46E-04	2,87E-04	6,45E-03	3,57E-04	1,57E-03	1,15E-11	3,13E-02	1,24E-04	7,36E-04	1,14E-04	-2,27E-04	1,60E-04	-9,44E-09	1,14E-04	-4,61E-05	-4,61E-05	4,61E-05
126	5,00	1438,80	2,40E-03	7,98E-04	2,70E-04	6,09E-03	3,36E-04	1,48E-03	7,47E-12	2,95E-02	1,17E-04	6,94E-04	1,08E-04	-1,39E-04	1,01E-04	-5,11E-09	6,94E-05	-3,12E-05	-3,12E-05	3,12E-05
135	4,68	1411,85	2,29E-03	7,61E-04	2,58E-04	5,81E-03	3,21E-04	1,41E-03	5,23E-12	2,82E-02	1,11E-04	6,62E-04	1,03E-04	-9,26E-05	6,88E-05	-2,90E-09	4,63E-05	-2,25E-05	-2,25E-05	2,25E-05
144	4,45	1391,03	2,21E-03	7,33E-04	2,49E-04	5,60E-03	3,09E-04	1,36E-03	3,94E-12	2,71E-02	1,07E-04	6,38E-04	9,91E-05	-6,71E-05	5,08E-05	-1,71E-09	3,35E-05	-1,73E-05	-1,73E-05	1,73E-05
153	4,27	1375,57	2,15E-03	7,13E-04	2,42E-04	5,44E-03	3,00E-04	1,32E-03	3,18E-12	2,64E-02	1,04E-04	6,20E-04	9,63E-05	-5,25E-05	4,04E-05	-1,01E-09	2,62E-05	-1,41E-05	-1,41E-05	1,41E-05
162	4,16	1364,92	2,11E-03	6,99E-04	2,37E-04	5,34E-03	2,95E-04	1,30E-03	2,73E-12	2,59E-02	1,02E-04	6,08E-04	9,45E-05	-4,42E-05	3,43E-05	-5,73E-10	2,21E-05	-1,22E-05	-1,22E-05	1,22E-05
171	4,09	1358,67	2,08E-03	6,91E-04	2,34E-04	5,28E-03	2,91E-04	1,28E-03	2,50E-12	2,56E-02	1,01E-04	6,01E-04	9,34E-05	-3,99E-05	3,12E-05	-2,60E-10	2,00E-05	-1,12E-05	-1,12E-05	1,12E-05
180	4,07	1356,62	2,08E-03	6,89E-04	2,33E-04	5,26E-03	2,90E-04	1,28E-03	2,42E-12	2,55E-02	1,01E-04	5,99E-04	9,31E-05	-3,86E-05	3,02E-05	-1,39E-13	1,93E-05	-1,09E-05	-1,09E-05	1,09E-05

Teste: Razão de compressão 8, 20% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0003	0,0000	0,0001	0,0073	0,0005	0,0017	0,0055	0,0202	0,0000	0,0003	0,0000	0,0361	65,24	2716,85	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,9380	0,0543	0,1755	20,1756	1,3855	4,8465	15,3474	55,9949	0,1074	0,9430	0,0319	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	65,24	2716,85	2,71E-03	1,57E-04	5,07E-04	5,83E-02	4,00E-03	1,40E-02	4,43E-02	1,62E-01	3,10E-04	2,72E-03	9,20E-05	6,92E+06	-5,42E+06	-1,84E+07	5,76E+06	1,12E+07	-7,26E+06	7,26E+06
9	60,45	2658,33	2,57E-03	1,49E-04	4,80E-04	5,52E-02	2,63E-06	6,53E-09	6,52E-03	1,73E-01	3,32E-02	2,97E-10	2,67E-03	-3,21E-03	-1,12E-05	-3,23E-03	3,22E-03	3,23E-03	-5,89E-07	5,89E-07
18	49,30	2507,85	2,22E-03	1,28E-04	4,15E-04	4,77E-02	9,67E-07	1,67E-09	5,63E-03	1,49E-01	2,87E-02	6,32E-11	2,30E-03	-2,11E-03	-5,14E-06	-2,12E-03	2,12E-03	2,12E-03	-2,25E-07	2,25E-07
27	37,32	2316,16	1,82E-03	1,05E-04	3,40E-04	3,91E-02	2,27E-07	2,29E-10	4,62E-03	1,22E-01	2,35E-02	6,69E-12	1,89E-03	-6,36E-04	-9,11E-07	-6,38E-04	6,37E-04	6,38E-04	-3,07E-08	3,07E-08
36	27,55	2123,63	1,46E-03	8,48E-05	2,74E-04	3,15E-02	4,13E-08	2,22E-11	3,72E-03	9,85E-02	1,89E-02	4,75E-13	1,52E-03	-1,29E-04	-9,85E-08	-1,29E-04	1,29E-04	1,29E-04	-2,42E-09	2,42E-09
45	20,44	1950,21	1,18E-03	6,85E-05	2,21E-04	2,54E-02	6,81E-09	1,86E-12	3,00E-03	7,96E-02	1,53E-02	2,85E-14	1,23E-03	-2,20E-05	-8,55E-09	-2,20E-05	2,20E-05	2,20E-05	-1,51E-10	1,51E-10
54	15,50	1801,88	9,70E-04	5,62E-05	1,82E-04	2,09E-02	1,13E-09	1,56E-13	2,47E-03	6,54E-02	1,25E-02	1,71E-15	1,01E-03	-3,59E-06	-7,06E-10	-3,59E-06	3,59E-06	3,59E-06	-8,87E-12	8,87E-12
63	12,08	1678,03	8,12E-04	4,71E-05	1,52E-04	1,75E-02	1,99E-10	1,43E-14	2,06E-03	5,47E-02	1,05E-02	1,12E-16	8,44E-04	-6,06E-07	-6,16E-11	-6,06E-07	6,06E-07	6,06E-07	-5,58E-13	5,58E-13
72	9,69	1575,76	6,94E-04	4,02E-05	1,30E-04	1,49E-02	3,93E-11	1,50E-15	1,76E-03	4,67E-02	8,97E-03	8,71E-18	7,21E-04	-1,11E-07	-6,07E-12	-1,11E-07	1,11E-07	1,11E-07	-4,04E-14	4,04E-14
81	8,00	1491,74	6,05E-04	3,51E-05	1,13E-04	1,30E-02	8,82E-12	1,90E-16	1,54E-03	4,08E-02	7,83E-03	8,27E-19	6,29E-04	-2,29E-08	-7,01E-13	-2,29E-08	2,29E-08	2,29E-08	-3,51E-15	3,51E-15
90	6,78	1422,93	5,38E-04	3,12E-05	1,01E-04	1,16E-02	2,29E-12	2,93E-17	1,37E-03	3,62E-02	6,95E-03	9,83E-20	5,59E-04	-5,34E-09	-9,71E-14	-5,34E-09	5,34E-09	5,34E-09	-3,75E-16	3,75E-16
99	5,89	1366,72	4,86E-04	2,82E-05	9,10E-05	1,05E-02	6,92E-13	5,54E-18	1,24E-03	3,27E-02	6,29E-03	1,48E-20	5,05E-04	-1,43E-09	-1,63E-14	-1,43E-09	1,43E-09	1,43E-09	-4,98E-17	4,98E-17
108	5,23	1320,96	4,47E-04	2,59E-05	8,36E-05	9,61E-03	2,43E-13	1,29E-18	1,13E-03	3,01E-02	5,77E-03	2,82E-21	4,64E-04	-4,35E-10	-3,30E-15	-4,35E-10	4,35E-10	4,35E-10	-8,25E-18	8,25E-18
117	4,73	1283,93	4,16E-04	2,41E-05	7,78E-05	8,95E-03	9,87E-14	3,70E-19	1,06E-03	2,80E-02	5,38E-03	6,76E-22	4,32E-04	-1,51E-10	-8,04E-16	-1,51E-10	1,51E-10	1,51E-10	-1,69E-18	1,69E-18
126	4,36	1254,22	3,92E-04	2,27E-05	7,34E-05	8,44E-03	4,62E-14	1,29E-19	9,96E-04	2,64E-02	5,07E-03	2,03E-22	4,08E-04	-5,91E-11	-2,34E-16	-5,91E-11	5,91E-11	5,91E-11	-4,24E-19	4,24E-19
135	4,08	1230,72	3,74E-04	2,17E-05	7,00E-05	8,05E-03	2,48E-14	5,38E-20	9,50E-04	2,52E-02	4,84E-03	7,53E-23	3,89E-04	-2,57E-11	-7,96E-17	-2,57E-11	2,57E-11	2,57E-11	-1,28E-19	1,28E-19
144	3,87	1212,57	3,61E-04	2,09E-05	6,75E-05	7,75E-03	1,50E-14	2,68E-20	9,16E-04	2,43E-02	4,66E-03	3,41E-23	3,75E-04	-1,22E-11	-3,11E-17	-1,22E-11	1,22E-11	1,22E-11	-4,53E-20	4,53E-20
153	3,73	1199,10	3,51E-04	2,03E-05	6,56E-05	7,54E-03	1,03E-14	1,58E-20	8,91E-04	2,36E-02	4,53E-03	1,87E-23	3,64E-04	-6,15E-12	-1,35E-17	-6,15E-12	6,15E-12	6,15E-12	-1,82E-20	1,82E-20
162	3,63	1189,81	3,44E-04	1,99E-05	6,43E-05	7,40E-03	7,88E-15	1,09E-20	8,73E-04	2,32E-02	4,45E-03	1,22E-23	3,57E-04	-3,10E-12	-6,11E-18	-3,10E-12	3,10E-12	3,10E-12	-7,85E-21	7,85E-21
171	3,57	1184,37	3,40E-04	1,97E-05	6,36E-05	7,31E-03	6,73E-15	8,73E-21	8,63E-04	2,29E-02	4,40E-03	9,51E-24	3,53E-04	-1,31E-12	-2,44E-18	-1,31E-12	1,31E-12	1,31E-12	-3,03E-21	3,03E-21
180	3,55	1182,58	3,39E-04	1,96E-05	6,34E-05	7,28E-03	6,39E-15	8,11E-21	8,60E-04	2,28E-02	4,38E-03	8,75E-24	3,52E-04	-1,09E-16	-1,30E-20	-1,09E-16	1,09E-16	1,09E-16	-2,82E-25	2,82E-25

Teste: Razão de compressão 8, 50% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0010	0,0001	0,0001	0,0063	0,0005	0,0019	0,0031	0,0228	0,0000	0,0003	0,0000	0,0361	65,18	2714,25	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,8602	0,1590	0,1463	17,5109	1,5122	5,1656	8,5253	63,0949	0,1094	0,8875	0,0287	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	65,18	2714,25	8,26E-03	4,59E-04	4,23E-04	5,06E-02	4,37E-03	1,49E-02	2,46E-02	1,82E-01	3,16E-04	2,56E-03	8,30E-05	3,50E+06	-3,20E+06	-1,05E+07	3,49E+06	6,69E+06	-3,80E+06	3,80E+06
9	60,40	2655,79	7,82E-03	4,35E-04	4,00E-04	4,79E-02	2,48E-03	5,42E-03	4,75E-06	1,85E-01	2,15E-02	3,13E-04	2,19E-03	-7,50E-01	4,19E-01	-4,31E-03	3,77E-01	-4,14E-02	-4,57E-02	4,57E-02
18	49,25	2505,45	6,76E-03	3,76E-04	3,46E-04	4,14E-02	1,72E-03	4,92E-03	2,17E-06	1,60E-01	1,86E-02	2,42E-04	1,92E-03	-9,51E-01	5,42E-01	-3,50E-03	4,77E-01	-6,48E-02	-6,83E-02	6,83E-02
27	37,29	2313,95	5,54E-03	3,08E-04	2,84E-04	3,39E-02	1,03E-03	4,25E-03	7,06E-07	1,31E-01	1,52E-02	1,69E-04	1,61E-03	-7,18E-01	4,19E-01	-1,45E-03	3,60E-01	-5,95E-02	-6,09E-02	6,09E-02
36	27,52	2121,60	4,46E-03	2,48E-04	2,28E-04	2,73E-02	5,79E-04	3,57E-03	1,92E-07	1,06E-01	1,22E-02	1,14E-04	1,32E-03	-4,04E-01	2,39E-01	-4,35E-04	2,02E-01	-3,62E-02	-3,67E-02	3,67E-02
45	20,43	1948,35	3,61E-03	2,00E-04	1,84E-04	2,21E-02	3,42E-04	2,96E-03	4,94E-08	8,57E-02	9,85E-03	8,08E-05	1,07E-03	-1,83E-01	1,07E-01	-1,13E-04	9,13E-02	-1,52E-02	-1,53E-02	1,53E-02
54	15,49	1800,15	2,96E-03	1,65E-04	1,51E-04	1,81E-02	2,28E-04	2,46E-03	1,34E-08	7,04E-02	8,08E-03	6,21E-05	8,86E-04	-6,99E-02	4,02E-02	-2,86E-05	3,50E-02	-5,19E-03	-5,22E-03	5,22E-03
63	12,07	1676,42	2,48E-03	1,38E-04	1,27E-04	1,52E-02	1,71E-04	2,07E-03	4,08E-09	5,89E-02	6,76E-03	5,05E-05	7,43E-04	-2,47E-02	1,41E-02	-7,80E-06	1,23E-02	-1,80E-03	-1,81E-03	1,81E-03
72	9,68	1574,25	2,12E-03	1,18E-04	1,08E-04	1,30E-02	1,39E-04	1,77E-03	1,41E-09	5,03E-02	5,77E-03	4,26E-05	6,35E-04	-8,69E-03	5,04E-03	-2,40E-06	4,35E-03	-6,94E-04	-6,96E-04	6,96E-04
81	7,99	1490,32	1,85E-03	1,03E-04	9,44E-05	1,13E-02	1,19E-04	1,55E-03	5,53E-10	4,39E-02	5,04E-03	3,70E-05	5,54E-04	-3,23E-03	1,91E-03	-8,35E-07	1,62E-03	-2,93E-04	-2,94E-04	2,94E-04
90	6,78	1421,57	1,64E-03	9,12E-05	8,39E-05	1,00E-02	1,05E-04	1,38E-03	2,41E-10	3,90E-02	4,47E-03	3,28E-05	4,93E-04	-1,30E-03	7,86E-04	-3,23E-07	6,52E-04	-1,34E-04	-1,34E-04	1,34E-04
99	5,89	1365,41	1,48E-03	8,24E-05	7,58E-05	9,08E-03	9,41E-05	1,24E-03	1,17E-10	3,53E-02	4,05E-03	2,96E-05	4,45E-04	-5,79E-04	3,56E-04	-1,37E-07	2,90E-04	-6,61E-05	-6,63E-05	6,63E-05
108	5,22	1319,70	1,36E-03	7,57E-05	6,96E-05	8,34E-03	8,63E-05	1,14E-03	6,21E-11	3,24E-02	3,72E-03	2,71E-05	4,09E-04	-2,85E-04	1,78E-04	-6,30E-08	1,42E-04	-3,53E-05	-3,54E-05	3,54E-05
117	4,73	1282,70	1,27E-03	7,05E-05	6,49E-05	7,76E-03	8,02E-05	1,06E-03	3,62E-11	3,02E-02	3,46E-03	2,53E-05	3,81E-04	-1,54E-04	9,77E-05	-3,12E-08	7,72E-05	-2,05E-05	-2,05E-05	2,05E-05
126	4,36	1253,02	1,20E-03	6,65E-05	6,12E-05	7,32E-03	7,56E-05	1,00E-03	2,30E-11	2,84E-02	3,26E-03	2,38E-05	3,59E-04	-9,23E-05	5,90E-05	-1,66E-08	4,61E-05	-1,29E-05	-1,29E-05	1,29E-05
135	4,08	1229,55	1,14E-03	6,34E-05	5,84E-05	6,99E-03	7,21E-05	9,57E-04	1,58E-11	2,71E-02	3,11E-03	2,27E-05	3,43E-04	-6,04E-05	3,90E-05	-9,26E-09	3,02E-05	-8,78E-06	-8,78E-06	8,78E-06
144	3,87	1211,41	1,10E-03	6,11E-05	5,62E-05	6,73E-03	6,94E-05	9,22E-04	1,17E-11	2,61E-02	3,00E-03	2,19E-05	3,30E-04	-4,31E-05	2,80E-05	-5,38E-09	2,15E-05	-6,45E-06	-6,45E-06	6,45E-06
153	3,72	1197,95	1,07E-03	5,94E-05	5,47E-05	6,55E-03	6,75E-05	8,97E-04	9,35E-12	2,54E-02	2,92E-03	2,13E-05	3,21E-04	-3,33E-05	2,18E-05	-3,15E-09	1,67E-05	-5,10E-06	-5,10E-06	5,10E-06
162	3,62	1188,67	1,05E-03	5,83E-05	5,36E-05	6,42E-03	6,62E-05	8,80E-04	7,97E-12	2,49E-02	2,86E-03	2,09E-05	3,15E-04	-2,78E-05	1,82E-05	-1,77E-09	1,39E-05	-4,32E-06	-4,32E-06	4,32E-06
171	3,57	1183,24	1,04E-03	5,76E-05	5,30E-05	6,35E-03	6,54E-05	8,70E-04	7,26E-12	2,47E-02	2,83E-03	2,06E-05	3,11E-04	-2,50E-05	1,64E-05	-7,99E-10	1,25E-05	-3,91E-06	-3,91E-06	3,91E-06
180	3,55	1181,45	1,03E-03	5,74E-05	5,28E-05	6,32E-03	6,52E-05	8,66E-04	7,03E-12	2,46E-02	2,82E-03	2,05E-05	3,10E-04	-2,41E-05	1,58E-05	-1,22E-12	1,21E-05	-3,79E-06	-3,79E-06	3,79E-06

Teste: Razão de compressão 8, 50% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0017	0,0001	0,0000	0,0053	0,0006	0,0020	0,0005	0,0254	0,0000	0,0003	0,0000	0,036101	65,11	2711,58	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	4,8458	0,2587	0,1186	14,7708	1,6403	5,4942	1,5161	70,3957	0,1113	0,8229	0,0256	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	65,11	2711,58	1,40E-02	7,47E-04	3,43E-04	4,27E-02	4,74E-03	1,59E-02	4,38E-03	2,03E-01	3,21E-04	2,38E-03	7,39E-05	5,56E+05	-6,04E+05	-1,90E+06	6,74E+05	1,28E+06	-6,26E+05	6,26E+05
9	60,33	2653,17	1,33E-02	7,08E-04	3,24E-04	4,04E-02	4,08E-03	1,38E-02	5,29E-07	1,95E-01	3,77E-03	1,57E-03	7,51E-04	-1,19E+00	6,71E-01	-4,87E-04	5,96E-01	-7,49E-02	-7,53E-02	7,53E-02
18	49,20	2502,99	1,15E-02	6,12E-04	2,80E-04	3,49E-02	2,87E-03	1,23E-02	2,41E-07	1,69E-01	3,21E-03	1,31E-03	6,95E-04	-1,44E+00	8,30E-01	-3,94E-04	7,18E-01	-1,11E-01	-1,12E-01	1,12E-01
27	37,25	2311,67	9,39E-03	5,01E-04	2,30E-04	2,86E-02	1,81E-03	1,04E-02	7,81E-08	1,39E-01	2,59E-03	1,03E-03	6,16E-04	-9,49E-01	5,61E-01	-1,60E-04	4,75E-01	-8,67E-02	-8,69E-02	8,69E-02
36	27,49	2119,51	7,56E-03	4,04E-04	1,85E-04	2,30E-02	1,16E-03	8,57E-03	2,17E-08	1,12E-01	2,05E-03	7,99E-04	5,24E-04	-4,30E-01	2,56E-01	-4,74E-05	2,15E-01	-4,11E-02	-4,11E-02	4,11E-02
45	20,40	1946,43	6,11E-03	3,26E-04	1,50E-04	1,86E-02	8,15E-04	7,00E-03	6,02E-09	9,03E-02	1,65E-03	6,34E-04	4,35E-04	-1,52E-01	9,16E-02	-1,27E-05	7,62E-02	-1,54E-02	-1,54E-02	1,54E-02
54	15,47	1798,38	5,01E-03	2,68E-04	1,23E-04	1,53E-02	6,28E-04	5,77E-03	1,79E-09	7,41E-02	1,35E-03	5,16E-04	3,61E-04	-4,78E-02	2,96E-02	-3,52E-06	2,39E-02	-5,70E-03	-5,70E-03	5,70E-03
63	12,06	1674,77	4,20E-03	2,24E-04	1,03E-04	1,28E-02	5,13E-04	4,84E-03	5,79E-10	6,21E-02	1,13E-03	4,30E-04	3,04E-04	-1,47E-02	9,53E-03	-1,06E-06	7,35E-03	-2,18E-03	-2,18E-03	2,18E-03
72	9,67	1572,70	3,59E-03	1,91E-04	8,78E-05	1,09E-02	4,35E-04	4,14E-03	2,06E-10	5,30E-02	9,62E-04	3,67E-04	2,61E-04	-4,73E-03	3,22E-03	-3,47E-07	2,36E-03	-8,56E-04	-8,57E-04	8,57E-04
81	7,99	1488,85	3,13E-03	1,67E-04	7,65E-05	9,53E-03	3,78E-04	3,61E-03	8,07E-11	4,62E-02	8,39E-04	3,20E-04	2,27E-04	-1,65E-03	1,18E-03	-1,23E-07	8,25E-04	-3,53E-04	-3,53E-04	3,53E-04
90	6,77	1420,17	2,78E-03	1,48E-04	6,80E-05	8,47E-03	3,35E-04	3,21E-03	3,48E-11	4,11E-02	7,45E-04	2,84E-04	2,02E-04	-6,36E-04	4,74E-04	-4,76E-08	3,18E-04	-1,55E-04	-1,56E-04	1,56E-04
99	5,88	1364,07	2,51E-03	1,34E-04	6,15E-05	7,66E-03	3,03E-04	2,90E-03	1,65E-11	3,72E-02	6,74E-04	2,57E-04	1,83E-04	-2,73E-04	2,11E-04	-2,00E-08	1,37E-04	-7,41E-05	-7,41E-05	7,41E-05
108	5,22	1318,40	2,31E-03	1,23E-04	5,65E-05	7,03E-03	2,78E-04	2,66E-03	8,65E-12	3,41E-02	6,19E-04	2,36E-04	1,68E-04	-1,31E-04	1,04E-04	-9,06E-09	6,53E-05	-3,84E-05	-3,84E-05	3,84E-05
117	4,72	1281,44	2,15E-03	1,15E-04	5,26E-05	6,55E-03	2,59E-04	2,48E-03	4,96E-12	3,18E-02	5,76E-04	2,20E-04	1,57E-04	-6,94E-05	5,65E-05	-4,43E-09	3,47E-05	-2,18E-05	-2,18E-05	2,18E-05
126	4,35	1251,79	2,03E-03	1,08E-04	4,96E-05	6,18E-03	2,44E-04	2,34E-03	3,11E-12	3,00E-02	5,44E-04	2,07E-04	1,48E-04	-4,08E-05	3,39E-05	-2,32E-09	2,04E-05	-1,35E-05	-1,35E-05	1,35E-05
135	4,07	1228,34	1,93E-03	1,03E-04	4,73E-05	5,89E-03	2,33E-04	2,23E-03	2,12E-12	2,86E-02	5,19E-04	1,98E-04	1,41E-04	-2,64E-05	2,22E-05	-1,28E-09	1,32E-05	-9,04E-06	-9,04E-06	9,04E-06
144	3,87	1210,22	1,86E-03	9,94E-05	4,56E-05	5,68E-03	2,24E-04	2,15E-03	1,56E-12	2,75E-02	5,00E-04	1,90E-04	1,36E-04	-1,86E-05	1,59E-05	-7,38E-10	9,31E-06	-6,58E-06	-6,58E-06	6,58E-06
153	3,72	1196,78	1,81E-03	9,67E-05	4,43E-05	5,52E-03	2,18E-04	2,09E-03	1,23E-12	2,68E-02	4,86E-04	1,85E-04	1,32E-04	-1,43E-05	1,23E-05	-4,30E-10	7,15E-06	-5,16E-06	-5,16E-06	5,16E-06
162	3,62	1187,50	1,78E-03	9,48E-05	4,35E-05	5,41E-03	2,14E-04	2,05E-03	1,05E-12	2,63E-02	4,76E-04	1,82E-04	1,29E-04	-1,19E-05	1,03E-05	-2,40E-10	5,94E-06	-4,35E-06	-4,35E-06	4,35E-06
171	3,56	1182,07	1,76E-03	9,37E-05	4,30E-05	5,35E-03	2,11E-04	2,03E-03	9,52E-13	2,60E-02	4,71E-04	1,80E-04	1,28E-04	-1,06E-05	9,25E-06	-1,08E-10	5,32E-06	-3,93E-06	-3,93E-06	3,93E-06
180	3,54	1180,28	1,75E-03	9,34E-05	4,28E-05	5,33E-03	2,11E-04	2,02E-03	9,22E-13	2,59E-02	4,69E-04	1,79E-04	1,27E-04	-1,03E-05	8,93E-06	-2,79E-14	5,13E-06	-3,80E-06	-3,80E-06	3,80E-06

Teste: Razão de compressão 8, 50% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0001	0,0000	0,0050	0,0006	0,0020	0,0000	0,0262	0,0000	0,0003	0,0000	0,036297	65,09	2710,59	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,5536	0,2926	0,1085	13,6807	1,6725	5,5888	0,0000	72,1742	0,1117	0,7931	0,0243	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	65,09	2710,59	1,60E-02	8,45E-04	3,13E-04	3,95E-02	4,83E-03	1,61E-02	0,00E+00	2,08E-01	3,22E-04	2,29E-03	7,03E-05	-5,50E+00	7,41E+00	2,27E+01	-8,61E+00	-1,60E+01	6,70E+00	-6,70E+00
9	60,31	2652,21	1,52E-02	8,00E-04	2,97E-04	3,74E-02	4,51E-03	1,53E-02	4,01E-08	1,97E-01	3,01E-04	2,16E-03	7,14E-05	-5,85E-01	2,93E-01	-3,60E-05	2,92E-01	-9,67E-04	-1,00E-03	1,00E-03
18	49,19	2502,07	1,31E-02	6,92E-04	2,56E-04	3,23E-02	3,55E-03	1,34E-02	1,87E-08	1,71E-01	2,59E-04	1,87E-03	6,28E-05	-7,65E-01	3,85E-01	-2,93E-05	3,83E-01	-2,72E-03	-2,75E-03	2,75E-03
27	37,24	2310,83	1,08E-02	5,67E-04	2,10E-04	2,65E-02	2,64E-03	1,11E-02	6,39E-09	1,40E-01	2,11E-04	1,53E-03	5,25E-05	-4,12E-01	2,08E-01	-1,22E-05	2,06E-01	-1,62E-03	-1,63E-03	1,63E-03
36	27,48	2118,74	8,66E-03	4,56E-04	1,69E-04	2,13E-02	2,01E-03	9,02E-03	1,93E-09	1,13E-01	1,69E-04	1,23E-03	4,29E-05	-1,47E-01	7,49E-02	-3,89E-06	7,37E-02	-1,29E-03	-1,29E-03	1,29E-03
45	20,40	1945,72	7,00E-03	3,69E-04	1,37E-04	1,72E-02	1,59E-03	7,31E-03	5,75E-10	9,13E-02	1,36E-04	9,96E-04	3,52E-05	-4,35E-02	2,27E-02	-1,15E-06	2,17E-02	-9,91E-04	-9,92E-04	9,92E-04
54	15,46	1797,73	5,75E-03	3,03E-04	1,12E-04	1,42E-02	1,29E-03	6,01E-03	1,78E-10	7,49E-02	1,12E-04	8,17E-04	2,92E-05	-1,21E-02	6,62E-03	-3,42E-07	6,07E-03	-5,51E-04	-5,52E-04	5,52E-04
63	12,05	1674,16	4,81E-03	2,53E-04	9,39E-05	1,18E-02	1,08E-03	5,03E-03	5,85E-11	6,27E-02	9,31E-05	6,83E-04	2,46E-05	-3,48E-03	1,99E-03	-1,06E-07	1,74E-03	-2,52E-04	-2,53E-04	2,53E-04
72	9,67	1572,13	4,11E-03	2,16E-04	8,02E-05	1,01E-02	9,19E-04	4,30E-03	2,09E-11	5,36E-02	7,95E-05	5,84E-04	2,11E-05	-1,07E-03	6,45E-04	-3,52E-08	5,37E-04	-1,08E-04	-1,08E-04	1,08E-04
81	7,98	1488,31	3,58E-03	1,89E-04	7,00E-05	8,83E-03	8,01E-04	3,75E-03	8,14E-12	4,67E-02	6,93E-05	5,09E-04	1,84E-05	-3,65E-04	2,29E-04	-1,25E-08	1,83E-04	-4,63E-05	-4,63E-05	4,63E-05
90	6,77	1419,65	3,18E-03	1,68E-04	6,22E-05	7,84E-03	7,12E-04	3,33E-03	3,49E-12	4,15E-02	6,16E-05	4,52E-04	1,64E-05	-1,38E-04	9,01E-05	-4,82E-09	6,92E-05	-2,08E-05	-2,08E-05	2,08E-05
99	5,88	1363,57	2,88E-03	1,52E-04	5,62E-05	7,09E-03	6,44E-04	3,01E-03	1,65E-12	3,75E-02	5,57E-05	4,09E-04	1,48E-05	-5,88E-05	3,95E-05	-2,01E-09	2,94E-05	-1,01E-05	-1,01E-05	1,01E-05
108	5,22	1317,92	2,64E-03	1,39E-04	5,16E-05	6,51E-03	5,91E-04	2,77E-03	8,62E-13	3,45E-02	5,11E-05	3,76E-04	1,36E-05	-2,79E-05	1,92E-05	-9,09E-10	1,39E-05	-5,28E-06	-5,28E-06	5,28E-06
117	4,72	1280,97	2,46E-03	1,30E-04	4,81E-05	6,07E-03	5,51E-04	2,58E-03	4,93E-13	3,21E-02	4,76E-05	3,50E-04	1,27E-05	-1,47E-05	1,04E-05	-4,43E-10	7,37E-06	-3,01E-06	-3,01E-06	3,01E-06
126	4,35	1251,33	2,32E-03	1,22E-04	4,54E-05	5,72E-03	5,19E-04	2,43E-03	3,08E-13	3,03E-02	4,49E-05	3,30E-04	1,20E-05	-8,63E-06	6,19E-06	-2,31E-10	4,32E-06	-1,87E-06	-1,87E-06	1,87E-06
135	4,07	1227,89	2,22E-03	1,17E-04	4,33E-05	5,46E-03	4,95E-04	2,32E-03	2,09E-13	2,89E-02	4,28E-05	3,15E-04	1,14E-05	-5,56E-06	4,04E-06	-1,28E-10	2,78E-06	-1,26E-06	-1,26E-06	1,26E-06
144	3,87	1209,78	2,13E-03	1,12E-04	4,17E-05	5,26E-03	4,77E-04	2,23E-03	1,54E-13	2,78E-02	4,13E-05	3,03E-04	1,10E-05	-3,92E-06	2,88E-06	-7,33E-11	1,96E-06	-9,22E-07	-9,22E-07	9,22E-07
153	3,72	1196,34	2,08E-03	1,09E-04	4,05E-05	5,11E-03	4,64E-04	2,17E-03	1,22E-13	2,71E-02	4,01E-05	2,95E-04	1,07E-05	-3,01E-06	2,23E-06	-4,27E-11	1,50E-06	-7,25E-07	-7,25E-07	7,25E-07
162	3,62	1187,07	2,04E-03	1,07E-04	3,98E-05	5,01E-03	4,55E-04	2,13E-03	1,03E-13	2,65E-02	3,94E-05	2,89E-04	1,05E-05	-2,50E-06	1,86E-06	-2,38E-11	1,25E-06	-6,12E-07	-6,12E-07	6,12E-07
171	3,56	1181,64	2,01E-03	1,06E-04	3,93E-05	4,96E-03	4,50E-04	2,10E-03	9,38E-14	2,62E-02	3,89E-05	2,86E-04	1,04E-05	-2,24E-06	1,67E-06	-1,07E-11	1,12E-06	-5,54E-07	-5,54E-07	5,54E-07
180	3,54	1179,85	2,00E-03	1,06E-04	3,92E-05	4,94E-03	4,48E-04	2,10E-03	9,08E-14	2,61E-02	3,88E-05	2,85E-04	1,03E-05	-2,15E-06	1,61E-06	-4,13E-16	1,08E-06	-5,36E-07	-5,36E-07	5,36E-07

Teste: Razão de compressão 8, 50% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0021	0,0001	0,0000	0,0048	0,0006	0,0020	0,0000	0,0264	0,0000	0,0003	0,0000	0,0365	65,08	2710,22	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,8018	0,3050	0,1047	13,2335	1,6767	5,6100	0,0000	72,3521	0,1117	0,7806	0,0239	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	65,08	2710,22	1,68E-02	8,81E-04	3,02E-04	3,82E-02	4,84E-03	1,62E-02	0,00E+00	2,09E-01	3,22E-04	2,25E-03	6,90E-05	-5,38E+00	7,41E+00	2,26E+01	-8,62E+00	-1,60E+01	6,58E+00	-6,58E+00
9	60,30	2651,84	1,59E-02	8,34E-04	2,86E-04	3,62E-02	4,52E-03	1,54E-02	4,01E-08	1,98E-01	3,01E-04	2,13E-03	7,00E-05	-5,85E-01	2,94E-01	-3,60E-05	2,93E-01	-9,49E-04	-9,85E-04	9,85E-04
18	49,18	2501,73	1,37E-02	7,21E-04	2,48E-04	3,13E-02	3,56E-03	1,35E-02	1,86E-08	1,71E-01	2,59E-04	1,84E-03	6,16E-05	-7,67E-01	3,86E-01	-2,93E-05	3,83E-01	-2,68E-03	-2,71E-03	2,71E-03
27	37,23	2310,51	1,12E-02	5,91E-04	2,03E-04	2,56E-02	2,65E-03	1,12E-02	6,38E-09	1,41E-01	2,11E-04	1,51E-03	5,15E-05	-4,13E-01	2,08E-01	-1,22E-05	2,06E-01	-1,60E-03	-1,61E-03	1,61E-03
36	27,48	2118,45	9,05E-03	4,76E-04	1,63E-04	2,06E-02	2,01E-03	9,06E-03	1,93E-09	1,13E-01	1,69E-04	1,21E-03	4,21E-05	-1,48E-01	7,51E-02	-3,88E-06	7,38E-02	-1,28E-03	-1,28E-03	1,28E-03
45	20,39	1945,46	7,31E-03	3,85E-04	1,32E-04	1,67E-02	1,59E-03	7,34E-03	5,74E-10	9,15E-02	1,36E-04	9,80E-04	3,45E-05	-4,36E-02	2,28E-02	-1,15E-06	2,18E-02	-9,82E-04	-9,83E-04	9,83E-04
54	15,46	1797,48	6,00E-03	3,16E-04	1,08E-04	1,37E-02	1,29E-03	6,03E-03	1,78E-10	7,51E-02	1,12E-04	8,04E-04	2,87E-05	-1,22E-02	6,63E-03	-3,42E-07	6,08E-03	-5,47E-04	-5,47E-04	5,47E-04
63	12,05	1673,93	5,02E-03	2,64E-04	9,07E-05	1,15E-02	1,08E-03	5,05E-03	5,85E-11	6,28E-02	9,32E-05	6,72E-04	2,42E-05	-3,49E-03	2,00E-03	-1,06E-07	1,75E-03	-2,50E-04	-2,50E-04	2,50E-04
72	9,67	1571,91	4,29E-03	2,26E-04	7,75E-05	9,79E-03	9,22E-04	4,31E-03	2,09E-11	5,37E-02	7,96E-05	5,74E-04	2,07E-05	-1,08E-03	6,45E-04	-3,52E-08	5,38E-04	-1,07E-04	-1,07E-04	1,07E-04
81	7,98	1488,10	3,74E-03	1,97E-04	6,75E-05	8,54E-03	8,04E-04	3,76E-03	8,14E-12	4,68E-02	6,93E-05	5,01E-04	1,81E-05	-3,66E-04	2,29E-04	-1,25E-08	1,83E-04	-4,59E-05	-4,59E-05	4,59E-05
90	6,77	1419,46	3,33E-03	1,75E-04	6,00E-05	7,59E-03	7,14E-04	3,34E-03	3,50E-12	4,16E-02	6,16E-05	4,45E-04	1,61E-05	-1,39E-04	9,01E-05	-4,82E-09	6,95E-05	-2,07E-05	-2,07E-05	2,07E-05
99	5,88	1363,38	3,01E-03	1,58E-04	5,43E-05	6,86E-03	6,45E-04	3,02E-03	1,66E-12	3,76E-02	5,57E-05	4,02E-04	1,46E-05	-5,90E-05	3,95E-05	-2,01E-09	2,95E-05	-9,99E-06	-9,99E-06	9,99E-06
108	5,22	1317,74	2,76E-03	1,45E-04	4,98E-05	6,30E-03	5,93E-04	2,78E-03	8,63E-13	3,45E-02	5,11E-05	3,70E-04	1,34E-05	-2,80E-05	1,92E-05	-9,10E-10	1,40E-05	-5,24E-06	-5,24E-06	5,24E-06
117	4,72	1280,79	2,57E-03	1,35E-04	4,64E-05	5,87E-03	5,52E-04	2,59E-03	4,94E-13	3,22E-02	4,76E-05	3,44E-04	1,25E-05	-1,48E-05	1,04E-05	-4,44E-10	7,40E-06	-2,99E-06	-2,99E-06	2,99E-06
126	4,35	1251,16	2,43E-03	1,28E-04	4,38E-05	5,53E-03	5,21E-04	2,44E-03	3,09E-13	3,03E-02	4,49E-05	3,25E-04	1,18E-05	-8,67E-06	6,19E-06	-2,31E-10	4,34E-06	-1,86E-06	-1,86E-06	1,86E-06
135	4,07	1227,72	2,31E-03	1,22E-04	4,18E-05	5,28E-03	4,97E-04	2,33E-03	2,10E-13	2,89E-02	4,28E-05	3,10E-04	1,12E-05	-5,59E-06	4,05E-06	-1,28E-10	2,79E-06	-1,25E-06	-1,25E-06	1,25E-06
144	3,87	1209,62	2,23E-03	1,17E-04	4,02E-05	5,09E-03	4,79E-04	2,24E-03	1,54E-13	2,79E-02	4,13E-05	2,98E-04	1,08E-05	-3,94E-06	2,88E-06	-7,34E-11	1,97E-06	-9,14E-07	-9,14E-07	9,14E-07
153	3,72	1196,18	2,17E-03	1,14E-04	3,91E-05	4,95E-03	4,65E-04	2,18E-03	1,22E-13	2,71E-02	4,01E-05	2,90E-04	1,05E-05	-3,02E-06	2,23E-06	-4,27E-11	1,51E-06	-7,19E-07	-7,19E-07	7,19E-07
162	3,62	1186,91	2,13E-03	1,12E-04	3,84E-05	4,85E-03	4,56E-04	2,14E-03	1,04E-13	2,66E-02	3,94E-05	2,85E-04	1,03E-05	-2,51E-06	1,86E-06	-2,38E-11	1,25E-06	-6,07E-07	-6,07E-07	6,07E-07
171	3,56	1181,48	2,10E-03	1,11E-04	3,79E-05	4,80E-03	4,51E-04	2,11E-03	9,40E-14	2,63E-02	3,89E-05	2,81E-04	1,02E-05	-2,25E-06	1,67E-06	-1,07E-11	1,12E-06	-5,49E-07	-5,49E-07	5,49E-07
180	3,54	1179,69	2,09E-03	1,10E-04	3,78E-05	4,78E-03	4,50E-04	2,10E-03	9,10E-14	2,62E-02	3,88E-05	2,80E-04	1,02E-05	-2,17E-06	1,61E-06	-4,19E-16	1,08E-06	-5,31E-07	-5,31E-07	5,31E-07

Teste: Razão de compressão 8, 50% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0022	0,0001	0,0000	0,0047	0,0006	0,0021	0,0000	0,0266	0,0000	0,0003	0,0000	0,0366	65,07	2709,90	1,40	8	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	6,0111	0,3152	0,1015	12,8575	1,6803	5,6278	0,0000	72,5021	0,1116	0,7695	0,0235	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	65,07	2709,90	1,74E-02	9,10E-04	2,93E-04	3,71E-02	4,85E-03	1,63E-02	0,0E+00	2,09E-01	3,22E-04	2,22E-03	6,78E-05	-5,28E+00	7,42E+00	2,25E+01	-8,62E+00	-1,60E+01	6,48E+00	-6,48E+00
9	60,30	2651,53	1,64E-02	8,62E-04	2,77E-04	3,52E-02	4,53E-03	1,54E-02	4,00E-08	1,98E-01	3,01E-04	2,10E-03	6,88E-05	-5,86E-01	2,94E-01	-3,59E-05	2,93E-01	-9,33E-04	-9,69E-04	9,69E-04
18	49,17	2501,44	1,42E-02	7,45E-04	2,40E-04	3,04E-02	3,56E-03	1,35E-02	1,86E-08	1,72E-01	2,59E-04	1,81E-03	6,06E-05	-7,68E-01	3,87E-01	-2,92E-05	3,84E-01	-2,64E-03	-2,67E-03	2,67E-03
27	37,23	2310,24	1,16E-02	6,11E-04	1,97E-04	2,49E-02	2,65E-03	1,12E-02	6,37E-09	1,41E-01	2,11E-04	1,49E-03	5,06E-05	-4,13E-01	2,08E-01	-1,22E-05	2,07E-01	-1,58E-03	-1,59E-03	1,59E-03
36	27,47	2118,20	9,38E-03	4,92E-04	1,58E-04	2,01E-02	2,02E-03	9,08E-03	1,92E-09	1,13E-01	1,69E-04	1,20E-03	4,14E-05	-1,48E-01	7,51E-02	-3,88E-06	7,39E-02	-1,27E-03	-1,27E-03	1,27E-03
45	20,39	1945,23	7,58E-03	3,97E-04	1,28E-04	1,62E-02	1,59E-03	7,36E-03	5,73E-10	9,17E-02	1,36E-04	9,66E-04	3,39E-05	-4,36E-02	2,28E-02	-1,14E-06	2,18E-02	-9,74E-04	-9,76E-04	9,76E-04
54	15,46	1797,27	6,22E-03	3,26E-04	1,05E-04	1,33E-02	1,30E-03	6,05E-03	1,77E-10	7,52E-02	1,12E-04	7,92E-04	2,82E-05	-1,22E-02	6,64E-03	-3,41E-07	6,09E-03	-5,42E-04	-5,43E-04	5,43E-04
63	12,05	1673,73	5,20E-03	2,73E-04	8,78E-05	1,11E-02	1,08E-03	5,06E-03	5,85E-11	6,30E-02	9,32E-05	6,63E-04	2,38E-05	-3,50E-03	2,00E-03	-1,06E-07	1,75E-03	-2,48E-04	-2,49E-04	2,49E-04
72	9,67	1571,73	4,45E-03	2,33E-04	7,51E-05	9,51E-03	9,24E-04	4,33E-03	2,09E-11	5,38E-02	7,96E-05	5,66E-04	2,04E-05	-1,08E-03	6,46E-04	-3,52E-08	5,40E-04	-1,06E-04	-1,06E-04	1,06E-04
81	7,98	1487,93	3,88E-03	2,03E-04	6,55E-05	8,30E-03	8,05E-04	3,77E-03	8,14E-12	4,69E-02	6,94E-05	4,94E-04	1,78E-05	-3,67E-04	2,29E-04	-1,25E-08	1,84E-04	-4,55E-05	-4,56E-05	4,56E-05
90	6,77	1419,29	3,45E-03	1,81E-04	5,82E-05	7,37E-03	7,16E-04	3,35E-03	3,50E-12	4,17E-02	6,16E-05	4,39E-04	1,58E-05	-1,39E-04	9,02E-05	-4,82E-09	6,97E-05	-2,05E-05	-2,05E-05	2,05E-05
99	5,88	1363,22	3,12E-03	1,63E-04	5,26E-05	6,66E-03	6,47E-04	3,03E-03	1,66E-12	3,77E-02	5,57E-05	3,97E-04	1,43E-05	-5,92E-05	3,95E-05	-2,01E-09	2,96E-05	-9,91E-06	-9,92E-06	9,92E-06
108	5,22	1317,58	2,86E-03	1,50E-04	4,83E-05	6,12E-03	5,94E-04	2,78E-03	8,64E-13	3,46E-02	5,12E-05	3,64E-04	1,32E-05	-2,81E-05	1,92E-05	-9,11E-10	1,41E-05	-5,20E-06	-5,20E-06	5,20E-06
117	4,72	1280,64	2,67E-03	1,40E-04	4,50E-05	5,70E-03	5,53E-04	2,59E-03	4,94E-13	3,22E-02	4,76E-05	3,39E-04	1,23E-05	-1,49E-05	1,04E-05	-4,44E-10	7,43E-06	-2,97E-06	-2,97E-06	2,97E-06
126	4,35	1251,01	2,51E-03	1,32E-04	4,24E-05	5,38E-03	5,22E-04	2,45E-03	3,09E-13	3,04E-02	4,49E-05	3,20E-04	1,16E-05	-8,70E-06	6,19E-06	-2,32E-10	4,35E-06	-1,84E-06	-1,84E-06	1,84E-06
135	4,07	1227,58	2,40E-03	1,26E-04	4,05E-05	5,13E-03	4,98E-04	2,33E-03	2,10E-13	2,90E-02	4,29E-05	3,05E-04	1,10E-05	-5,61E-06	4,05E-06	-1,28E-10	2,80E-06	-1,24E-06	-1,24E-06	1,24E-06
144	3,86	1209,47	2,31E-03	1,21E-04	3,90E-05	4,94E-03	4,80E-04	2,25E-03	1,54E-13	2,79E-02	4,13E-05	2,94E-04	1,06E-05	-3,95E-06	2,88E-06	-7,35E-11	1,98E-06	-9,07E-07	-9,08E-07	9,08E-07
153	3,72	1196,03	2,25E-03	1,18E-04	3,79E-05	4,81E-03	4,66E-04	2,19E-03	1,22E-13	2,72E-02	4,02E-05	2,86E-04	1,03E-05	-3,03E-06	2,23E-06	-4,28E-11	1,52E-06	-7,14E-07	-7,14E-07	7,14E-07
162	3,62	1186,77	2,20E-03	1,16E-04	3,72E-05	4,71E-03	4,57E-04	2,14E-03	1,04E-13	2,67E-02	3,94E-05	2,81E-04	1,01E-05	-2,52E-06	1,86E-06	-2,39E-11	1,26E-06	-6,03E-07	-6,03E-07	6,03E-07
171	3,56	1181,34	2,18E-03	1,14E-04	3,68E-05	4,66E-03	4,52E-04	2,12E-03	9,41E-14	2,64E-02	3,89E-05	2,77E-04	1,00E-05	-2,25E-06	1,67E-06	-1,07E-11	1,13E-06	-5,45E-07	-5,45E-07	5,45E-07
180	3,54	1179,55	2,17E-03	1,14E-04	3,66E-05	4,64E-03	4,51E-04	2,11E-03	9,11E-14	2,63E-02	3,88E-05	2,76E-04	9,99E-06	-2,17E-06	1,61E-06	-4,25E-16	1,09E-06	-5,27E-07	-5,27E-07	5,27E-07

Teste: Razão de compressão 8, 50% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0002	0,0003	0,0013	0,0083	0,0005	0,0003	0,0056	0,0181	0,0001	0,0010	0,0003	0,036101	103,01	3431,69	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,5922	0,7635	3,7148	22,9456	1,3297	0,9511	15,4587	50,2263	0,3996	2,6561	0,9625	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	103,01	3431,69	2,14E-03	2,76E-03	1,34E-02	8,28E-02	4,80E-03	3,43E-03	5,58E-02	1,81E-01	1,44E-03	9,59E-03	3,47E-03	2,74E+07	-3,03E+06	-4,53E+07	8,99E+06	1,20E+07	-3,33E+07	3,33E+07
9	93,46	3337,66	1,99E-03	2,57E-03	1,25E-02	7,73E-02	9,24E-06	1,41E-08	2,33E-02	1,86E-01	2,12E-02	8,43E-09	1,22E-02	-1,17E-02	-2,45E-05	-1,18E-02	1,17E-02	1,17E-02	-1,72E-05	1,72E-05
18	72,53	3104,33	1,66E-03	2,15E-03	1,04E-02	6,45E-02	3,28E-06	3,48E-09	1,94E-02	1,55E-01	1,77E-02	1,74E-09	1,02E-02	-7,24E-03	-1,06E-05	-7,27E-03	7,26E-03	7,27E-03	-6,23E-06	6,23E-06
27	51,97	2822,32	1,31E-03	1,69E-03	8,23E-03	5,08E-02	7,62E-07	4,81E-10	1,53E-02	1,22E-01	1,39E-02	1,86E-10	8,01E-03	-2,10E-03	-1,85E-06	-2,11E-03	2,10E-03	2,11E-03	-8,34E-07	8,34E-07
36	36,59	2553,16	1,02E-03	1,32E-03	6,40E-03	3,96E-02	1,44E-07	4,96E-11	1,19E-02	9,51E-02	1,08E-02	1,43E-11	6,24E-03	-4,31E-04	-2,08E-07	-4,32E-04	4,31E-04	4,31E-04	-6,96E-08	6,96E-08
45	26,19	2320,57	8,04E-04	1,04E-03	5,04E-03	3,11E-02	2,55E-08	4,68E-12	9,39E-03	7,49E-02	8,54E-03	9,84E-13	4,91E-03	-7,76E-05	-2,00E-08	-7,76E-05	7,76E-05	7,76E-05	-4,87E-09	4,87E-09
54	19,33	2127,75	6,47E-04	8,34E-04	4,06E-03	2,51E-02	4,67E-09	4,55E-13	7,56E-03	6,03E-02	6,87E-03	7,02E-14	3,95E-03	-1,38E-05	-1,90E-09	-1,38E-05	1,38E-05	1,38E-05	-3,38E-10	3,38E-10
63	14,78	1970,43	5,34E-04	6,89E-04	3,35E-03	2,07E-02	9,28E-10	4,94E-14	6,24E-03	4,98E-02	5,67E-03	5,65E-15	3,26E-03	-2,59E-06	-1,95E-10	-2,59E-06	2,59E-06	2,59E-06	-2,57E-11	2,57E-11
72	11,69	1842,71	4,52E-04	5,82E-04	2,83E-03	1,75E-02	2,07E-10	6,23E-15	5,27E-03	4,21E-02	4,80E-03	5,38E-16	2,76E-03	-5,35E-07	-2,28E-11	-5,35E-07	5,35E-07	5,35E-07	-2,27E-12	2,27E-12
81	9,54	1739,10	3,91E-04	5,04E-04	2,45E-03	1,51E-02	5,24E-11	9,39E-16	4,56E-03	3,64E-02	4,15E-03	6,26E-17	2,39E-03	-1,23E-07	-3,13E-12	-1,23E-07	1,23E-07	1,23E-07	-2,41E-13	2,41E-13
90	8,02	1655,03	3,45E-04	4,45E-04	2,17E-03	1,34E-02	1,53E-11	1,71E-16	4,03E-03	3,22E-02	3,67E-03	9,03E-18	2,11E-03	-3,22E-08	-5,10E-13	-3,22E-08	3,22E-08	3,22E-08	-3,11E-14	3,11E-14
99	6,93	1586,84	3,11E-04	4,01E-04	1,95E-03	1,20E-02	5,14E-12	3,78E-17	3,63E-03	2,90E-02	3,30E-03	1,62E-18	1,90E-03	-9,54E-09	-9,94E-14	-9,54E-09	9,54E-09	9,54E-09	-4,92E-15	4,92E-15
108	6,12	1531,64	2,85E-04	3,67E-04	1,78E-03	1,10E-02	1,99E-12	1,01E-17	3,32E-03	2,65E-02	3,02E-03	3,63E-19	1,74E-03	-3,20E-09	-2,31E-14	-3,20E-09	3,20E-09	3,20E-09	-9,54E-16	9,54E-16
117	5,52	1487,15	2,64E-04	3,41E-04	1,66E-03	1,02E-02	8,80E-13	3,27E-18	3,09E-03	2,46E-02	2,81E-03	1,00E-19	1,62E-03	-1,21E-09	-6,36E-15	-1,21E-09	1,21E-09	1,21E-09	-2,25E-16	2,25E-16
126	5,07	1451,57	2,49E-04	3,21E-04	1,56E-03	9,64E-03	4,43E-13	1,26E-18	2,90E-03	2,32E-02	2,64E-03	3,40E-20	1,52E-03	-5,07E-10	-2,05E-15	-5,07E-10	5,07E-10	5,07E-10	-6,34E-17	6,34E-17
135	4,74	1423,51	2,37E-04	3,05E-04	1,49E-03	9,18E-03	2,52E-13	5,77E-19	2,77E-03	2,21E-02	2,52E-03	1,39E-20	1,45E-03	-2,34E-10	-7,60E-16	-2,34E-10	2,34E-10	2,34E-10	-2,11E-17	2,11E-17
144	4,49	1401,87	2,28E-04	2,94E-04	1,43E-03	8,84E-03	1,61E-13	3,09E-19	2,66E-03	2,12E-02	2,42E-03	6,84E-21	1,39E-03	-1,17E-10	-3,18E-16	-1,17E-10	1,17E-10	1,17E-10	-8,11E-18	8,11E-18
153	4,31	1385,83	2,22E-04	2,86E-04	1,39E-03	8,58E-03	1,14E-13	1,92E-19	2,59E-03	2,06E-02	2,35E-03	3,98E-21	1,35E-03	-6,10E-11	-1,46E-16	-6,10E-11	6,10E-11	6,10E-11	-3,47E-18	3,47E-18
162	4,19	1374,78	2,17E-04	2,80E-04	1,36E-03	8,41E-03	8,98E-14	1,37E-19	2,54E-03	2,02E-02	2,31E-03	2,72E-21	1,33E-03	-3,15E-11	-6,85E-17	-3,15E-11	3,15E-11	3,15E-11	-1,56E-18	1,56E-18
171	4,12	1368,31	2,15E-04	2,77E-04	1,35E-03	8,32E-03	7,79E-14	1,13E-19	2,51E-03	2,00E-02	2,28E-03	2,17E-21	1,31E-03	-1,35E-11	-2,79E-17	-1,35E-11	1,35E-11	1,35E-11	-6,17E-19	6,17E-19
180	4,10	1366,18	2,14E-04	2,76E-04	1,34E-03	8,28E-03	7,43E-14	1,06E-19	2,50E-03	1,99E-02	2,27E-03	2,02E-21	1,31E-03	-3,73E-16	-2,66E-20	-3,73E-16	3,73E-16	3,73E-16	-1,91E-23	1,91E-23

Teste: Razão de compressão 10, 0% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0007	0,0009	0,0012	0,0073	0,0006	0,0004	0,0019	0,0216	0,0002	0,0010	0,0004	0,0361	104,49	3481,01	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	1,8392	2,3757	3,2390	20,1205	1,7227	1,2249	5,1601	59,9499	0,5087	2,8631	0,9963	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	104,49	3481,01	6,64E-03	8,58E-03	1,17E-02	7,26E-02	6,22E-03	4,42E-03	1,86E-02	2,16E-01	1,84E-03	1,03E-02	3,60E-03	9,46E+06	-1,35E+06	-1,73E+07	3,90E+06	5,24E+06	-1,20E+07	1,20E+07
9	94,81	3385,62	6,19E-03	8,00E-03	1,09E-02	6,78E-02	4,72E-03	2,94E-03	3,48E-05	2,11E-01	1,21E-02	2,70E-03	1,03E-02	-1,12E+00	6,20E-01	-3,41E-02	5,76E-01	-4,36E-02	-7,78E-02	7,78E-02
18	73,57	3148,95	5,17E-03	6,68E-03	9,10E-03	5,65E-02	3,32E-03	2,82E-03	1,48E-05	1,76E-01	1,01E-02	2,19E-03	8,65E-03	-1,46E+00	8,99E-01	-2,52E-02	7,44E-01	-1,55E-01	-1,80E-01	1,80E-01
27	52,71	2862,89	4,07E-03	5,26E-03	7,17E-03	4,46E-02	2,01E-03	2,61E-03	4,51E-06	1,39E-01	7,84E-03	1,63E-03	6,92E-03	-1,18E+00	8,32E-01	-9,48E-03	5,96E-01	-2,36E-01	-2,46E-01	2,46E-01
36	37,12	2589,86	3,17E-03	4,09E-03	5,58E-03	3,47E-02	1,15E-03	2,35E-03	1,18E-06	1,09E-01	6,00E-03	1,16E-03	5,49E-03	-7,50E-01	5,99E-01	-2,67E-03	3,76E-01	-2,23E-01	-2,26E-01	2,26E-01
45	26,57	2353,92	2,50E-03	3,23E-03	4,40E-03	2,73E-02	6,53E-04	2,06E-03	2,98E-07	8,57E-02	4,64E-03	8,32E-04	4,41E-03	-4,06E-01	3,45E-01	-6,79E-04	2,03E-01	-1,42E-01	-1,42E-01	1,42E-01
54	19,61	2158,33	2,01E-03	2,60E-03	3,54E-03	2,20E-02	3,96E-04	1,77E-03	7,85E-08	6,91E-02	3,69E-03	6,25E-04	3,59E-03	-1,96E-01	1,60E-01	-1,71E-04	9,79E-02	-6,21E-02	-6,23E-02	6,23E-02
63	14,99	1998,75	1,66E-03	2,14E-03	2,92E-03	1,81E-02	2,66E-04	1,50E-03	2,28E-08	5,70E-02	3,03E-03	4,99E-04	2,98E-03	-8,68E-02	6,49E-02	-4,54E-05	4,34E-02	-2,14E-02	-2,15E-02	2,15E-02
72	11,85	1869,19	1,40E-03	1,81E-03	2,47E-03	1,53E-02	1,99E-04	1,29E-03	7,55E-09	4,83E-02	2,56E-03	4,16E-04	2,53E-03	-3,68E-02	2,56E-02	-1,33E-05	1,84E-02	-7,21E-03	-7,23E-03	7,23E-03
81	9,68	1764,09	1,21E-03	1,57E-03	2,14E-03	1,33E-02	1,61E-04	1,13E-03	2,87E-09	4,18E-02	2,21E-03	3,58E-04	2,19E-03	-1,56E-02	1,06E-02	-4,41E-06	7,82E-03	-2,76E-03	-2,77E-03	2,77E-03
90	8,14	1678,82	1,07E-03	1,39E-03	1,89E-03	1,17E-02	1,37E-04	9,98E-04	1,24E-09	3,69E-02	1,95E-03	3,15E-04	1,94E-03	-6,93E-03	4,71E-03	-1,66E-06	3,47E-03	-1,24E-03	-1,24E-03	1,24E-03
99	7,03	1609,65	9,65E-04	1,25E-03	1,70E-03	1,06E-02	1,21E-04	9,00E-04	5,99E-10	3,32E-02	1,76E-03	2,83E-04	1,74E-03	-3,29E-03	2,28E-03	-6,93E-07	1,65E-03	-6,36E-04	-6,36E-04	6,36E-04
108	6,21	1553,66	8,84E-04	1,14E-03	1,56E-03	9,67E-03	1,10E-04	8,25E-04	3,21E-10	3,04E-02	1,61E-03	2,59E-04	1,60E-03	-1,70E-03	1,21E-03	-3,18E-07	8,50E-04	-3,61E-04	-3,61E-04	3,61E-04
117	5,60	1508,52	8,21E-04	1,06E-03	1,45E-03	8,98E-03	1,01E-04	7,66E-04	1,89E-10	2,82E-02	1,49E-03	2,40E-04	1,48E-03	-9,57E-04	7,01E-04	-1,58E-07	4,79E-04	-2,23E-04	-2,23E-04	2,23E-04
126	5,14	1472,44	7,73E-04	9,98E-04	1,36E-03	8,45E-03	9,48E-05	7,22E-04	1,21E-10	2,66E-02	1,40E-03	2,26E-04	1,40E-03	-5,88E-04	4,43E-04	-8,43E-08	2,94E-04	-1,49E-04	-1,49E-04	1,49E-04
135	4,80	1443,97	7,36E-04	9,51E-04	1,30E-03	8,05E-03	9,01E-05	6,87E-04	8,41E-11	2,53E-02	1,34E-03	2,15E-04	1,33E-03	-3,94E-04	3,03E-04	-4,75E-08	1,97E-04	-1,06E-04	-1,06E-04	1,06E-04
144	4,55	1422,02	7,08E-04	9,15E-04	1,25E-03	7,75E-03	8,65E-05	6,62E-04	6,30E-11	2,44E-02	1,29E-03	2,07E-04	1,28E-03	-2,85E-04	2,24E-04	-2,77E-08	1,43E-04	-8,13E-05	-8,13E-05	8,13E-05
153	4,37	1405,75	6,88E-04	8,89E-04	1,21E-03	7,53E-03	8,40E-05	6,43E-04	5,05E-11	2,37E-02	1,25E-03	2,01E-04	1,24E-03	-2,23E-04	1,78E-04	-1,64E-08	1,12E-04	-6,63E-05	-6,63E-05	6,63E-05
162	4,25	1394,54	6,74E-04	8,71E-04	1,19E-03	7,38E-03	8,22E-05	6,30E-04	4,33E-11	2,32E-02	1,23E-03	1,97E-04	1,22E-03	-1,88E-04	1,51E-04	-9,24E-09	9,40E-05	-5,74E-05	-5,74E-05	5,74E-05
171	4,18	1387,98	6,67E-04	8,61E-04	1,17E-03	7,29E-03	8,12E-05	6,23E-04	3,95E-11	2,29E-02	1,21E-03	1,95E-04	1,20E-03	-1,70E-04	1,38E-04	-4,20E-09	8,48E-05	-5,27E-05	-5,27E-05	5,27E-05
180	4,16	1385,82	6,64E-04	8,58E-04	1,17E-03	7,26E-03	8,08E-05	6,21E-04	3,83E-11	2,28E-02	1,21E-03	1,94E-04	1,20E-03	-1,64E-04	1,33E-04	-5,57E-11	8,19E-05	-5,12E-05	-5,12E-05	5,12E-05

Teste: Razão de compressão 10, 0% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0011	0,0015	0,0010	0,0061	0,0008	0,0006	0,0000	0,0243	0,0002	0,0011	0,0004	0,0372	106,08	3534,03	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,0434	4,0315	2,7039	16,5303	2,0962	1,5132	0,0000	65,4563	0,6440	2,9595	1,0217	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	106,08	3534,03	1,10E-02	1,46E-02	9,76E-03	5,97E-02	7,57E-03	5,46E-03	0,0E+00	2,36E-01	2,32E-03	1,07E-02	3,69E-03	-3,30E+03	6,53E+02	7,11E+03	-1,90E+03	-2,56E+03	4,55E+03	-4,55E+03
9	96,25	3437,19	1,02E-02	1,36E-02	9,11E-03	5,57E-02	6,80E-03	5,30E-03	5,18E-06	2,21E-01	2,10E-03	9,90E-03	3,51E-03	-1,68E+00	9,18E-01	-5,21E-03	8,41E-01	-7,70E-02	-8,22E-02	8,22E-02
18	74,69	3196,91	8,55E-03	1,13E-02	7,60E-03	4,64E-02	4,75E-03	4,93E-03	2,19E-06	1,84E-01	1,70E-03	8,20E-03	2,98E-03	-2,15E+00	1,23E+00	-3,84E-03	1,08E+00	-1,54E-01	-1,58E-01	1,58E-01
27	53,52	2906,49	6,74E-03	8,93E-03	5,99E-03	3,66E-02	2,88E-03	4,40E-03	6,55E-07	1,46E-01	1,26E-03	6,39E-03	2,43E-03	-1,65E+00	9,97E-01	-1,43E-03	8,25E-01	-1,72E-01	-1,73E-01	1,73E-01
36	37,68	2629,30	5,25E-03	6,95E-03	4,66E-03	2,85E-02	1,68E-03	3,77E-03	1,67E-07	1,14E-01	9,17E-04	4,91E-03	1,95E-03	-9,34E-01	5,80E-01	-3,88E-04	4,67E-01	-1,13E-01	-1,13E-01	1,13E-01
45	26,97	2389,77	4,13E-03	5,47E-03	3,67E-03	2,24E-02	1,04E-03	3,14E-03	4,25E-08	8,98E-02	6,89E-04	3,83E-03	1,57E-03	-4,28E-01	2,57E-01	-9,53E-05	2,14E-01	-4,32E-02	-4,33E-02	4,33E-02
54	19,91	2191,20	3,33E-03	4,41E-03	2,95E-03	1,81E-02	7,09E-04	2,60E-03	1,18E-08	7,23E-02	5,44E-04	3,07E-03	1,28E-03	-1,71E-01	9,70E-02	-2,42E-05	8,56E-02	-1,13E-02	-1,13E-02	1,13E-02
63	15,22	2029,19	2,74E-03	3,64E-03	2,44E-03	1,49E-02	5,36E-04	2,18E-03	3,72E-09	5,97E-02	4,46E-04	2,53E-03	1,06E-03	-6,40E-02	3,51E-02	-6,82E-06	3,20E-02	-3,12E-03	-3,13E-03	3,13E-03
72	12,04	1897,66	2,32E-03	3,08E-03	2,06E-03	1,26E-02	4,35E-04	1,85E-03	1,33E-09	5,05E-02	3,77E-04	2,14E-03	8,94E-04	-2,38E-02	1,32E-02	-2,18E-06	1,19E-02	-1,27E-03	-1,28E-03	1,28E-03
81	9,83	1790,96	2,01E-03	2,66E-03	1,78E-03	1,09E-02	3,69E-04	1,61E-03	5,32E-10	4,37E-02	3,25E-04	1,85E-03	7,74E-04	-9,24E-03	5,29E-03	-7,79E-07	4,62E-03	-6,73E-04	-6,74E-04	6,74E-04
90	8,26	1704,39	1,77E-03	2,35E-03	1,58E-03	9,64E-03	3,23E-04	1,42E-03	2,37E-10	3,86E-02	2,87E-04	1,64E-03	6,84E-04	-3,87E-03	2,32E-03	-3,07E-07	1,93E-03	-3,85E-04	-3,85E-04	3,85E-04
99	7,13	1634,17	1,60E-03	2,12E-03	1,42E-03	8,68E-03	2,90E-04	1,28E-03	1,16E-10	3,48E-02	2,58E-04	1,47E-03	6,16E-04	-1,77E-03	1,11E-03	-1,32E-07	8,85E-04	-2,28E-04	-2,28E-04	2,28E-04
108	6,30	1577,32	1,46E-03	1,94E-03	1,30E-03	7,94E-03	2,65E-04	1,17E-03	6,29E-11	3,18E-02	2,36E-04	1,35E-03	5,64E-04	-8,92E-04	5,87E-04	-6,17E-08	4,46E-04	-1,41E-04	-1,41E-04	1,41E-04
117	5,68	1531,50	1,36E-03	1,80E-03	1,21E-03	7,38E-03	2,46E-04	1,09E-03	3,71E-11	2,96E-02	2,20E-04	1,25E-03	5,24E-04	-4,94E-04	3,39E-04	-3,10E-08	2,47E-04	-9,18E-05	-9,18E-05	9,18E-05
126	5,22	1494,86	1,28E-03	1,69E-03	1,14E-03	6,94E-03	2,31E-04	1,02E-03	2,39E-11	2,78E-02	2,07E-04	1,18E-03	4,93E-04	-3,01E-04	2,14E-04	-1,66E-08	1,50E-04	-6,32E-05	-6,32E-05	6,32E-05
135	4,88	1465,96	1,22E-03	1,61E-03	1,08E-03	6,61E-03	2,20E-04	9,76E-04	1,66E-11	2,65E-02	1,97E-04	1,12E-03	4,70E-04	-2,00E-04	1,46E-04	-9,38E-09	9,99E-05	-4,62E-05	-4,62E-05	4,62E-05
144	4,62	1443,68	1,17E-03	1,55E-03	1,04E-03	6,37E-03	2,11E-04	9,39E-04	1,25E-11	2,55E-02	1,89E-04	1,08E-03	4,52E-04	-1,44E-04	1,08E-04	-5,49E-09	7,21E-05	-3,59E-05	-3,59E-05	3,59E-05
153	4,44	1427,16	1,14E-03	1,51E-03	1,01E-03	6,18E-03	2,05E-04	9,12E-04	1,00E-11	2,48E-02	1,84E-04	1,05E-03	4,39E-04	-1,13E-04	8,58E-05	-3,25E-09	5,63E-05	-2,95E-05	-2,95E-05	2,95E-05
162	4,32	1415,78	1,12E-03	1,48E-03	9,92E-04	6,06E-03	2,01E-04	8,94E-04	8,58E-12	2,43E-02	1,80E-04	1,03E-03	4,30E-04	-9,46E-05	7,30E-05	-1,83E-09	4,73E-05	-2,57E-05	-2,57E-05	2,57E-05
171	4,25	1409,12	1,10E-03	1,46E-03	9,80E-04	5,99E-03	1,99E-04	8,84E-04	7,84E-12	2,40E-02	1,78E-04	1,02E-03	4,25E-04	-8,53E-05	6,63E-05	-8,28E-10	4,26E-05	-2,37E-05	-2,37E-05	2,37E-05
180	4,22	1406,92	1,10E-03	1,46E-03	9,76E-04	5,97E-03	1,98E-04	8,81E-04	7,60E-12	2,39E-02	1,78E-04	1,01E-03	4,24E-04	-8,24E-05	6,43E-05	-2,55E-12	4,12E-05	-2,31E-05	-2,31E-05	2,31E-05

Teste: Razão de compressão 10, 0% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0013	0,0018	0,0009	0,0057	0,0008	0,0006	0,0000	0,0250	0,0003	0,0011	0,0004	0,0380	106,69	3554,31	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,4314	4,6158	2,4936	15,0593	2,2119	1,6164	0,0000	65,8929	0,6979	2,9570	1,0235	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	106,69	3554,31	1,24E-02	1,67E-02	9,00E-03	5,44E-02	7,99E-03	5,84E-03	0,0E+00	2,38E-01	2,52E-03	1,07E-02	3,70E-03	-3,57E+03	7,77E+02	7,99E+03	-2,21E+03	-2,99E+03	5,01E+03	-5,01E+03
9	96,80	3456,92	1,16E-02	1,55E-02	8,40E-03	5,07E-02	7,17E-03	5,65E-03	5,71E-06	2,22E-01	2,28E-03	9,89E-03	3,52E-03	-1,77E+00	9,67E-01	-5,70E-03	8,85E-01	-8,20E-02	-8,77E-02	8,77E-02
18	75,12	3215,26	9,64E-03	1,30E-02	7,01E-03	4,23E-02	5,01E-03	5,26E-03	2,43E-06	1,86E-01	1,84E-03	8,19E-03	2,99E-03	-2,27E+00	1,30E+00	-4,23E-03	1,14E+00	-1,64E-01	-1,68E-01	1,68E-01
27	53,82	2923,17	7,60E-03	1,02E-02	5,52E-03	3,33E-02	3,04E-03	4,68E-03	7,31E-07	1,47E-01	1,37E-03	6,37E-03	2,44E-03	-1,75E+00	1,06E+00	-1,58E-03	8,75E-01	-1,86E-01	-1,87E-01	1,87E-01
36	37,90	2644,39	5,91E-03	7,96E-03	4,30E-03	2,60E-02	1,77E-03	4,01E-03	1,88E-07	1,15E-01	9,96E-04	4,89E-03	1,97E-03	-1,00E+00	6,28E-01	-4,34E-04	5,01E-01	-1,27E-01	-1,28E-01	1,28E-01
45	27,13	2403,49	4,66E-03	6,27E-03	3,39E-03	2,04E-02	1,08E-03	3,36E-03	4,78E-08	9,04E-02	7,46E-04	3,81E-03	1,59E-03	-4,65E-01	2,85E-01	-1,07E-04	2,33E-01	-5,23E-02	-5,24E-02	5,24E-02
54	20,02	2203,78	3,75E-03	5,04E-03	2,73E-03	1,65E-02	7,34E-04	2,78E-03	1,33E-08	7,29E-02	5,87E-04	3,06E-03	1,29E-03	-1,89E-01	1,09E-01	-2,72E-05	9,45E-02	-1,50E-02	-1,50E-02	1,50E-02
63	15,30	2040,83	3,09E-03	4,16E-03	2,25E-03	1,36E-02	5,52E-04	2,33E-03	4,19E-09	6,02E-02	4,81E-04	2,52E-03	1,07E-03	-7,15E-02	4,01E-02	-7,68E-06	3,58E-02	-4,36E-03	-4,37E-03	4,37E-03
72	12,10	1908,55	2,62E-03	3,52E-03	1,90E-03	1,15E-02	4,46E-04	1,98E-03	1,50E-09	5,09E-02	4,05E-04	2,13E-03	9,08E-04	-2,69E-02	1,52E-02	-2,45E-06	1,35E-02	-1,74E-03	-1,74E-03	1,74E-03
81	9,89	1801,24	2,26E-03	3,05E-03	1,65E-03	9,94E-03	3,78E-04	1,72E-03	6,02E-10	4,40E-02	3,50E-04	1,84E-03	7,86E-04	-1,05E-02	6,15E-03	-8,78E-07	5,27E-03	-8,78E-04	-8,79E-04	8,79E-04
90	8,31	1714,17	2,00E-03	2,69E-03	1,45E-03	8,78E-03	3,30E-04	1,52E-03	2,69E-10	3,89E-02	3,09E-04	1,63E-03	6,95E-04	-4,45E-03	2,71E-03	-3,47E-07	2,22E-03	-4,87E-04	-4,88E-04	4,88E-04
99	7,17	1643,54	1,80E-03	2,42E-03	1,31E-03	7,91E-03	2,96E-04	1,37E-03	1,33E-10	3,50E-02	2,78E-04	1,46E-03	6,26E-04	-2,05E-03	1,31E-03	-1,50E-07	1,02E-03	-2,84E-04	-2,85E-04	2,85E-04
108	6,34	1586,37	1,65E-03	2,22E-03	1,20E-03	7,24E-03	2,70E-04	1,25E-03	7,18E-11	3,21E-02	2,54E-04	1,34E-03	5,73E-04	-1,04E-03	6,93E-04	-7,01E-08	5,18E-04	-1,74E-04	-1,74E-04	1,74E-04
117	5,72	1540,29	1,53E-03	2,06E-03	1,11E-03	6,72E-03	2,51E-04	1,16E-03	4,26E-11	2,98E-02	2,36E-04	1,24E-03	5,32E-04	-5,77E-04	4,01E-04	-3,53E-08	2,89E-04	-1,13E-04	-1,13E-04	1,13E-04
126	5,25	1503,44	1,44E-03	1,94E-03	1,05E-03	6,33E-03	2,36E-04	1,10E-03	2,74E-11	2,80E-02	2,22E-04	1,17E-03	5,01E-04	-3,52E-04	2,54E-04	-1,90E-08	1,76E-04	-7,75E-05	-7,75E-05	7,75E-05
135	4,90	1474,37	1,37E-03	1,85E-03	9,98E-04	6,03E-03	2,24E-04	1,04E-03	1,91E-11	2,67E-02	2,12E-04	1,12E-03	4,77E-04	-2,34E-04	1,74E-04	-1,07E-08	1,17E-04	-5,66E-05	-5,66E-05	5,66E-05
144	4,65	1451,96	1,32E-03	1,78E-03	9,60E-04	5,80E-03	2,16E-04	1,01E-03	1,44E-11	2,57E-02	2,04E-04	1,07E-03	4,59E-04	-1,70E-04	1,29E-04	-6,29E-09	8,48E-05	-4,39E-05	-4,39E-05	4,39E-05
153	4,47	1435,35	1,28E-03	1,73E-03	9,33E-04	5,63E-03	2,10E-04	9,77E-04	1,16E-11	2,50E-02	1,98E-04	1,04E-03	4,46E-04	-1,33E-04	1,02E-04	-3,72E-09	6,63E-05	-3,61E-05	-3,61E-05	3,61E-05
162	4,34	1423,90	1,26E-03	1,69E-03	9,14E-04	5,52E-03	2,05E-04	9,58E-04	9,91E-12	2,45E-02	1,94E-04	1,02E-03	4,37E-04	-1,11E-04	8,72E-05	-2,10E-09	5,57E-05	-3,15E-05	-3,15E-05	3,15E-05
171	4,27	1417,20	1,24E-03	1,67E-03	9,04E-04	5,46E-03	2,03E-04	9,46E-04	9,06E-12	2,42E-02	1,92E-04	1,01E-03	4,32E-04	-1,01E-04	7,93E-05	-9,52E-10	5,03E-05	-2,90E-05	-2,90E-05	2,90E-05
180	4,25	1415,00	1,24E-03	1,67E-03	9,00E-04	5,44E-03	2,02E-04	9,43E-04	8,79E-12	2,41E-02	1,91E-04	1,01E-03	4,31E-04	-9,72E-05	7,68E-05	-3,36E-12	4,86E-05	-2,82E-05	-2,82E-05	2,82E-05

Teste: Razão de compressão 10, 0% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0014	0,0019	0,0009	0,0056	0,0009	0,0006	0,0000	0,0253	0,0003	0,0011	0,0004	0,0383	106,92	3562,06	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,5712	4,8369	2,4185	14,5101	2,2567	1,6569	0,0000	66,0520	0,7186	2,9558	1,0234	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	106,92	3562,06	1,29E-02	1,75E-02	8,73E-03	5,24E-02	8,15E-03	5,98E-03	0,00E+00	2,38E-01	2,59E-03	1,07E-02	3,69E-03	-3,67E+03	8,28E+02	8,35E+03	-2,34E+03	-3,16E+03	5,18E+03	-5,18E+03
9	97,01	3464,45	1,20E-02	1,63E-02	8,15E-03	4,89E-02	7,32E-03	5,79E-03	5,92E-06	2,23E-01	2,35E-03	9,89E-03	3,52E-03	-1,80E+00	9,87E-01	-5,90E-03	9,03E-01	-8,39E-02	-8,98E-02	8,98E-02
18	75,28	3222,27	1,00E-02	1,36E-02	6,80E-03	4,08E-02	5,12E-03	5,39E-03	2,52E-06	1,86E-01	1,90E-03	8,19E-03	2,99E-03	-2,31E+00	1,33E+00	-4,38E-03	1,16E+00	-1,68E-01	-1,72E-01	1,72E-01
27	53,94	2929,54	7,91E-03	1,07E-02	5,36E-03	3,21E-02	3,10E-03	4,79E-03	7,61E-07	1,47E-01	1,41E-03	6,37E-03	2,44E-03	-1,79E+00	1,08E+00	-1,64E-03	8,94E-01	-1,91E-01	-1,92E-01	1,92E-01
36	37,98	2650,16	6,16E-03	8,34E-03	4,17E-03	2,50E-02	1,80E-03	4,11E-03	1,96E-07	1,15E-01	1,03E-03	4,88E-03	1,98E-03	-1,03E+00	6,47E-01	-4,52E-04	5,14E-01	-1,33E-01	-1,33E-01	1,33E-01
45	27,19	2408,73	4,85E-03	6,57E-03	3,28E-03	1,97E-02	1,10E-03	3,44E-03	5,00E-08	9,06E-02	7,68E-04	3,80E-03	1,60E-03	-4,80E-01	2,96E-01	-1,12E-04	2,40E-01	-5,59E-02	-5,60E-02	5,60E-02
54	20,07	2208,58	3,90E-03	5,29E-03	2,64E-03	1,59E-02	7,44E-04	2,85E-03	1,39E-08	7,30E-02	6,04E-04	3,05E-03	1,30E-03	-1,96E-01	1,14E-01	-2,85E-05	9,80E-02	-1,65E-02	-1,65E-02	1,65E-02
63	15,34	2045,28	3,22E-03	4,36E-03	2,18E-03	1,31E-02	5,58E-04	2,39E-03	4,38E-09	6,03E-02	4,94E-04	2,51E-03	1,08E-03	-7,46E-02	4,22E-02	-8,03E-06	3,73E-02	-4,89E-03	-4,90E-03	4,90E-03
72	12,13	1912,71	2,72E-03	3,69E-03	1,84E-03	1,11E-02	4,50E-04	2,03E-03	1,57E-09	5,10E-02	4,16E-04	2,12E-03	9,12E-04	-2,82E-02	1,60E-02	-2,57E-06	1,41E-02	-1,94E-03	-1,94E-03	1,94E-03
81	9,91	1805,17	2,36E-03	3,19E-03	1,60E-03	9,58E-03	3,81E-04	1,76E-03	6,31E-10	4,42E-02	3,60E-04	1,84E-03	7,90E-04	-1,11E-02	6,51E-03	-9,18E-07	5,54E-03	-9,65E-04	-9,66E-04	9,66E-04
90	8,33	1717,91	2,08E-03	2,82E-03	1,41E-03	8,46E-03	3,33E-04	1,56E-03	2,82E-10	3,90E-02	3,17E-04	1,62E-03	6,98E-04	-4,69E-03	2,87E-03	-3,63E-07	2,34E-03	-5,31E-04	-5,31E-04	5,31E-04
99	7,19	1647,13	1,87E-03	2,54E-03	1,27E-03	7,62E-03	2,98E-04	1,40E-03	1,39E-10	3,51E-02	2,86E-04	1,46E-03	6,29E-04	-2,16E-03	1,39E-03	-1,57E-07	1,08E-03	-3,08E-04	-3,08E-04	3,08E-04
108	6,35	1589,83	1,72E-03	2,32E-03	1,16E-03	6,97E-03	2,72E-04	1,29E-03	7,55E-11	3,21E-02	2,61E-04	1,34E-03	5,76E-04	-1,10E-03	7,37E-04	-7,36E-08	5,48E-04	-1,88E-04	-1,88E-04	1,88E-04
117	5,73	1543,65	1,59E-03	2,16E-03	1,08E-03	6,48E-03	2,53E-04	1,19E-03	4,48E-11	2,99E-02	2,43E-04	1,24E-03	5,35E-04	-6,11E-04	4,27E-04	-3,71E-08	3,06E-04	-1,22E-04	-1,22E-04	1,22E-04
126	5,26	1506,72	1,50E-03	2,03E-03	1,02E-03	6,10E-03	2,38E-04	1,12E-03	2,89E-11	2,81E-02	2,28E-04	1,17E-03	5,03E-04	-3,73E-04	2,70E-04	-1,99E-08	1,87E-04	-8,36E-05	-8,36E-05	8,36E-05
135	4,92	1477,59	1,43E-03	1,94E-03	9,68E-04	5,81E-03	2,26E-04	1,07E-03	2,02E-11	2,68E-02	2,17E-04	1,11E-03	4,80E-04	-2,49E-04	1,85E-04	-1,13E-08	1,24E-04	-6,10E-05	-6,10E-05	6,10E-05
144	4,66	1455,13	1,38E-03	1,86E-03	9,31E-04	5,59E-03	2,18E-04	1,03E-03	1,52E-11	2,58E-02	2,09E-04	1,07E-03	4,62E-04	-1,80E-04	1,37E-04	-6,62E-09	9,01E-05	-4,73E-05	-4,73E-05	4,73E-05
153	4,47	1438,48	1,34E-03	1,81E-03	9,05E-04	5,43E-03	2,11E-04	1,00E-03	1,22E-11	2,50E-02	2,03E-04	1,04E-03	4,48E-04	-1,41E-04	1,09E-04	-3,92E-09	7,04E-05	-3,89E-05	-3,89E-05	3,89E-05
162	4,35	1427,01	1,31E-03	1,77E-03	8,87E-04	5,32E-03	2,07E-04	9,82E-04	1,05E-11	2,45E-02	1,99E-04	1,02E-03	4,40E-04	-1,19E-04	9,32E-05	-2,21E-09	5,93E-05	-3,39E-05	-3,39E-05	3,39E-05
171	4,28	1420,29	1,29E-03	1,75E-03	8,76E-04	5,26E-03	2,05E-04	9,71E-04	9,56E-12	2,42E-02	1,97E-04	1,01E-03	4,34E-04	-1,07E-04	8,47E-05	-1,00E-09	5,35E-05	-3,12E-05	-3,12E-05	3,12E-05
180	4,26	1418,08	1,29E-03	1,75E-03	8,73E-04	5,24E-03	2,04E-04	9,67E-04	9,28E-12	2,42E-02	1,96E-04	1,00E-03	4,33E-04	-1,03E-04	8,21E-05	-3,73E-12	5,17E-05	-3,04E-05	-3,04E-05	3,04E-05

Teste: Razão de compressão 10, 0% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0014	0,0019	0,0009	0,0054	0,0009	0,0007	0,0000	0,0255	0,0003	0,0011	0,0004	0,0385	107,12	3568,68	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,6866	5,0253	2,3542	14,0499	2,2950	1,6915	0,0000	66,1859	0,7362	2,9528	1,0224	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	107,12	3568,68	1,33E-02	1,81E-02	8,50E-03	5,07E-02	8,29E-03	6,11E-03	0,0E+00	2,39E-01	2,66E-03	1,07E-02	3,69E-03	-3,76E+03	8,74E+02	8,65E+03	-2,45E+03	-3,32E+03	5,33E+03	-5,33E+03
9	97,19	3470,89	1,24E-02	1,69E-02	7,93E-03	4,73E-02	7,44E-03	5,91E-03	6,10E-06	2,23E-01	2,40E-03	9,88E-03	3,51E-03	-1,83E+00	1,00E+00	-6,07E-03	9,18E-01	-8,54E-02	-9,14E-02	9,14E-02
18	75,42	3228,25	1,04E-02	1,41E-02	6,61E-03	3,95E-02	5,20E-03	5,50E-03	2,60E-06	1,87E-01	1,95E-03	8,18E-03	2,99E-03	-2,35E+00	1,35E+00	-4,51E-03	1,18E+00	-1,71E-01	-1,75E-01	1,75E-01
27	54,04	2934,99	8,16E-03	1,11E-02	5,21E-03	3,11E-02	3,16E-03	4,89E-03	7,87E-07	1,48E-01	1,45E-03	6,36E-03	2,44E-03	-1,82E+00	1,10E+00	-1,70E-03	9,10E-01	-1,95E-01	-1,96E-01	1,96E-01
36	38,05	2655,08	6,35E-03	8,66E-03	4,06E-03	2,42E-02	1,83E-03	4,19E-03	2,03E-07	1,15E-01	1,05E-03	4,87E-03	1,98E-03	-1,05E+00	6,62E-01	-4,68E-04	5,25E-01	-1,37E-01	-1,38E-01	1,38E-01
45	27,24	2413,20	5,00E-03	6,82E-03	3,20E-03	1,91E-02	1,12E-03	3,51E-03	5,19E-08	9,08E-02	7,87E-04	3,80E-03	1,60E-03	-4,93E-01	3,05E-01	-1,16E-04	2,46E-01	-5,90E-02	-5,91E-02	5,91E-02
54	20,11	2212,69	4,03E-03	5,49E-03	2,57E-03	1,54E-02	7,53E-04	2,91E-03	1,44E-08	7,32E-02	6,18E-04	3,04E-03	1,30E-03	-2,02E-01	1,19E-01	-2,96E-05	1,01E-01	-1,78E-02	-1,78E-02	1,78E-02
63	15,37	2049,08	3,32E-03	4,53E-03	2,12E-03	1,27E-02	5,63E-04	2,44E-03	4,55E-09	6,04E-02	5,05E-04	2,50E-03	1,08E-03	-7,72E-02	4,40E-02	-8,34E-06	3,86E-02	-5,36E-03	-5,37E-03	5,37E-03
72	12,15	1916,27	2,81E-03	3,83E-03	1,80E-03	1,07E-02	4,54E-04	2,07E-03	1,63E-09	5,11E-02	4,26E-04	2,12E-03	9,16E-04	-2,93E-02	1,68E-02	-2,66E-06	1,46E-02	-2,11E-03	-2,12E-03	2,12E-03
81	9,92	1808,52	2,43E-03	3,32E-03	1,55E-03	9,27E-03	3,84E-04	1,80E-03	6,56E-10	4,43E-02	3,68E-04	1,83E-03	7,93E-04	-1,16E-02	6,82E-03	-9,54E-07	5,78E-03	-1,04E-03	-1,04E-03	1,04E-03
90	8,34	1721,10	2,15E-03	2,93E-03	1,37E-03	8,19E-03	3,36E-04	1,59E-03	2,94E-10	3,91E-02	3,25E-04	1,62E-03	7,01E-04	-4,90E-03	3,02E-03	-3,77E-07	2,45E-03	-5,70E-04	-5,70E-04	5,70E-04
99	7,20	1650,19	1,94E-03	2,64E-03	1,24E-03	7,38E-03	3,00E-04	1,43E-03	1,45E-10	3,52E-02	2,92E-04	1,46E-03	6,31E-04	-2,26E-03	1,46E-03	-1,63E-07	1,13E-03	-3,29E-04	-3,30E-04	3,30E-04
108	6,36	1592,79	1,77E-03	2,41E-03	1,13E-03	6,75E-03	2,74E-04	1,31E-03	7,88E-11	3,22E-02	2,67E-04	1,33E-03	5,78E-04	-1,15E-03	7,76E-04	-7,66E-08	5,75E-04	-2,01E-04	-2,01E-04	2,01E-04
117	5,74	1546,52	1,65E-03	2,24E-03	1,05E-03	6,27E-03	2,54E-04	1,22E-03	4,68E-11	2,99E-02	2,48E-04	1,24E-03	5,37E-04	-6,42E-04	4,51E-04	-3,86E-08	3,21E-04	-1,30E-04	-1,30E-04	1,30E-04
126	5,27	1509,52	1,55E-03	2,11E-03	9,89E-04	5,90E-03	2,39E-04	1,15E-03	3,02E-11	2,82E-02	2,33E-04	1,16E-03	5,05E-04	-3,93E-04	2,85E-04	-2,08E-08	1,96E-04	-8,90E-05	-8,90E-05	8,90E-05
135	4,92	1480,34	1,47E-03	2,01E-03	9,42E-04	5,62E-03	2,28E-04	1,09E-03	2,11E-11	2,68E-02	2,22E-04	1,11E-03	4,81E-04	-2,62E-04	1,96E-04	-1,18E-08	1,31E-04	-6,49E-05	-6,49E-05	6,49E-05
144	4,67	1457,83	1,42E-03	1,94E-03	9,07E-04	5,41E-03	2,19E-04	1,05E-03	1,58E-11	2,58E-02	2,14E-04	1,07E-03	4,63E-04	-1,90E-04	1,45E-04	-6,91E-09	9,48E-05	-5,03E-05	-5,03E-05	5,03E-05
153	4,48	1441,15	1,38E-03	1,88E-03	8,81E-04	5,26E-03	2,13E-04	1,02E-03	1,28E-11	2,51E-02	2,08E-04	1,04E-03	4,50E-04	-1,48E-04	1,16E-04	-4,09E-09	7,42E-05	-4,14E-05	-4,14E-05	4,14E-05
162	4,36	1429,66	1,35E-03	1,84E-03	8,63E-04	5,15E-03	2,08E-04	1,00E-03	1,10E-11	2,46E-02	2,04E-04	1,02E-03	4,41E-04	-1,25E-04	9,85E-05	-2,31E-09	6,24E-05	-3,61E-05	-3,61E-05	3,61E-05
171	4,29	1422,93	1,34E-03	1,82E-03	8,53E-04	5,09E-03	2,06E-04	9,92E-04	1,00E-11	2,43E-02	2,01E-04	1,00E-03	4,36E-04	-1,13E-04	8,96E-05	-1,05E-09	5,64E-05	-3,32E-05	-3,32E-05	3,32E-05
180	4,26	1420,72	1,33E-03	1,81E-03	8,50E-04	5,07E-03	2,05E-04	9,88E-04	9,71E-12	2,42E-02	2,01E-04	1,00E-03	4,34E-04	-1,09E-04	8,68E-05	-4,08E-12	5,45E-05	-3,23E-05	-3,23E-05	3,23E-05

Teste: Razão de compressão 10, 0% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0003	0,0001	0,0004	0,0082	0,0005	0,0008	0,0061	0,0188	0,0001	0,0007	0,0001	0,0361	93,68	3120,97	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,8755	0,3070	1,0644	22,7050	1,4824	2,1259	16,8846	52,1734	0,2562	1,8833	0,2423	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	93,68	3120,97	3,16E-03	1,11E-03	3,84E-03	8,20E-02	5,35E-03	7,67E-03	6,10E-02	1,88E-01	9,25E-04	6,80E-03	8,75E-04	2,05E+07	-5,87E+06	-4,22E+07	1,08E+07	1,67E+07	-2,55E+07	2,55E+07
9	85,00	3035,45	2,95E-03	1,03E-03	3,58E-03	7,65E-02	3,65E-06	4,03E-09	2,49E-02	1,94E-01	2,65E-02	8,94E-10	7,16E-03	-5,09E-03	-7,72E-06	-5,11E-03	5,10E-03	5,10E-03	-2,01E-06	2,01E-06
18	65,96	2823,25	2,46E-03	8,63E-04	2,99E-03	6,38E-02	1,19E-06	8,82E-10	2,07E-02	1,62E-01	2,21E-02	1,61E-10	5,97E-03	-2,90E-03	-2,97E-06	-2,90E-03	2,90E-03	2,90E-03	-6,32E-07	6,32E-07
27	47,26	2566,78	1,94E-03	6,80E-04	2,36E-03	5,03E-02	2,45E-07	1,03E-10	1,64E-02	1,28E-01	1,74E-02	1,41E-11	4,71E-03	-7,44E-04	-4,33E-07	-7,45E-04	7,44E-04	7,45E-04	-6,93E-08	6,93E-08
36	33,28	2321,99	1,51E-03	5,29E-04	1,83E-03	3,91E-02	4,01E-08	8,66E-12	1,27E-02	9,94E-02	1,36E-02	8,56E-13	3,66E-03	-1,32E-04	-3,99E-08	-1,33E-04	1,32E-04	1,33E-04	-4,59E-09	4,59E-09
45	23,82	2110,45	1,19E-03	4,17E-04	1,44E-03	3,08E-02	6,15E-09	6,60E-13	1,00E-02	7,83E-02	1,07E-02	4,63E-14	2,89E-03	-2,05E-05	-3,10E-09	-2,05E-05	2,05E-05	2,05E-05	-2,52E-10	2,52E-10
54	17,58	1935,09	9,57E-04	3,35E-04	1,16E-03	2,48E-02	9,70E-10	5,21E-14	8,07E-03	6,30E-02	8,60E-03	2,60E-15	2,32E-03	-3,15E-06	-2,38E-10	-3,15E-06	3,15E-06	3,15E-06	-1,37E-11	1,37E-11
63	13,44	1792,02	7,90E-04	2,77E-04	9,60E-04	2,05E-02	1,67E-10	4,62E-15	6,66E-03	5,20E-02	7,10E-03	1,66E-16	1,92E-03	-5,14E-07	-2,00E-11	-5,14E-07	5,14E-07	5,14E-07	-8,29E-13	8,29E-13
72	10,63	1675,86	6,68E-04	2,34E-04	8,12E-04	1,73E-02	3,26E-11	4,82E-16	5,63E-03	4,40E-02	6,01E-03	1,27E-17	1,62E-03	-9,28E-08	-1,94E-12	-9,28E-08	9,28E-08	9,28E-08	-5,89E-14	5,89E-14
81	8,68	1581,63	5,78E-04	2,03E-04	7,03E-04	1,50E-02	7,32E-12	6,10E-17	4,87E-03	3,81E-02	5,20E-03	1,21E-18	1,40E-03	-1,90E-08	-2,24E-13	-1,90E-08	1,90E-08	1,90E-08	-5,11E-15	5,11E-15
90	7,30	1505,18	5,11E-04	1,79E-04	6,21E-04	1,32E-02	1,91E-12	9,49E-18	4,31E-03	3,36E-02	4,59E-03	1,46E-19	1,24E-03	-4,43E-09	-3,12E-14	-4,43E-09	4,43E-09	4,43E-09	-5,51E-16	5,51E-16
99	6,30	1443,16	4,60E-04	1,61E-04	5,59E-04	1,19E-02	5,83E-13	1,82E-18	3,88E-03	3,03E-02	4,13E-03	2,23E-20	1,12E-03	-1,19E-09	-5,28E-15	-1,19E-09	1,19E-09	1,19E-09	-7,44E-17	7,44E-17
108	5,56	1392,96	4,21E-04	1,47E-04	5,11E-04	1,09E-02	2,07E-13	4,33E-19	3,55E-03	2,77E-02	3,78E-03	4,34E-21	1,02E-03	-3,66E-10	-1,09E-15	-3,66E-10	3,66E-10	3,66E-10	-1,25E-17	1,25E-17
117	5,02	1352,50	3,91E-04	1,37E-04	4,75E-04	1,01E-02	8,50E-14	1,26E-19	3,30E-03	2,57E-02	3,51E-03	1,06E-21	9,49E-04	-1,28E-10	-2,69E-16	-1,28E-10	1,28E-10	1,28E-10	-2,61E-18	2,61E-18
126	4,61	1320,14	3,68E-04	1,29E-04	4,47E-04	9,54E-03	4,02E-14	4,44E-20	3,10E-03	2,42E-02	3,31E-03	3,25E-22	8,93E-04	-5,06E-11	-7,93E-17	-5,06E-11	5,06E-11	5,06E-11	-6,67E-19	6,67E-19
135	4,31	1294,62	3,50E-04	1,23E-04	4,26E-04	9,08E-03	2,17E-14	1,89E-20	2,95E-03	2,31E-02	3,15E-03	1,22E-22	8,50E-04	-2,22E-11	-2,74E-17	-2,22E-11	2,22E-11	2,22E-11	-2,04E-19	2,04E-19
144	4,08	1274,94	3,37E-04	1,18E-04	4,10E-04	8,74E-03	1,33E-14	9,53E-21	2,84E-03	2,22E-02	3,03E-03	5,62E-23	8,18E-04	-1,06E-11	-1,08E-17	-1,06E-11	1,06E-11	1,06E-11	-7,33E-20	7,33E-20
153	3,92	1260,35	3,28E-04	1,15E-04	3,98E-04	8,49E-03	9,17E-15	5,67E-21	2,76E-03	2,16E-02	2,95E-03	3,11E-23	7,95E-04	-5,38E-12	-4,73E-18	-5,38E-12	5,38E-12	5,38E-12	-2,98E-20	2,98E-20
162	3,81	1250,30	3,21E-04	1,13E-04	3,90E-04	8,33E-03	7,05E-15	3,93E-21	2,71E-03	2,11E-02	2,89E-03	2,05E-23	7,80E-04	-2,72E-12	-2,16E-18	-2,72E-12	2,72E-12	2,72E-12	-1,29E-20	1,29E-20
171	3,75	1244,42	3,17E-04	1,11E-04	3,86E-04	8,23E-03	6,04E-15	3,17E-21	2,68E-03	2,09E-02	2,85E-03	1,60E-23	7,70E-04	-1,15E-12	-8,61E-19	-1,15E-12	1,15E-12	1,15E-12	-5,01E-21	5,01E-21
180	3,73	1242,48	3,16E-04	1,11E-04	3,84E-04	8,20E-03	5,74E-15	2,95E-21	2,67E-03	2,08E-02	2,84E-03	1,48E-23	7,67E-04	-3,06E-17	-1,17E-21	-3,06E-17	3,06E-17	3,06E-17	-1,49E-25	1,49E-25

Teste: Razão de compressão 10, 20% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0010	0,0003	0,0003	0,0072	0,0006	0,0009	0,0030	0,0219	0,0001	0,0007	0,0001	0,0361	94,31	3141,88	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,6954	0,9431	0,9240	19,8436	1,7431	2,4149	8,4415	60,5754	0,2922	1,8871	0,2397	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	94,31	3141,88	9,73E-03	3,40E-03	3,34E-03	7,16E-02	6,29E-03	8,72E-03	3,05E-02	2,19E-01	1,05E-03	6,81E-03	8,65E-04	9,80E+06	-3,39E+06	-2,25E+07	6,37E+06	9,75E+06	-1,28E+07	1,28E+07
9	85,57	3055,79	9,08E-03	3,18E-03	3,11E-03	6,68E-02	2,50E-03	1,59E-03	3,94E-05	2,20E-01	2,34E-02	3,85E-04	6,78E-03	-6,82E-01	3,43E-01	-4,18E-02	3,62E-01	1,88E-02	-2,30E-02	2,30E-02
18	66,40	2842,17	7,57E-03	2,65E-03	2,60E-03	5,58E-02	1,71E-03	1,52E-03	1,58E-05	1,84E-01	1,95E-02	3,05E-04	5,67E-03	-8,75E-01	4,73E-01	-2,89E-02	4,52E-01	-2,11E-02	-5,00E-02	5,00E-02
27	47,58	2583,98	5,97E-03	2,09E-03	2,05E-03	4,39E-02	9,97E-04	1,40E-03	4,45E-06	1,45E-01	1,54E-02	2,14E-04	4,50E-03	-6,83E-01	3,98E-01	-1,00E-02	3,46E-01	-5,16E-02	-6,16E-02	6,16E-02
36	33,50	2337,54	4,65E-03	1,63E-03	1,59E-03	3,42E-02	5,39E-04	1,23E-03	1,07E-06	1,13E-01	1,19E-02	1,42E-04	3,52E-03	-4,09E-01	2,52E-01	-2,59E-03	2,06E-01	-4,68E-02	-4,94E-02	4,94E-02
45	23,98	2124,59	3,66E-03	1,28E-03	1,25E-03	2,69E-02	2,93E-04	1,05E-03	2,48E-07	8,90E-02	9,39E-03	9,49E-05	2,79E-03	-2,05E-01	1,28E-01	-6,08E-04	1,03E-01	-2,57E-02	-2,63E-02	2,63E-02
54	17,70	1948,06	2,95E-03	1,03E-03	1,01E-03	2,17E-02	1,74E-04	8,86E-04	5,97E-08	7,17E-02	7,55E-03	6,89E-05	2,26E-03	-8,88E-02	5,36E-02	-1,41E-04	4,45E-02	-9,15E-03	-9,29E-03	9,29E-03
63	13,53	1804,02	2,43E-03	8,51E-04	8,33E-04	1,79E-02	1,17E-04	7,46E-04	1,59E-08	5,92E-02	6,23E-03	5,46E-05	1,86E-03	-3,48E-02	1,99E-02	-3,42E-05	1,74E-02	-2,49E-03	-2,53E-03	2,53E-03
72	10,70	1687,09	2,06E-03	7,19E-04	7,05E-04	1,51E-02	8,90E-05	6,37E-04	4,88E-09	5,00E-02	5,27E-03	4,55E-05	1,58E-03	-1,31E-02	7,24E-03	-9,24E-06	6,53E-03	-7,09E-04	-7,19E-04	7,19E-04
81	8,74	1592,23	1,78E-03	6,23E-04	6,10E-04	1,31E-02	7,31E-05	5,53E-04	1,75E-09	4,33E-02	4,56E-03	3,92E-05	1,36E-03	-5,00E-03	2,76E-03	-2,87E-06	2,50E-03	-2,62E-04	-2,65E-04	2,65E-04
90	7,35	1515,26	1,57E-03	5,50E-04	5,39E-04	1,16E-02	6,31E-05	4,90E-04	7,17E-10	3,83E-02	4,03E-03	3,45E-05	1,21E-03	-2,04E-03	1,14E-03	-1,02E-06	1,02E-03	-1,22E-04	-1,24E-04	1,24E-04
99	6,34	1452,83	1,41E-03	4,95E-04	4,85E-04	1,04E-02	5,61E-05	4,41E-04	3,32E-10	3,44E-02	3,62E-03	3,10E-05	1,09E-03	-9,06E-04	5,18E-04	-4,09E-07	4,53E-04	-6,52E-05	-6,56E-05	6,56E-05
108	5,60	1402,29	1,30E-03	4,53E-04	4,44E-04	9,53E-03	5,11E-05	4,04E-04	1,72E-10	3,15E-02	3,32E-03	2,84E-05	9,93E-04	-4,44E-04	2,60E-04	-1,81E-07	2,22E-04	-3,77E-05	-3,78E-05	3,78E-05
117	5,05	1361,56	1,20E-03	4,21E-04	4,12E-04	8,86E-03	4,73E-05	3,75E-04	9,84E-11	2,93E-02	3,08E-03	2,63E-05	9,23E-04	-2,40E-04	1,43E-04	-8,75E-08	1,20E-04	-2,33E-05	-2,34E-05	2,34E-05
126	4,64	1328,99	1,13E-03	3,96E-04	3,88E-04	8,34E-03	4,44E-05	3,53E-04	6,16E-11	2,76E-02	2,90E-03	2,48E-05	8,69E-04	-1,43E-04	8,69E-05	-4,55E-08	7,14E-05	-1,55E-05	-1,55E-05	1,55E-05
135	4,34	1303,29	1,08E-03	3,77E-04	3,70E-04	7,94E-03	4,22E-05	3,36E-04	4,20E-11	2,63E-02	2,76E-03	2,36E-05	8,27E-04	-9,31E-05	5,76E-05	-2,51E-08	4,66E-05	-1,10E-05	-1,10E-05	1,10E-05
144	4,11	1283,48	1,04E-03	3,63E-04	3,56E-04	7,64E-03	4,06E-05	3,24E-04	3,10E-11	2,53E-02	2,66E-03	2,27E-05	7,96E-04	-6,63E-05	4,14E-05	-1,45E-08	3,31E-05	-8,31E-06	-8,33E-06	8,33E-06
153	3,95	1268,79	1,01E-03	3,53E-04	3,46E-04	7,42E-03	3,94E-05	3,15E-04	2,46E-11	2,45E-02	2,58E-03	2,21E-05	7,74E-04	-5,11E-05	3,23E-05	-8,44E-09	2,56E-05	-6,72E-06	-6,73E-06	6,73E-06
162	3,84	1258,68	9,88E-04	3,46E-04	3,39E-04	7,28E-03	3,86E-05	3,08E-04	2,10E-11	2,41E-02	2,53E-03	2,16E-05	7,58E-04	-4,26E-05	2,71E-05	-4,72E-09	2,13E-05	-5,78E-06	-5,78E-06	5,78E-06
171	3,78	1252,76	9,77E-04	3,42E-04	3,35E-04	7,19E-03	3,82E-05	3,05E-04	1,90E-11	2,38E-02	2,50E-03	2,14E-05	7,49E-04	-3,83E-05	2,44E-05	-2,13E-09	1,91E-05	-5,29E-06	-5,29E-06	5,29E-06
180	3,75	1250,80	9,73E-04	3,40E-04	3,34E-04	7,16E-03	3,80E-05	3,04E-04	1,84E-11	2,37E-02	2,49E-03	2,13E-05	7,47E-04	-3,69E-05	2,36E-05	-9,31E-12	1,85E-05	-5,13E-06	-5,13E-06	5,13E-06

Teste: Razão de compressão 10, 20% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0017	0,0006	0,0003	0,0061	0,0007	0,0010	0,0000	0,0250	0,0001	0,0007	0,0001	0,0362	94,97	3163,89	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	4,5892	1,6205	0,7852	16,7948	2,0235	2,7232	0,0000	69,0353	0,3301	1,8646	0,2336	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	94,97	3163,89	1,66E-02	5,85E-03	2,83E-03	6,06E-02	7,31E-03	9,83E-03	0,00E+00	2,49E-01	1,19E-03	6,73E-03	8,43E-04	-3,02E+02	1,45E+02	8,80E+02	-2,89E+02	-4,34E+02	4,46E+02	-4,46E+02
9	86,17	3077,19	1,55E-02	5,46E-03	2,64E-03	5,66E-02	6,46E-03	9,39E-03	8,11E-07	2,33E-01	1,07E-03	6,24E-03	8,27E-04	-1,92E+00	1,02E+00	-8,82E-04	9,60E-01	-5,80E-02	-5,88E-02	5,88E-02
18	66,86	2862,08	1,29E-02	4,55E-03	2,21E-03	4,72E-02	4,38E-03	8,37E-03	3,23E-07	1,95E-01	8,59E-04	5,17E-03	7,25E-04	-2,21E+00	1,19E+00	-6,09E-04	1,10E+00	-8,49E-02	-8,56E-02	8,56E-02
27	47,91	2602,08	1,02E-02	3,59E-03	1,74E-03	3,72E-02	2,65E-03	7,03E-03	9,01E-08	1,54E-01	6,44E-04	4,04E-03	6,05E-04	-1,37E+00	7,42E-01	-2,06E-04	6,84E-01	-5,80E-02	-5,82E-02	5,82E-02
36	33,74	2353,92	7,91E-03	2,79E-03	1,35E-03	2,89E-02	1,66E-03	5,69E-03	2,21E-08	1,20E-01	4,85E-04	3,13E-03	4,87E-04	-5,75E-01	3,07E-01	-5,19E-05	2,87E-01	-1,91E-02	-1,91E-02	1,91E-02
45	24,15	2139,48	6,23E-03	2,20E-03	1,07E-03	2,28E-02	1,15E-03	4,57E-03	5,57E-09	9,45E-02	3,78E-04	2,46E-03	3,88E-04	-1,90E-01	9,99E-02	-1,24E-05	9,52E-02	-4,64E-03	-4,65E-03	4,65E-03
54	17,82	1961,70	5,02E-03	1,77E-03	8,58E-04	1,84E-02	8,78E-04	3,70E-03	1,55E-09	7,61E-02	3,03E-04	1,98E-03	3,13E-04	-5,64E-02	3,01E-02	-3,19E-06	2,82E-02	-1,88E-03	-1,89E-03	1,89E-03
63	13,62	1816,66	4,14E-03	1,46E-03	7,08E-04	1,51E-02	7,10E-04	3,06E-03	4,76E-10	6,28E-02	2,49E-04	1,63E-03	2,59E-04	-1,65E-02	9,24E-03	-9,06E-07	8,26E-03	-9,84E-04	-9,85E-04	9,85E-04
72	10,77	1698,91	3,50E-03	1,24E-03	5,99E-04	1,28E-02	5,96E-04	2,59E-03	1,62E-10	5,31E-02	2,10E-04	1,38E-03	2,20E-04	-5,10E-03	3,04E-03	-2,83E-07	2,55E-03	-4,88E-04	-4,88E-04	4,88E-04
81	8,80	1603,38	3,03E-03	1,07E-03	5,18E-04	1,11E-02	5,14E-04	2,24E-03	6,14E-11	4,60E-02	1,82E-04	1,19E-03	1,90E-04	-1,72E-03	1,09E-03	-9,69E-08	8,60E-04	-2,33E-04	-2,33E-04	2,33E-04
90	7,40	1525,88	2,68E-03	9,45E-04	4,58E-04	9,79E-03	4,54E-04	1,98E-03	2,58E-11	4,06E-02	1,61E-04	1,06E-03	1,68E-04	-6,45E-04	4,36E-04	-3,63E-08	3,23E-04	-1,13E-04	-1,13E-04	1,13E-04
99	6,39	1463,01	2,41E-03	8,51E-04	4,12E-04	8,82E-03	4,08E-04	1,79E-03	1,20E-11	3,66E-02	1,45E-04	9,50E-04	1,51E-04	-2,71E-04	1,94E-04	-1,49E-08	1,36E-04	-5,80E-05	-5,80E-05	5,80E-05
108	5,64	1412,12	2,20E-03	7,79E-04	3,77E-04	8,07E-03	3,74E-04	1,63E-03	6,19E-12	3,35E-02	1,32E-04	8,70E-04	1,39E-04	-1,28E-04	9,55E-05	-6,63E-09	6,38E-05	-3,17E-05	-3,17E-05	3,17E-05
117	5,09	1371,10	2,05E-03	7,23E-04	3,50E-04	7,50E-03	3,47E-04	1,52E-03	3,51E-12	3,11E-02	1,23E-04	8,08E-04	1,29E-04	-6,69E-05	5,22E-05	-3,20E-09	3,34E-05	-1,87E-05	-1,87E-05	1,87E-05
126	4,67	1338,30	1,93E-03	6,81E-04	3,30E-04	7,06E-03	3,27E-04	1,43E-03	2,18E-12	2,93E-02	1,16E-04	7,60E-04	1,21E-04	-3,89E-05	3,14E-05	-1,65E-09	1,95E-05	-1,19E-05	-1,19E-05	1,19E-05
135	4,37	1312,42	1,84E-03	6,48E-04	3,14E-04	6,72E-03	3,11E-04	1,36E-03	1,47E-12	2,79E-02	1,10E-04	7,24E-04	1,15E-04	-2,50E-05	2,07E-05	-9,07E-10	1,25E-05	-8,21E-06	-8,21E-06	8,21E-06
144	4,14	1292,47	1,77E-03	6,24E-04	3,02E-04	6,47E-03	2,99E-04	1,31E-03	1,08E-12	2,68E-02	1,06E-04	6,97E-04	1,11E-04	-1,75E-05	1,49E-05	-5,19E-10	8,76E-06	-6,09E-06	-6,09E-06	6,09E-06
153	3,97	1277,68	1,72E-03	6,06E-04	2,94E-04	6,28E-03	2,91E-04	1,27E-03	8,51E-13	2,61E-02	1,03E-04	6,77E-04	1,08E-04	-1,34E-05	1,15E-05	-3,01E-10	6,70E-06	-4,84E-06	-4,84E-06	4,84E-06
162	3,86	1267,50	1,68E-03	5,94E-04	2,88E-04	6,16E-03	2,85E-04	1,25E-03	7,21E-13	2,55E-02	1,01E-04	6,64E-04	1,06E-04	-1,11E-05	9,68E-06	-1,67E-10	5,55E-06	-4,12E-06	-4,12E-06	4,12E-06
171	3,80	1261,53	1,66E-03	5,87E-04	2,85E-04	6,09E-03	2,82E-04	1,23E-03	6,54E-13	2,52E-02	9,98E-05	6,56E-04	1,05E-04	-9,94E-06	8,71E-06	-7,52E-11	4,97E-06	-3,75E-06	-3,75E-06	3,75E-06
180	3,78	1259,57	1,66E-03	5,85E-04	2,83E-04	6,06E-03	2,81E-04	1,23E-03	6,33E-13	2,51E-02	9,94E-05	6,53E-04	1,04E-04	-9,58E-06	8,42E-06	-1,19E-14	4,79E-06	-3,63E-06	-3,63E-06	3,63E-06

Teste: Razão de compressão 10, 20% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0019	0,0007	0,0003	0,0057	0,0008	0,0010	0,0000	0,0256	0,0001	0,0007	0,0001	0,0368	95,22	3172,18	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,2037	1,8591	0,7270	15,3967	2,0805	2,8095	0,0000	69,5233	0,3425	1,8286	0,2291	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	$kmol/m^3$											$kmol/(m^3.s)$						
0	95,22	3172,18	1,88E-02	6,71E-03	2,62E-03	5,56E-02	7,51E-03	1,01E-02	0,0E+00	2,51E-01	1,24E-03	6,60E-03	8,27E-04	-3,05E+02	1,58E+02	9,28E+02	-3,12E+02	-4,70E+02	4,58E+02	-4,58E+02
9	86,40	3085,26	1,75E-02	6,26E-03	2,45E-03	5,19E-02	6,64E-03	9,69E-03	8,52E-07	2,34E-01	1,11E-03	6,12E-03	8,12E-04	-1,98E+00	1,05E+00	-9,23E-04	9,89E-01	-5,88E-02	-5,97E-02	5,97E-02
18	67,04	2869,58	1,46E-02	5,22E-03	2,04E-03	4,33E-02	4,50E-03	8,63E-03	3,41E-07	1,96E-01	8,93E-04	5,07E-03	7,13E-04	-2,28E+00	1,23E+00	-6,40E-04	1,14E+00	-8,71E-02	-8,77E-02	8,77E-02
27	48,04	2608,90	1,15E-02	4,12E-03	1,61E-03	3,41E-02	2,72E-03	7,26E-03	9,53E-08	1,55E-01	6,69E-04	3,96E-03	5,96E-04	-1,42E+00	7,72E-01	-2,18E-04	7,11E-01	-6,12E-02	-6,14E-02	6,14E-02
36	33,82	2360,09	8,97E-03	3,20E-03	1,25E-03	2,65E-02	1,69E-03	5,88E-03	2,34E-08	1,21E-01	5,04E-04	3,07E-03	4,82E-04	-6,03E-01	3,23E-01	-5,50E-05	3,02E-01	-2,12E-02	-2,12E-02	2,12E-02
45	24,21	2145,08	7,06E-03	2,52E-03	9,87E-04	2,09E-02	1,17E-03	4,71E-03	5,91E-09	9,52E-02	3,92E-04	2,41E-03	3,84E-04	-2,01E-01	1,06E-01	-1,32E-05	1,01E-01	-5,39E-03	-5,40E-03	5,40E-03
54	17,87	1966,84	5,69E-03	2,03E-03	7,94E-04	1,68E-02	8,89E-04	3,82E-03	1,64E-09	7,67E-02	3,14E-04	1,94E-03	3,11E-04	-6,01E-02	3,22E-02	-3,38E-06	3,01E-02	-2,13E-03	-2,14E-03	2,14E-03
63	13,66	1821,42	4,69E-03	1,68E-03	6,56E-04	1,39E-02	7,18E-04	3,16E-03	5,06E-10	6,33E-02	2,58E-04	1,60E-03	2,57E-04	-1,77E-02	9,93E-03	-9,61E-07	8,85E-03	-1,09E-03	-1,09E-03	1,09E-03
72	10,80	1703,36	3,97E-03	1,42E-03	5,55E-04	1,17E-02	6,03E-04	2,68E-03	1,73E-10	5,35E-02	2,18E-04	1,35E-03	2,18E-04	-5,49E-03	3,28E-03	-3,01E-07	2,74E-03	-5,33E-04	-5,33E-04	5,33E-04
81	8,82	1607,59	3,43E-03	1,23E-03	4,80E-04	1,02E-02	5,20E-04	2,32E-03	6,57E-11	4,63E-02	1,89E-04	1,17E-03	1,89E-04	-1,86E-03	1,18E-03	-1,03E-07	9,29E-04	-2,54E-04	-2,54E-04	2,54E-04
90	7,42	1529,88	3,03E-03	1,08E-03	4,24E-04	8,98E-03	4,59E-04	2,05E-03	2,77E-11	4,09E-02	1,67E-04	1,03E-03	1,67E-04	-6,99E-04	4,73E-04	-3,88E-08	3,50E-04	-1,23E-04	-1,23E-04	1,23E-04
99	6,40	1466,84	2,73E-03	9,76E-04	3,82E-04	8,08E-03	4,13E-04	1,84E-03	1,29E-11	3,68E-02	1,50E-04	9,30E-04	1,50E-04	-2,95E-04	2,10E-04	-1,59E-08	1,47E-04	-6,31E-05	-6,32E-05	6,32E-05
108	5,66	1415,82	2,50E-03	8,93E-04	3,49E-04	7,40E-03	3,78E-04	1,69E-03	6,66E-12	3,37E-02	1,37E-04	8,51E-04	1,37E-04	-1,39E-04	1,04E-04	-7,11E-09	6,95E-05	-3,46E-05	-3,46E-05	3,46E-05
117	5,10	1374,69	2,32E-03	8,30E-04	3,24E-04	6,87E-03	3,51E-04	1,57E-03	3,78E-12	3,13E-02	1,27E-04	7,91E-04	1,28E-04	-7,30E-05	5,69E-05	-3,43E-09	3,65E-05	-2,04E-05	-2,04E-05	2,04E-05
126	4,69	1341,80	2,19E-03	7,81E-04	3,05E-04	6,47E-03	3,30E-04	1,48E-03	2,35E-12	2,95E-02	1,20E-04	7,44E-04	1,20E-04	-4,26E-05	3,43E-05	-1,78E-09	2,13E-05	-1,30E-05	-1,30E-05	1,30E-05
135	4,38	1315,86	2,08E-03	7,44E-04	2,91E-04	6,16E-03	3,15E-04	1,41E-03	1,59E-12	2,81E-02	1,14E-04	7,09E-04	1,15E-04	-2,73E-05	2,26E-05	-9,77E-10	1,37E-05	-8,97E-06	-8,97E-06	8,97E-06
144	4,15	1295,86	2,00E-03	7,16E-04	2,80E-04	5,93E-03	3,03E-04	1,35E-03	1,17E-12	2,70E-02	1,10E-04	6,82E-04	1,10E-04	-1,92E-05	1,63E-05	-5,60E-10	9,61E-06	-6,65E-06	-6,65E-06	6,65E-06
153	3,99	1281,03	1,95E-03	6,96E-04	2,72E-04	5,76E-03	2,94E-04	1,31E-03	9,23E-13	2,63E-02	1,07E-04	6,63E-04	1,07E-04	-1,47E-05	1,26E-05	-3,25E-10	7,35E-06	-5,29E-06	-5,29E-06	5,29E-06
162	3,87	1270,82	1,91E-03	6,82E-04	2,67E-04	5,65E-03	2,88E-04	1,29E-03	7,82E-13	2,57E-02	1,05E-04	6,50E-04	1,05E-04	-1,22E-05	1,06E-05	-1,81E-10	6,10E-06	-4,50E-06	-4,51E-06	4,51E-06
171	3,81	1264,84	1,89E-03	6,74E-04	2,63E-04	5,58E-03	2,85E-04	1,27E-03	7,09E-13	2,54E-02	1,03E-04	6,42E-04	1,04E-04	-1,09E-05	9,55E-06	-8,13E-11	5,45E-06	-4,09E-06	-4,09E-06	4,09E-06
180	3,79	1262,87	1,88E-03	6,71E-04	2,62E-04	5,56E-03	2,84E-04	1,27E-03	6,86E-13	2,53E-02	1,03E-04	6,40E-04	1,03E-04	-1,05E-05	9,22E-06	-1,34E-14	5,26E-06	-3,97E-06	-3,97E-06	3,97E-06

Teste: Razão de compressão 10, 20% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0007	0,0003	0,0055	0,0008	0,0011	0,0000	0,0258	0,0001	0,0007	0,0001	0,0370	95,31	3175,33	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,4302	1,9493	0,7053	14,8780	2,1021	2,8423	0,0000	69,7042	0,3472	1,8140	0,2273	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	95,31	3175,33	1,96E-02	7,04E-03	2,55E-03	5,37E-02	7,59E-03	1,03E-02	0,0E+00	2,52E-01	1,25E-03	6,55E-03	8,21E-04	-3,05E+02	1,63E+02	9,47E+02	-3,21E+02	-4,84E+02	4,63E+02	-4,63E+02
9	86,48	3088,32	1,83E-02	6,56E-03	2,38E-03	5,01E-02	6,71E-03	9,80E-03	8,68E-07	2,35E-01	1,13E-03	6,07E-03	8,06E-04	-2,00E+00	1,06E+00	-9,39E-04	1,00E+00	-5,90E-02	-6,00E-02	6,00E-02
18	67,10	2872,43	1,53E-02	5,48E-03	1,98E-03	4,18E-02	4,55E-03	8,73E-03	3,47E-07	1,97E-01	9,06E-04	5,03E-03	7,08E-04	-2,31E+00	1,24E+00	-6,51E-04	1,15E+00	-8,78E-02	-8,85E-02	8,85E-02
27	48,08	2611,49	1,20E-02	4,32E-03	1,56E-03	3,29E-02	2,74E-03	7,34E-03	9,73E-08	1,55E-01	6,79E-04	3,93E-03	5,93E-04	-1,44E+00	7,84E-01	-2,22E-04	7,21E-01	-6,24E-02	-6,26E-02	6,26E-02
36	33,86	2362,43	9,36E-03	3,36E-03	1,22E-03	2,56E-02	1,70E-03	5,95E-03	2,39E-08	1,21E-01	5,11E-04	3,04E-03	4,79E-04	-6,14E-01	3,29E-01	-5,62E-05	3,07E-01	-2,20E-02	-2,20E-02	2,20E-02
45	24,23	2147,21	7,37E-03	2,65E-03	9,57E-04	2,02E-02	1,18E-03	4,77E-03	6,04E-09	9,55E-02	3,97E-04	2,39E-03	3,83E-04	-2,06E-01	1,09E-01	-1,34E-05	1,03E-01	-5,68E-03	-5,69E-03	5,69E-03
54	17,89	1968,80	5,93E-03	2,13E-03	7,71E-04	1,63E-02	8,94E-04	3,87E-03	1,68E-09	7,69E-02	3,18E-04	1,92E-03	3,10E-04	-6,15E-02	3,30E-02	-3,46E-06	3,08E-02	-2,23E-03	-2,23E-03	2,23E-03
63	13,67	1823,23	4,90E-03	1,76E-03	6,36E-04	1,34E-02	7,22E-04	3,20E-03	5,18E-10	6,35E-02	2,62E-04	1,58E-03	2,56E-04	-1,82E-02	1,02E-02	-9,83E-07	9,08E-03	-1,13E-03	-1,13E-03	1,13E-03
72	10,81	1705,05	4,14E-03	1,49E-03	5,38E-04	1,13E-02	6,06E-04	2,71E-03	1,77E-10	5,37E-02	2,21E-04	1,34E-03	2,17E-04	-5,64E-03	3,37E-03	-3,08E-07	2,82E-03	-5,50E-04	-5,50E-04	5,50E-04
81	8,83	1609,18	3,58E-03	1,29E-03	4,66E-04	9,82E-03	5,22E-04	2,35E-03	6,73E-11	4,64E-02	1,91E-04	1,16E-03	1,88E-04	-1,91E-03	1,22E-03	-1,06E-07	9,56E-04	-2,62E-04	-2,62E-04	2,62E-04
90	7,42	1531,39	3,17E-03	1,14E-03	4,11E-04	8,68E-03	4,61E-04	2,07E-03	2,84E-11	4,10E-02	1,69E-04	1,02E-03	1,66E-04	-7,21E-04	4,88E-04	-3,98E-08	3,60E-04	-1,27E-04	-1,27E-04	1,27E-04
99	6,41	1468,30	2,85E-03	1,02E-03	3,70E-04	7,81E-03	4,15E-04	1,87E-03	1,33E-11	3,69E-02	1,52E-04	9,22E-04	1,50E-04	-3,04E-04	2,17E-04	-1,63E-08	1,52E-04	-6,52E-05	-6,52E-05	6,52E-05
108	5,66	1417,22	2,61E-03	9,37E-04	3,39E-04	7,15E-03	3,80E-04	1,71E-03	6,85E-12	3,38E-02	1,39E-04	8,44E-04	1,37E-04	-1,43E-04	1,07E-04	-7,30E-09	7,17E-05	-3,57E-05	-3,57E-05	3,57E-05
117	5,11	1376,06	2,42E-03	8,70E-04	3,15E-04	6,64E-03	3,52E-04	1,59E-03	3,89E-12	3,14E-02	1,29E-04	7,84E-04	1,27E-04	-7,55E-05	5,88E-05	-3,53E-09	3,77E-05	-2,11E-05	-2,11E-05	2,11E-05
126	4,69	1343,14	2,28E-03	8,19E-04	2,96E-04	6,25E-03	3,32E-04	1,49E-03	2,42E-12	2,96E-02	1,22E-04	7,38E-04	1,20E-04	-4,40E-05	3,55E-05	-1,83E-09	2,20E-05	-1,34E-05	-1,34E-05	1,34E-05
135	4,38	1317,17	2,17E-03	7,80E-04	2,82E-04	5,95E-03	3,16E-04	1,42E-03	1,64E-12	2,81E-02	1,16E-04	7,03E-04	1,14E-04	-2,83E-05	2,34E-05	-1,01E-09	1,41E-05	-9,26E-06	-9,26E-06	9,26E-06
144	4,15	1297,15	2,09E-03	7,51E-04	2,72E-04	5,73E-03	3,04E-04	1,37E-03	1,20E-12	2,71E-02	1,11E-04	6,76E-04	1,10E-04	-1,99E-05	1,68E-05	-5,76E-10	9,95E-06	-6,87E-06	-6,87E-06	6,87E-06
153	3,99	1282,30	2,03E-03	7,29E-04	2,64E-04	5,57E-03	2,95E-04	1,33E-03	9,51E-13	2,63E-02	1,08E-04	6,57E-04	1,07E-04	-1,52E-05	1,31E-05	-3,35E-10	7,61E-06	-5,47E-06	-5,47E-06	5,47E-06
162	3,88	1272,08	1,99E-03	7,15E-04	2,59E-04	5,46E-03	2,90E-04	1,30E-03	8,06E-13	2,58E-02	1,06E-04	6,44E-04	1,05E-04	-1,26E-05	1,10E-05	-1,86E-10	6,31E-06	-4,66E-06	-4,66E-06	4,66E-06
171	3,82	1266,09	1,97E-03	7,06E-04	2,56E-04	5,39E-03	2,86E-04	1,29E-03	7,31E-13	2,55E-02	1,05E-04	6,36E-04	1,03E-04	-1,13E-05	9,88E-06	-8,37E-11	5,65E-06	-4,23E-06	-4,23E-06	4,23E-06
180	3,79	1264,12	1,96E-03	7,04E-04	2,55E-04	5,37E-03	2,85E-04	1,28E-03	7,08E-13	2,54E-02	1,04E-04	6,34E-04	1,03E-04	-1,09E-05	9,55E-06	-1,41E-14	5,45E-06	-4,10E-06	-4,10E-06	4,10E-06

Teste: Razão de compressão 10, 20% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0021	0,0008	0,0003	0,0054	0,0008	0,0011	0,0000	0,0260	0,0002	0,0007	0,0001	0,0372	95,39	3178,02	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,6053	2,0359	0,6917	14,4296	2,1041	2,8274	0,0000	69,8178	0,4679	1,7937	0,2265	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	95,39	3178,02	2,02E-02	7,35E-03	2,50E-03	5,21E-02	7,60E-03	1,02E-02	0,0E+00	2,52E-01	1,69E-03	6,48E-03	8,17E-04	-2,49E+02	2,21E+02	1,12E+03	-4,37E+02	-6,59E+02	4,65E+02	-4,65E+02
9	86,55	3090,94	1,89E-02	6,86E-03	2,33E-03	4,86E-02	6,75E-03	9,88E-03	1,07E-06	2,35E-01	1,39E-03	5,86E-03	9,49E-04	-2,03E+00	1,09E+00	-1,16E-03	1,02E+00	-7,12E-02	-7,23E-02	7,23E-02
18	67,16	2874,86	1,57E-02	5,72E-03	1,94E-03	4,05E-02	4,56E-03	8,82E-03	4,30E-07	1,97E-01	1,12E-03	4,84E-03	8,35E-04	-2,36E+00	1,29E+00	-8,06E-04	1,18E+00	-1,08E-01	-1,09E-01	1,09E-01
27	48,12	2613,70	1,24E-02	4,51E-03	1,53E-03	3,20E-02	2,73E-03	7,43E-03	1,20E-07	1,56E-01	8,35E-04	3,77E-03	7,03E-04	-1,51E+00	8,36E-01	-2,75E-04	7,54E-01	-8,21E-02	-8,24E-02	8,24E-02
36	33,88	2364,43	9,66E-03	3,51E-03	1,19E-03	2,49E-02	1,67E-03	6,03E-03	2,94E-08	1,21E-01	6,26E-04	2,91E-03	5,71E-04	-6,58E-01	3,61E-01	-6,95E-05	3,29E-01	-3,21E-02	-3,22E-02	3,22E-02
45	24,26	2149,03	7,61E-03	2,76E-03	9,39E-04	1,96E-02	1,13E-03	4,85E-03	7,36E-09	9,56E-02	4,85E-04	2,28E-03	4,58E-04	-2,26E-01	1,22E-01	-1,65E-05	1,13E-01	-8,82E-03	-8,84E-03	8,84E-03
54	17,90	1970,47	6,13E-03	2,22E-03	7,56E-04	1,58E-02	8,53E-04	3,94E-03	2,03E-09	7,70E-02	3,88E-04	1,84E-03	3,71E-04	-6,87E-02	3,75E-02	-4,21E-06	3,44E-02	-3,15E-03	-3,15E-03	3,15E-03
63	13,68	1824,77	5,06E-03	1,84E-03	6,24E-04	1,30E-02	6,87E-04	3,26E-03	6,26E-10	6,36E-02	3,19E-04	1,51E-03	3,07E-04	-2,05E-02	1,17E-02	-1,19E-06	1,02E-02	-1,45E-03	-1,45E-03	1,45E-03
72	10,82	1706,49	4,28E-03	1,55E-03	5,28E-04	1,10E-02	5,75E-04	2,76E-03	2,14E-10	5,38E-02	2,69E-04	1,28E-03	2,60E-04	-6,41E-03	3,88E-03	-3,72E-07	3,20E-03	-6,81E-04	-6,81E-04	6,81E-04
81	8,84	1610,54	3,70E-03	1,34E-03	4,57E-04	9,52E-03	4,96E-04	2,39E-03	8,15E-11	4,65E-02	2,33E-04	1,11E-03	2,25E-04	-2,18E-03	1,41E-03	-1,28E-07	1,09E-03	-3,19E-04	-3,19E-04	3,19E-04
90	7,43	1532,69	3,27E-03	1,19E-03	4,03E-04	8,41E-03	4,37E-04	2,11E-03	3,44E-11	4,11E-02	2,06E-04	9,79E-04	1,99E-04	-8,25E-04	5,66E-04	-4,81E-08	4,13E-04	-1,54E-04	-1,54E-04	1,54E-04
99	6,41	1469,54	2,94E-03	1,07E-03	3,63E-04	7,57E-03	3,94E-04	1,90E-03	1,61E-11	3,70E-02	1,85E-04	8,81E-04	1,79E-04	-3,49E-04	2,53E-04	-1,98E-08	1,74E-04	-7,83E-05	-7,83E-05	7,83E-05
108	5,67	1418,42	2,69E-03	9,78E-04	3,32E-04	6,93E-03	3,60E-04	1,74E-03	8,31E-12	3,39E-02	1,69E-04	8,06E-04	1,64E-04	-1,65E-04	1,25E-04	-8,84E-09	8,24E-05	-4,27E-05	-4,27E-05	4,27E-05
117	5,11	1377,22	2,50E-03	9,09E-04	3,09E-04	6,44E-03	3,34E-04	1,62E-03	4,73E-12	3,15E-02	1,57E-04	7,49E-04	1,53E-04	-8,68E-05	6,86E-05	-4,28E-09	4,34E-05	-2,52E-05	-2,52E-05	2,52E-05
126	4,70	1344,27	2,35E-03	8,55E-04	2,91E-04	6,06E-03	3,15E-04	1,52E-03	2,94E-12	2,96E-02	1,48E-04	7,05E-04	1,44E-04	-5,07E-05	4,14E-05	-2,22E-09	2,53E-05	-1,61E-05	-1,61E-05	1,61E-05
135	4,39	1318,28	2,24E-03	8,15E-04	2,77E-04	5,77E-03	3,00E-04	1,45E-03	1,99E-12	2,82E-02	1,41E-04	6,71E-04	1,37E-04	-3,26E-05	2,73E-05	-1,22E-09	1,63E-05	-1,11E-05	-1,11E-05	1,11E-05
144	4,16	1298,24	2,16E-03	7,84E-04	2,66E-04	5,56E-03	2,88E-04	1,39E-03	1,46E-12	2,71E-02	1,36E-04	6,46E-04	1,32E-04	-2,29E-05	1,97E-05	-6,99E-10	1,15E-05	-8,19E-06	-8,19E-06	8,19E-06
153	3,99	1283,39	2,10E-03	7,62E-04	2,59E-04	5,40E-03	2,80E-04	1,35E-03	1,16E-12	2,64E-02	1,32E-04	6,28E-04	1,28E-04	-1,76E-05	1,53E-05	-4,06E-10	8,78E-06	-6,52E-06	-6,52E-06	6,52E-06
162	3,88	1273,16	2,06E-03	7,47E-04	2,54E-04	5,29E-03	2,75E-04	1,33E-03	9,80E-13	2,59E-02	1,29E-04	6,15E-04	1,25E-04	-1,46E-05	1,28E-05	-2,26E-10	7,28E-06	-5,55E-06	-5,55E-06	5,55E-06
171	3,82	1267,17	2,03E-03	7,38E-04	2,51E-04	5,23E-03	2,72E-04	1,31E-03	8,89E-13	2,55E-02	1,28E-04	6,08E-04	1,24E-04	-1,30E-05	1,16E-05	-1,02E-10	6,52E-06	-5,04E-06	-5,04E-06	5,04E-06
180	3,80	1265,19	2,02E-03	7,35E-04	2,50E-04	5,21E-03	2,70E-04	1,31E-03	8,61E-13	2,54E-02	1,27E-04	6,06E-04	1,23E-04	-1,26E-05	1,12E-05	-2,21E-14	6,28E-06	-4,89E-06	-4,89E-06	4,89E-06

Teste: Razão de compressão 10, 20% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0003	0,0000	0,0001	0,0073	0,0005	0,0017	0,0055	0,0202	0,0000	0,0004	0,0000	0,0361	83,37	2777,56	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,9301	0,0623	0,1980	20,1073	1,5010	4,7771	15,2526	55,9846	0,1205	1,0293	0,0373	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,37	2777,56	3,36E-03	2,25E-04	7,15E-04	7,26E-02	5,42E-03	1,72E-02	5,51E-02	2,02E-01	4,35E-04	3,72E-03	1,35E-04	1,14E+07	-8,80E+06	-3,09E+07	9,73E+06	1,85E+07	-1,24E+07	1,24E+07
9	75,64	2701,45	3,13E-03	2,10E-04	6,67E-04	6,77E-02	4,57E-06	1,40E-08	7,21E-03	2,13E-01	4,11E-02	7,26E-10	3,59E-03	-6,95E-03	-3,00E-05	-7,01E-03	6,98E-03	7,01E-03	-1,80E-06	1,80E-06
18	58,70	2512,60	2,61E-03	1,75E-04	5,56E-04	5,65E-02	1,33E-06	2,60E-09	6,01E-03	1,78E-01	3,43E-02	1,08E-10	3,00E-03	-3,54E-03	-9,78E-06	-3,56E-03	3,55E-03	3,56E-03	-4,69E-07	4,69E-07
27	42,06	2284,35	2,06E-03	1,38E-04	4,38E-04	4,45E-02	2,31E-07	2,38E-10	4,74E-03	1,40E-01	2,70E-02	7,21E-12	2,36E-03	-7,75E-04	-1,13E-06	-7,77E-04	7,76E-04	7,77E-04	-3,94E-08	3,94E-08
36	29,61	2066,49	1,60E-03	1,07E-04	3,41E-04	3,47E-02	3,13E-08	1,53E-11	3,69E-03	1,09E-01	2,10E-02	3,20E-13	1,84E-03	-1,14E-04	-7,91E-08	-1,14E-04	1,14E-04	1,14E-04	-1,91E-09	1,91E-09
45	21,20	1878,23	1,26E-03	8,45E-05	2,69E-04	2,73E-02	3,91E-09	8,74E-13	2,90E-03	8,59E-02	1,66E-02	1,24E-14	1,45E-03	-1,45E-05	-4,60E-09	-1,45E-05	1,45E-05	1,45E-05	-7,54E-11	7,54E-11
54	15,65	1722,17	1,02E-03	6,80E-05	2,16E-04	2,20E-02	5,05E-10	5,18E-14	2,34E-03	6,92E-02	1,33E-02	5,01E-16	1,17E-03	-1,83E-06	-2,66E-10	-1,83E-06	1,83E-06	1,83E-06	-2,96E-12	2,96E-12
63	11,96	1594,83	8,39E-04	5,61E-05	1,79E-04	1,81E-02	7,17E-11	3,48E-15	1,93E-03	5,71E-02	1,10E-02	2,33E-17	9,62E-04	-2,46E-07	-1,70E-11	-2,46E-07	2,46E-07	2,46E-07	-1,30E-13	1,30E-13
72	9,46	1491,46	7,09E-04	4,75E-05	1,51E-04	1,53E-02	1,17E-11	2,81E-16	1,63E-03	4,83E-02	9,31E-03	1,33E-18	8,14E-04	-3,70E-08	-1,27E-12	-3,70E-08	3,70E-08	3,70E-08	-6,90E-15	6,90E-15
81	7,72	1407,60	6,14E-04	4,11E-05	1,31E-04	1,33E-02	2,22E-12	2,81E-17	1,41E-03	4,18E-02	8,06E-03	9,63E-20	7,04E-04	-6,41E-09	-1,15E-13	-6,41E-09	6,41E-09	6,41E-09	-4,56E-16	4,56E-16
90	6,49	1339,56	5,42E-04	3,63E-05	1,15E-04	1,17E-02	4,98E-13	3,52E-18	1,25E-03	3,69E-02	7,12E-03	9,07E-21	6,22E-04	-1,29E-09	-1,30E-14	-1,29E-09	1,29E-09	1,29E-09	-3,84E-17	3,84E-17
99	5,61	1284,37	4,88E-04	3,27E-05	1,04E-04	1,06E-02	1,33E-13	5,60E-19	1,12E-03	3,32E-02	6,41E-03	1,11E-21	5,60E-04	-3,03E-10	-1,82E-15	-3,03E-10	3,03E-10	3,03E-10	-4,16E-18	4,16E-18
108	4,95	1239,69	4,47E-04	2,99E-05	9,51E-05	9,66E-03	4,19E-14	1,12E-19	1,03E-03	3,04E-02	5,86E-03	1,79E-22	5,12E-04	-8,30E-11	-3,17E-16	-8,30E-11	8,30E-11	8,30E-11	-5,80E-19	5,80E-19
117	4,47	1203,68	4,15E-04	2,78E-05	8,84E-05	8,97E-03	1,56E-14	2,83E-20	9,54E-04	2,82E-02	5,45E-03	3,72E-23	4,76E-04	-2,63E-11	-6,81E-17	-2,63E-11	2,63E-11	2,63E-11	-1,03E-19	1,03E-19
126	4,10	1174,88	3,91E-04	2,62E-05	8,32E-05	8,45E-03	6,77E-15	8,86E-21	8,98E-04	2,66E-02	5,13E-03	9,89E-24	4,48E-04	-9,53E-12	-1,78E-17	-9,53E-12	9,53E-12	9,53E-12	-2,28E-20	2,28E-20
135	3,83	1152,17	3,72E-04	2,49E-05	7,92E-05	8,04E-03	3,41E-15	3,40E-21	8,56E-04	2,53E-02	4,88E-03	3,32E-24	4,27E-04	-3,90E-12	-5,55E-18	-3,90E-12	3,90E-12	3,90E-12	-6,22E-21	6,22E-21
144	3,63	1134,65	3,58E-04	2,40E-05	7,62E-05	7,74E-03	1,97E-15	1,59E-21	8,23E-04	2,44E-02	4,70E-03	1,39E-24	4,11E-04	-1,76E-12	-2,02E-18	-1,76E-12	1,76E-12	1,76E-12	-2,04E-21	2,04E-21
153	3,49	1121,67	3,48E-04	2,33E-05	7,41E-05	7,52E-03	1,30E-15	8,87E-22	8,00E-04	2,37E-02	4,57E-03	7,19E-25	3,99E-04	-8,56E-13	-8,33E-19	-8,56E-13	8,56E-13	8,56E-13	-7,73E-22	7,73E-22
162	3,39	1112,73	3,41E-04	2,28E-05	7,26E-05	7,37E-03	9,72E-16	5,89E-22	7,84E-04	2,32E-02	4,48E-03	4,52E-25	3,91E-04	-4,20E-13	-3,64E-19	-4,20E-13	4,20E-13	4,20E-13	-3,19E-22	3,19E-22
171	3,34	1107,49	3,37E-04	2,26E-05	7,18E-05	7,29E-03	8,18E-16	4,62E-22	7,75E-04	2,29E-02	4,42E-03	3,43E-25	3,87E-04	-1,75E-13	-1,42E-19	-1,75E-13	1,75E-13	1,75E-13	-1,20E-22	1,20E-22
180	3,32	1105,77	3,36E-04	2,25E-05	7,15E-05	7,26E-03	7,72E-16	4,26E-22	7,72E-04	2,28E-02	4,41E-03	3,13E-25	3,85E-04	-1,65E-17	-1,17E-21	-1,65E-17	1,65E-17	1,65E-17	-1,27E-26	1,27E-26

Teste: Razão de compressão 10, 50% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0010	0,0001	0,0001	0,0063	0,0006	0,0018	0,0030	0,0228	0,0000	0,0003	0,0000	0,036101	83,29	2774,96	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,8375	0,1817	0,1645	17,4500	1,6401	5,0963	8,4226	63,0822	0,1235	0,9678	0,0337	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,29	2774,96	1,02E-02	6,56E-04	5,94E-04	6,30E-02	5,92E-03	1,84E-02	3,04E-02	2,28E-01	4,46E-04	3,49E-03	1,22E-04	5,72E+06	-5,17E+06	-1,75E+07	5,87E+06	1,10E+07	-6,41E+06	6,41E+06
9	75,57	2698,92	9,56E-03	6,12E-04	5,54E-04	5,88E-02	3,31E-03	6,89E-03	6,64E-06	2,28E-01	2,60E-02	4,59E-04	2,91E-03	-1,24E+00	6,99E-01	-7,55E-03	6,26E-01	-7,36E-02	-8,11E-02	8,11E-02
18	58,64	2510,25	7,97E-03	5,11E-04	4,62E-04	4,90E-02	2,11E-03	6,12E-03	2,52E-06	1,90E-01	2,16E-02	3,36E-04	2,48E-03	-1,42E+00	8,23E-01	-4,98E-03	7,14E-01	-1,09E-01	-1,14E-01	1,14E-01
27	42,02	2282,21	6,28E-03	4,02E-04	3,64E-04	3,86E-02	1,14E-03	5,13E-03	6,53E-07	1,50E-01	1,70E-02	2,17E-04	2,00E-03	-9,37E-01	5,59E-01	-1,60E-03	4,69E-01	-8,97E-02	-9,13E-02	9,13E-02
36	29,59	2064,56	4,89E-03	3,13E-04	2,84E-04	3,01E-02	5,89E-04	4,17E-03	1,42E-07	1,17E-01	1,32E-02	1,39E-04	1,59E-03	-4,47E-01	2,68E-01	-3,73E-04	2,24E-01	-4,49E-02	-4,52E-02	4,52E-02
45	21,18	1876,48	3,85E-03	2,47E-04	2,23E-04	2,37E-02	3,38E-04	3,36E-03	3,02E-08	9,23E-02	1,04E-02	9,77E-05	1,26E-03	-1,65E-01	9,71E-02	-7,75E-05	8,25E-02	-1,47E-02	-1,47E-02	1,47E-02
54	15,63	1720,56	3,10E-03	1,99E-04	1,80E-04	1,91E-02	2,29E-04	2,73E-03	7,15E-09	7,43E-02	8,36E-03	7,50E-05	1,02E-03	-5,10E-02	2,97E-02	-1,66E-05	2,55E-02	-4,18E-03	-4,20E-03	4,20E-03
63	11,95	1593,34	2,56E-03	1,64E-04	1,48E-04	1,57E-02	1,76E-04	2,26E-03	1,97E-09	6,13E-02	6,90E-03	6,08E-05	8,42E-04	-1,49E-02	8,75E-03	-4,08E-06	7,44E-03	-1,31E-03	-1,32E-03	1,32E-03
72	9,45	1490,06	2,16E-03	1,39E-04	1,25E-04	1,33E-02	1,45E-04	1,92E-03	6,27E-10	5,19E-02	5,83E-03	5,10E-05	7,13E-04	-4,47E-03	2,70E-03	-1,16E-06	2,24E-03	-4,58E-04	-4,59E-04	4,59E-04
81	7,72	1406,28	1,87E-03	1,20E-04	1,09E-04	1,15E-02	1,24E-04	1,66E-03	2,26E-10	4,49E-02	5,05E-03	4,40E-05	6,17E-04	-1,46E-03	9,04E-04	-3,74E-07	7,31E-04	-1,74E-04	-1,74E-04	1,74E-04
90	6,49	1338,30	1,65E-03	1,06E-04	9,59E-05	1,02E-02	1,09E-04	1,47E-03	9,14E-11	3,97E-02	4,46E-03	3,88E-05	5,45E-04	-5,30E-04	3,36E-04	-1,35E-07	2,65E-04	-7,14E-05	-7,16E-05	7,16E-05
99	5,60	1283,17	1,49E-03	9,54E-05	8,64E-05	9,16E-03	9,82E-05	1,32E-03	4,12E-11	3,57E-02	4,01E-03	3,49E-05	4,91E-04	-2,15E-04	1,40E-04	-5,33E-08	1,08E-04	-3,21E-05	-3,21E-05	3,21E-05
108	4,95	1238,53	1,36E-03	8,73E-05	7,90E-05	8,38E-03	8,98E-05	1,21E-03	2,06E-11	3,27E-02	3,67E-03	3,20E-05	4,49E-04	-9,84E-05	6,50E-05	-2,31E-08	4,92E-05	-1,58E-05	-1,58E-05	1,58E-05
117	4,46	1202,55	1,27E-03	8,11E-05	7,34E-05	7,79E-03	8,34E-05	1,12E-03	1,14E-11	3,04E-02	3,41E-03	2,97E-05	4,17E-04	-5,03E-05	3,37E-05	-1,09E-08	2,51E-05	-8,55E-06	-8,56E-06	8,56E-06
126	4,10	1173,78	1,19E-03	7,63E-05	6,91E-05	7,33E-03	7,85E-05	1,06E-03	6,94E-12	2,86E-02	3,21E-03	2,79E-05	3,93E-04	-2,86E-05	1,94E-05	-5,53E-09	1,43E-05	-5,09E-06	-5,09E-06	5,09E-06
135	3,83	1151,09	1,14E-03	7,27E-05	6,58E-05	6,98E-03	7,47E-05	1,01E-03	4,61E-12	2,72E-02	3,06E-03	2,66E-05	3,74E-04	-1,80E-05	1,23E-05	-2,98E-09	8,99E-06	-3,31E-06	-3,31E-06	3,31E-06
144	3,63	1133,59	1,09E-03	7,00E-05	6,34E-05	6,72E-03	7,19E-05	9,68E-04	3,33E-12	2,62E-02	2,94E-03	2,56E-05	3,60E-04	-1,24E-05	8,57E-06	-1,68E-09	6,22E-06	-2,35E-06	-2,35E-06	2,35E-06
153	3,49	1120,62	1,06E-03	6,80E-05	6,16E-05	6,53E-03	6,99E-05	9,40E-04	2,60E-12	2,54E-02	2,86E-03	2,49E-05	3,50E-04	-9,40E-06	6,51E-06	-9,66E-10	4,70E-06	-1,81E-06	-1,81E-06	1,81E-06
162	3,39	1111,69	1,04E-03	6,66E-05	6,03E-05	6,40E-03	6,85E-05	9,21E-04	2,18E-12	2,49E-02	2,80E-03	2,44E-05	3,43E-04	-7,72E-06	5,36E-06	-5,33E-10	3,86E-06	-1,50E-06	-1,50E-06	1,50E-06
171	3,33	1106,45	1,03E-03	6,59E-05	5,96E-05	6,32E-03	6,77E-05	9,11E-04	1,97E-12	2,47E-02	2,77E-03	2,41E-05	3,39E-04	-6,87E-06	4,78E-06	-2,39E-10	3,44E-06	-1,35E-06	-1,35E-06	1,35E-06
180	3,32	1104,73	1,02E-03	6,56E-05	5,94E-05	6,30E-03	6,74E-05	9,07E-04	1,90E-12	2,46E-02	2,76E-03	2,40E-05	3,38E-04	-6,61E-06	4,61E-06	-1,92E-13	3,31E-06	-1,30E-06	-1,30E-06	1,30E-06

Teste: Razão de compressão 10, 50% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0017	0,0001	0,0000	0,0053	0,0006	0,0020	0,0005	0,0254	0,0000	0,0003	0,0000	0,036101	83,21	2772,29	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	4,8096	0,2949	0,1330	14,7173	1,7809	5,4245	1,4069	70,3801	0,1264	0,8964	0,0301	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,21	2772,29	1,74E-02	1,06E-03	4,80E-04	5,31E-02	6,43E-03	1,96E-02	5,08E-03	2,54E-01	4,56E-04	3,24E-03	1,09E-04	8,45E+05	-9,17E+05	-2,97E+06	1,06E+06	1,98E+06	-9,92E+05	9,92E+05
9	75,50	2696,32	1,62E-02	9,93E-04	4,48E-04	4,96E-02	5,36E-03	1,70E-02	7,15E-07	2,40E-01	4,33E-03	2,19E-03	9,31E-04	-1,98E+00	1,11E+00	-8,29E-04	9,89E-01	-1,21E-01	-1,22E-01	1,22E-01
18	58,58	2507,83	1,35E-02	8,29E-04	3,74E-04	4,14E-02	3,47E-03	1,48E-02	2,70E-07	2,00E-01	3,54E-03	1,76E-03	8,48E-04	-2,11E+00	1,22E+00	-5,41E-04	1,06E+00	-1,68E-01	-1,69E-01	1,69E-01
27	41,98	2280,01	1,07E-02	6,53E-04	2,95E-04	3,26E-02	2,01E-03	1,21E-02	6,97E-08	1,58E-01	2,73E-03	1,32E-03	7,32E-04	-1,17E+00	6,98E-01	-1,70E-04	5,86E-01	-1,12E-01	-1,12E-01	1,12E-01
36	29,56	2062,57	8,29E-03	5,08E-04	2,29E-04	2,54E-02	1,23E-03	9,61E-03	1,57E-08	1,23E-01	2,09E-03	9,95E-04	6,02E-04	-4,26E-01	2,55E-01	-3,93E-05	2,13E-01	-4,24E-02	-4,24E-02	4,24E-02
45	21,16	1874,67	6,53E-03	4,00E-04	1,81E-04	2,00E-02	8,65E-04	7,63E-03	3,69E-09	9,73E-02	1,64E-03	7,72E-04	4,85E-04	-1,20E-01	7,32E-02	-8,72E-06	5,98E-02	-1,34E-02	-1,35E-02	1,35E-02
54	15,62	1718,90	5,26E-03	3,22E-04	1,45E-04	1,61E-02	6,68E-04	6,16E-03	9,55E-10	7,83E-02	1,31E-03	6,18E-04	3,94E-04	-3,03E-02	1,95E-02	-2,10E-06	1,52E-02	-4,35E-03	-4,35E-03	4,35E-03
63	11,94	1591,81	4,34E-03	2,66E-04	1,20E-04	1,33E-02	5,44E-04	5,09E-03	2,73E-10	6,46E-02	1,08E-03	5,09E-04	3,27E-04	-7,79E-03	5,33E-03	-5,59E-07	3,90E-03	-1,43E-03	-1,44E-03	1,44E-03
72	9,44	1488,63	3,67E-03	2,25E-04	1,01E-04	1,12E-02	4,58E-04	4,30E-03	8,69E-11	5,47E-02	9,16E-04	4,30E-04	2,77E-04	-2,16E-03	1,57E-03	-1,63E-07	1,08E-03	-4,89E-04	-4,90E-04	4,90E-04
81	7,71	1404,93	3,17E-03	1,95E-04	8,78E-05	9,71E-03	3,96E-04	3,73E-03	3,07E-11	4,73E-02	7,92E-04	3,72E-04	2,39E-04	-6,65E-04	5,10E-04	-5,24E-08	3,32E-04	-1,78E-04	-1,78E-04	1,78E-04
90	6,48	1337,02	2,80E-03	1,72E-04	7,76E-05	8,58E-03	3,49E-04	3,29E-03	1,21E-11	4,18E-02	7,00E-04	3,29E-04	2,12E-04	-2,31E-04	1,85E-04	-1,85E-08	1,15E-04	-7,00E-05	-7,00E-05	7,00E-05
99	5,59	1281,93	2,52E-03	1,55E-04	6,98E-05	7,72E-03	3,14E-04	2,96E-03	5,35E-12	3,76E-02	6,30E-04	2,96E-04	1,91E-04	-9,09E-05	7,58E-05	-7,17E-09	4,54E-05	-3,04E-05	-3,04E-05	3,04E-05
108	4,94	1237,34	2,31E-03	1,42E-04	6,39E-05	7,07E-03	2,88E-04	2,71E-03	2,62E-12	3,44E-02	5,77E-04	2,71E-04	1,74E-04	-4,04E-05	3,48E-05	-3,04E-09	2,02E-05	-1,46E-05	-1,46E-05	1,46E-05
117	4,46	1201,39	2,15E-03	1,32E-04	5,94E-05	6,57E-03	2,67E-04	2,52E-03	1,43E-12	3,20E-02	5,36E-04	2,51E-04	1,62E-04	-2,02E-05	1,79E-05	-1,41E-09	1,01E-05	-7,76E-06	-7,76E-06	7,76E-06
126	4,10	1172,65	2,02E-03	1,24E-04	5,59E-05	6,18E-03	2,52E-04	2,37E-03	8,54E-13	3,01E-02	5,04E-04	2,37E-04	1,52E-04	-1,13E-05	1,02E-05	-7,03E-10	5,67E-06	-4,55E-06	-4,55E-06	4,55E-06
135	3,83	1149,98	1,92E-03	1,18E-04	5,32E-05	5,89E-03	2,40E-04	2,26E-03	5,61E-13	2,87E-02	4,80E-04	2,25E-04	1,45E-04	-7,04E-06	6,45E-06	-3,74E-10	3,52E-06	-2,93E-06	-2,93E-06	2,93E-06
144	3,63	1132,50	1,85E-03	1,14E-04	5,12E-05	5,67E-03	2,31E-04	2,17E-03	4,01E-13	2,76E-02	4,62E-04	2,17E-04	1,40E-04	-4,82E-06	4,47E-06	-2,09E-10	2,41E-06	-2,06E-06	-2,06E-06	2,06E-06
153	3,48	1119,54	1,80E-03	1,10E-04	4,98E-05	5,51E-03	2,24E-04	2,11E-03	3,11E-13	2,68E-02	4,49E-04	2,11E-04	1,36E-04	-3,62E-06	3,39E-06	-1,19E-10	1,81E-06	-1,58E-06	-1,58E-06	1,58E-06
162	3,39	1110,62	1,76E-03	1,08E-04	4,88E-05	5,40E-03	2,20E-04	2,07E-03	2,60E-13	2,63E-02	4,40E-04	2,07E-04	1,33E-04	-2,96E-06	2,79E-06	-6,55E-11	1,48E-06	-1,31E-06	-1,31E-06	1,31E-06
171	3,33	1105,39	1,74E-03	1,07E-04	4,82E-05	5,33E-03	2,17E-04	2,05E-03	2,34E-13	2,60E-02	4,35E-04	2,04E-04	1,32E-04	-2,62E-06	2,48E-06	-2,92E-11	1,31E-06	-1,17E-06	-1,17E-06	1,17E-06
180	3,31	1103,67	1,74E-03	1,06E-04	4,80E-05	5,31E-03	2,16E-04	2,04E-03	2,26E-13	2,59E-02	4,33E-04	2,03E-04	1,31E-04	-2,52E-06	2,39E-06	-4,36E-15	1,26E-06	-1,13E-06	-1,13E-06	1,13E-06

Teste: Razão de compressão 10, 50% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0001	0,0000	0,0049	0,0007	0,0020	0,0000	0,0262	0,0000	0,0003	0,0000	0,0363	83,18	2771,30	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,5094	0,3335	0,1216	13,6221	1,8149	5,5168	0,0000	72,0622	0,1270	0,8638	0,0287	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,18	2771,30	1,99E-02	1,20E-03	4,39E-04	4,92E-02	6,55E-03	1,99E-02	0,0E+00	2,60E-01	4,59E-04	3,12E-03	1,04E-04	-1,28E+01	1,73E+01	5,45E+01	-2,08E+01	-3,81E+01	1,63E+01	-1,63E+01
9	75,47	2695,36	1,86E-02	1,12E-03	4,09E-04	4,59E-02	5,91E-03	1,87E-02	6,63E-08	2,43E-01	4,20E-04	2,90E-03	1,04E-04	-1,29E+00	6,53E-01	-7,56E-05	6,47E-01	-6,03E-03	-6,11E-03	6,11E-03
18	58,56	2506,94	1,55E-02	9,37E-04	3,42E-04	3,83E-02	4,28E-03	1,59E-02	2,56E-08	2,03E-01	3,47E-04	2,42E-03	9,05E-05	-1,30E+00	6,56E-01	-4,94E-05	6,49E-01	-7,27E-03	-7,32E-03	7,32E-03
27	41,96	2279,20	1,22E-02	7,39E-04	2,69E-04	3,02E-02	2,97E-03	1,28E-02	7,03E-09	1,60E-01	2,71E-04	1,90E-03	7,36E-05	-5,54E-01	2,80E-01	-1,60E-05	2,77E-01	-3,44E-03	-3,46E-03	3,46E-03
36	29,55	2061,83	9,50E-03	5,75E-04	2,10E-04	2,35E-02	2,17E-03	9,99E-03	1,74E-09	1,25E-01	2,10E-04	1,48E-03	5,85E-05	-1,56E-01	8,03E-02	-4,06E-06	7,81E-02	-2,24E-03	-2,25E-03	2,25E-03
45	21,15	1874,00	7,48E-03	4,53E-04	1,65E-04	1,85E-02	1,68E-03	7,89E-03	4,37E-10	9,82E-02	1,65E-04	1,16E-03	4,68E-05	-3,69E-02	1,98E-02	-9,95E-07	1,85E-02	-1,32E-03	-1,32E-03	1,32E-03
54	15,61	1718,29	6,02E-03	3,64E-04	1,33E-04	1,49E-02	1,34E-03	6,36E-03	1,16E-10	7,91E-02	1,32E-04	9,37E-04	3,81E-05	-8,50E-03	4,82E-03	-2,53E-07	4,25E-03	-5,70E-04	-5,70E-04	5,70E-04
63	11,93	1591,24	4,97E-03	3,01E-04	1,10E-04	1,23E-02	1,10E-03	5,25E-03	3,35E-11	6,53E-02	1,09E-04	7,73E-04	3,16E-05	-2,07E-03	1,24E-03	-6,86E-08	1,03E-03	-2,11E-04	-2,11E-04	2,11E-04
72	9,44	1488,10	4,20E-03	2,54E-04	9,27E-05	1,04E-02	9,33E-04	4,44E-03	1,06E-11	5,52E-02	9,20E-05	6,54E-04	2,68E-05	-5,55E-04	3,53E-04	-2,01E-08	2,77E-04	-7,55E-05	-7,55E-05	7,55E-05
81	7,71	1404,43	3,64E-03	2,20E-04	8,02E-05	8,99E-03	8,07E-04	3,84E-03	3,74E-12	4,78E-02	7,96E-05	5,66E-04	2,32E-05	-1,68E-04	1,12E-04	-6,42E-09	8,39E-05	-2,81E-05	-2,81E-05	2,81E-05
90	6,48	1336,54	3,21E-03	1,94E-04	7,09E-05	7,94E-03	7,13E-04	3,39E-03	1,47E-12	4,22E-02	7,03E-05	5,00E-04	2,05E-05	-5,77E-05	4,01E-05	-2,25E-09	2,88E-05	-1,13E-05	-1,13E-05	1,13E-05
99	5,59	1281,47	2,89E-03	1,75E-04	6,38E-05	7,15E-03	6,42E-04	3,05E-03	6,46E-13	3,80E-02	6,33E-05	4,50E-04	1,85E-05	-2,25E-05	1,62E-05	-8,70E-10	1,13E-05	-4,95E-06	-4,95E-06	4,95E-06
108	4,94	1236,90	2,65E-03	1,60E-04	5,84E-05	6,54E-03	5,88E-04	2,80E-03	3,16E-13	3,48E-02	5,79E-05	4,12E-04	1,69E-05	-9,97E-06	7,38E-06	-3,68E-10	4,99E-06	-2,40E-06	-2,40E-06	2,40E-06
117	4,46	1200,97	2,46E-03	1,49E-04	5,43E-05	6,08E-03	5,46E-04	2,60E-03	1,71E-13	3,23E-02	5,38E-05	3,83E-04	1,57E-05	-4,98E-06	3,77E-06	-1,70E-10	2,49E-06	-1,28E-06	-1,28E-06	1,28E-06
126	4,09	1172,24	2,31E-03	1,40E-04	5,11E-05	5,72E-03	5,14E-04	2,44E-03	1,02E-13	3,04E-02	5,06E-05	3,60E-04	1,48E-05	-2,78E-06	2,14E-06	-8,46E-11	1,39E-06	-7,55E-07	-7,55E-07	7,55E-07
135	3,82	1149,57	2,20E-03	1,33E-04	4,86E-05	5,45E-03	4,89E-04	2,33E-03	6,71E-14	2,89E-02	4,82E-05	3,43E-04	1,41E-05	-1,72E-06	1,35E-06	-4,50E-11	8,62E-07	-4,88E-07	-4,88E-07	4,88E-07
144	3,62	1132,10	2,12E-03	1,28E-04	4,68E-05	5,24E-03	4,71E-04	2,24E-03	4,80E-14	2,79E-02	4,64E-05	3,30E-04	1,36E-05	-1,18E-06	9,34E-07	-2,51E-11	5,89E-07	-3,45E-07	-3,45E-07	3,45E-07
153	3,48	1119,14	2,06E-03	1,25E-04	4,55E-05	5,10E-03	4,58E-04	2,18E-03	3,72E-14	2,71E-02	4,51E-05	3,21E-04	1,32E-05	-8,83E-07	7,06E-07	-1,43E-11	4,42E-07	-2,64E-07	-2,64E-07	2,64E-07
162	3,38	1110,22	2,02E-03	1,22E-04	4,46E-05	5,00E-03	4,49E-04	2,13E-03	3,11E-14	2,65E-02	4,42E-05	3,14E-04	1,29E-05	-7,22E-07	5,80E-07	-7,85E-12	3,61E-07	-2,19E-07	-2,19E-07	2,19E-07
171	3,33	1104,99	2,00E-03	1,21E-04	4,41E-05	4,94E-03	4,43E-04	2,11E-03	2,79E-14	2,62E-02	4,37E-05	3,11E-04	1,28E-05	-6,41E-07	5,17E-07	-3,50E-12	3,20E-07	-1,96E-07	-1,96E-07	1,96E-07
180	3,31	1103,27	1,99E-03	1,20E-04	4,39E-05	4,92E-03	4,42E-04	2,10E-03	2,70E-14	2,61E-02	4,35E-05	3,09E-04	1,27E-05	-6,16E-07	4,97E-07	-2,35E-16	3,08E-07	-1,89E-07	-1,89E-07	1,89E-07

Teste: Razão de compressão 10, 50% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0021	0,0001	0,0000	0,0048	0,0007	0,0020	0,0000	0,0264	0,0000	0,0003	0,0000	0,0365	83,17	2770,93	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,7562	0,3472	0,1172	13,1767	1,8198	5,5383	0,0000	72,2398	0,1271	0,8495	0,0282	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,17	2770,93	2,08E-02	1,25E-03	4,23E-04	4,76E-02	6,57E-03	2,00E-02	0,0E+00	2,61E-01	4,59E-04	3,07E-03	1,02E-04	-1,25E+01	1,73E+01	5,42E+01	-2,09E+01	-3,82E+01	1,61E+01	-1,61E+01
9	75,46	2695,00	1,94E-02	1,17E-03	3,95E-04	4,44E-02	5,92E-03	1,88E-02	6,62E-08	2,43E-01	4,21E-04	2,85E-03	1,02E-04	-1,30E+00	6,54E-01	-7,55E-05	6,48E-01	-5,95E-03	-6,02E-03	6,02E-03
18	58,56	2506,60	1,62E-02	9,76E-04	3,29E-04	3,70E-02	4,29E-03	1,60E-02	2,55E-08	2,03E-01	3,47E-04	2,38E-03	8,88E-05	-1,30E+00	6,58E-01	-4,94E-05	6,51E-01	-7,18E-03	-7,23E-03	7,23E-03
27	41,96	2278,90	1,27E-02	7,69E-04	2,60E-04	2,92E-02	2,98E-03	1,28E-02	7,03E-09	1,60E-01	2,72E-04	1,87E-03	7,22E-05	-5,55E-01	2,81E-01	-1,60E-05	2,78E-01	-3,41E-03	-3,43E-03	3,43E-03
36	29,54	2061,56	9,92E-03	5,98E-04	2,02E-04	2,27E-02	2,18E-03	1,00E-02	1,74E-09	1,25E-01	2,10E-04	1,46E-03	5,74E-05	-1,57E-01	8,05E-02	-4,05E-06	7,83E-02	-2,23E-03	-2,23E-03	2,23E-03
45	21,15	1873,75	7,81E-03	4,71E-04	1,59E-04	1,79E-02	1,68E-03	7,92E-03	4,37E-10	9,85E-02	1,65E-04	1,15E-03	4,60E-05	-3,70E-02	1,98E-02	-9,95E-07	1,85E-02	-1,31E-03	-1,31E-03	1,31E-03
54	15,61	1718,06	6,29E-03	3,79E-04	1,28E-04	1,44E-02	1,34E-03	6,38E-03	1,16E-10	7,93E-02	1,32E-04	9,22E-04	3,74E-05	-8,52E-03	4,83E-03	-2,53E-07	4,26E-03	-5,66E-04	-5,66E-04	5,66E-04
63	11,93	1591,03	5,19E-03	3,13E-04	1,06E-04	1,19E-02	1,11E-03	5,27E-03	3,35E-11	6,54E-02	1,09E-04	7,61E-04	3,11E-05	-2,07E-03	1,25E-03	-6,86E-08	1,04E-03	-2,09E-04	-2,09E-04	2,09E-04
72	9,44	1487,90	4,39E-03	2,65E-04	8,94E-05	1,01E-02	9,36E-04	4,46E-03	1,06E-11	5,53E-02	9,21E-05	6,43E-04	2,63E-05	-5,57E-04	3,53E-04	-2,01E-08	2,78E-04	-7,50E-05	-7,50E-05	7,50E-05
81	7,71	1404,24	3,80E-03	2,29E-04	7,73E-05	8,70E-03	8,10E-04	3,86E-03	3,75E-12	4,79E-02	7,97E-05	5,56E-04	2,28E-05	-1,69E-04	1,12E-04	-6,43E-09	8,43E-05	-2,79E-05	-2,79E-05	2,79E-05
90	6,48	1336,36	3,36E-03	2,02E-04	6,83E-05	7,68E-03	7,15E-04	3,41E-03	1,47E-12	4,23E-02	7,04E-05	4,92E-04	2,02E-05	-5,79E-05	4,02E-05	-2,26E-09	2,90E-05	-1,12E-05	-1,12E-05	1,12E-05
99	5,59	1281,30	3,02E-03	1,82E-04	6,15E-05	6,92E-03	6,44E-04	3,07E-03	6,47E-13	3,81E-02	6,34E-05	4,43E-04	1,81E-05	-2,26E-05	1,62E-05	-8,72E-10	1,13E-05	-4,91E-06	-4,91E-06	4,91E-06
108	4,94	1236,73	2,77E-03	1,67E-04	5,63E-05	6,33E-03	5,89E-04	2,81E-03	3,17E-13	3,48E-02	5,80E-05	4,05E-04	1,66E-05	-1,00E-05	7,39E-06	-3,69E-10	5,01E-06	-2,38E-06	-2,38E-06	2,38E-06
117	4,46	1200,81	2,57E-03	1,55E-04	5,23E-05	5,88E-03	5,47E-04	2,61E-03	1,72E-13	3,24E-02	5,39E-05	3,76E-04	1,54E-05	-5,00E-06	3,77E-06	-1,70E-10	2,50E-06	-1,27E-06	-1,27E-06	1,27E-06
126	4,09	1172,08	2,42E-03	1,46E-04	4,92E-05	5,54E-03	5,15E-04	2,45E-03	1,03E-13	3,05E-02	5,07E-05	3,54E-04	1,45E-05	-2,79E-06	2,15E-06	-8,49E-11	1,40E-06	-7,50E-07	-7,50E-07	7,50E-07
135	3,82	1149,42	2,30E-03	1,39E-04	4,69E-05	5,27E-03	4,91E-04	2,34E-03	6,74E-14	2,90E-02	4,83E-05	3,37E-04	1,38E-05	-1,73E-06	1,35E-06	-4,51E-11	8,67E-07	-4,85E-07	-4,85E-07	4,85E-07
144	3,62	1131,95	2,22E-03	1,34E-04	4,51E-05	5,07E-03	4,72E-04	2,25E-03	4,81E-14	2,79E-02	4,65E-05	3,25E-04	1,33E-05	-1,19E-06	9,35E-07	-2,52E-11	5,93E-07	-3,42E-07	-3,42E-07	3,42E-07
153	3,48	1118,99	2,15E-03	1,30E-04	4,38E-05	4,93E-03	4,59E-04	2,19E-03	3,73E-14	2,71E-02	4,52E-05	3,15E-04	1,29E-05	-8,89E-07	7,07E-07	-1,44E-11	4,45E-07	-2,62E-07	-2,62E-07	2,62E-07
162	3,38	1110,07	2,11E-03	1,27E-04	4,30E-05	4,83E-03	4,50E-04	2,14E-03	3,12E-14	2,66E-02	4,43E-05	3,09E-04	1,27E-05	-7,27E-07	5,81E-07	-7,88E-12	3,63E-07	-2,18E-07	-2,18E-07	2,18E-07
171	3,33	1104,85	2,09E-03	1,26E-04	4,25E-05	4,78E-03	4,44E-04	2,12E-03	2,81E-14	2,63E-02	4,37E-05	3,06E-04	1,25E-05	-6,45E-07	5,17E-07	-3,51E-12	3,22E-07	-1,95E-07	-1,95E-07	1,95E-07
180	3,31	1103,13	2,08E-03	1,25E-04	4,23E-05	4,76E-03	4,43E-04	2,11E-03	2,71E-14	2,62E-02	4,36E-05	3,04E-04	1,25E-05	-6,20E-07	4,98E-07	-2,38E-16	3,10E-07	-1,88E-07	-1,88E-07	1,88E-07

Teste: Razão de compressão 10, 50% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0022	0,0001	0,0000	0,0047	0,0007	0,0020	0,0000	0,0265	0,0000	0,0003	0,0000	0,0366	83,16	2770,61	1,40	10	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,9641	0,3586	0,1135	12,8019	1,8238	5,5565	0,0000	72,3893	0,1272	0,8374	0,0277	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,16	2770,61	2,15E-02	1,29E-03	4,10E-04	4,62E-02	6,58E-03	2,01E-02	0,0E+00	2,61E-01	4,59E-04	3,02E-03	9,99E-05	-1,23E+01	1,74E+01	5,40E+01	-2,09E+01	-3,82E+01	1,58E+01	-1,58E+01
9	75,45	2694,69	2,01E-02	1,21E-03	3,82E-04	4,31E-02	5,94E-03	1,88E-02	6,62E-08	2,44E-01	4,21E-04	2,81E-03	1,01E-04	-1,30E+00	6,56E-01	-7,54E-05	6,50E-01	-5,88E-03	-5,95E-03	5,95E-03
18	58,55	2506,31	1,68E-02	1,01E-03	3,19E-04	3,60E-02	4,30E-03	1,60E-02	2,55E-08	2,04E-01	3,48E-04	2,34E-03	8,74E-05	-1,30E+00	6,59E-01	-4,93E-05	6,52E-01	-7,10E-03	-7,14E-03	7,14E-03
27	41,95	2278,63	1,32E-02	7,94E-04	2,51E-04	2,83E-02	2,98E-03	1,28E-02	7,02E-09	1,61E-01	2,72E-04	1,84E-03	7,11E-05	-5,57E-01	2,82E-01	-1,60E-05	2,78E-01	-3,38E-03	-3,40E-03	3,40E-03
36	29,54	2061,32	1,03E-02	6,18E-04	1,96E-04	2,21E-02	2,18E-03	1,01E-02	1,74E-09	1,25E-01	2,10E-04	1,43E-03	5,65E-05	-1,57E-01	8,07E-02	-4,05E-06	7,85E-02	-2,21E-03	-2,21E-03	2,21E-03
45	21,15	1873,53	8,10E-03	4,87E-04	1,54E-04	1,74E-02	1,68E-03	7,95E-03	4,37E-10	9,87E-02	1,65E-04	1,13E-03	4,53E-05	-3,71E-02	1,99E-02	-9,94E-07	1,86E-02	-1,30E-03	-1,30E-03	1,30E-03
54	15,61	1717,86	6,52E-03	3,92E-04	1,24E-04	1,40E-02	1,35E-03	6,40E-03	1,16E-10	7,94E-02	1,32E-04	9,08E-04	3,68E-05	-8,54E-03	4,83E-03	-2,53E-07	4,27E-03	-5,62E-04	-5,62E-04	5,62E-04
63	11,93	1590,84	5,38E-03	3,23E-04	1,02E-04	1,15E-02	1,11E-03	5,28E-03	3,36E-11	6,56E-02	1,09E-04	7,50E-04	3,06E-05	-2,08E-03	1,25E-03	-6,86E-08	1,04E-03	-2,08E-04	-2,08E-04	2,08E-04
72	9,43	1487,73	4,55E-03	2,74E-04	8,66E-05	9,76E-03	9,38E-04	4,47E-03	1,06E-11	5,54E-02	9,22E-05	6,34E-04	2,59E-05	-5,59E-04	3,54E-04	-2,01E-08	2,79E-04	-7,45E-05	-7,46E-05	7,46E-05
81	7,70	1404,08	3,94E-03	2,37E-04	7,49E-05	8,45E-03	8,11E-04	3,87E-03	3,75E-12	4,80E-02	7,98E-05	5,48E-04	2,24E-05	-1,69E-04	1,12E-04	-6,43E-09	8,46E-05	-2,78E-05	-2,78E-05	2,78E-05
90	6,48	1336,21	3,48E-03	2,09E-04	6,62E-05	7,46E-03	7,17E-04	3,42E-03	1,48E-12	4,24E-02	7,05E-05	4,85E-04	1,98E-05	-5,82E-05	4,02E-05	-2,26E-09	2,91E-05	-1,11E-05	-1,11E-05	1,11E-05
99	5,59	1281,15	3,13E-03	1,88E-04	5,96E-05	6,72E-03	6,45E-04	3,08E-03	6,49E-13	3,82E-02	6,34E-05	4,36E-04	1,79E-05	-2,27E-05	1,63E-05	-8,74E-10	1,14E-05	-4,88E-06	-4,88E-06	4,88E-06
108	4,94	1236,59	2,87E-03	1,72E-04	5,45E-05	6,15E-03	5,91E-04	2,82E-03	3,17E-13	3,49E-02	5,81E-05	3,99E-04	1,64E-05	-1,01E-05	7,40E-06	-3,70E-10	5,04E-06	-2,36E-06	-2,36E-06	2,36E-06
117	4,46	1200,67	2,66E-03	1,60E-04	5,07E-05	5,71E-03	5,49E-04	2,62E-03	1,72E-13	3,24E-02	5,39E-05	3,71E-04	1,52E-05	-5,03E-06	3,78E-06	-1,71E-10	2,51E-06	-1,26E-06	-1,26E-06	1,26E-06
126	4,09	1171,94	2,51E-03	1,51E-04	4,77E-05	5,38E-03	5,16E-04	2,46E-03	1,03E-13	3,05E-02	5,08E-05	3,49E-04	1,43E-05	-2,81E-06	2,15E-06	-8,51E-11	1,40E-06	-7,45E-07	-7,45E-07	7,45E-07
135	3,82	1149,29	2,39E-03	1,43E-04	4,54E-05	5,12E-03	4,92E-04	2,34E-03	6,76E-14	2,91E-02	4,83E-05	3,32E-04	1,36E-05	-1,74E-06	1,35E-06	-4,53E-11	8,71E-07	-4,82E-07	-4,82E-07	4,82E-07
144	3,62	1131,81	2,30E-03	1,38E-04	4,37E-05	4,93E-03	4,73E-04	2,26E-03	4,83E-14	2,80E-02	4,65E-05	3,20E-04	1,31E-05	-1,19E-06	9,36E-07	-2,53E-11	5,96E-07	-3,40E-07	-3,40E-07	3,40E-07
153	3,48	1118,86	2,23E-03	1,34E-04	4,25E-05	4,79E-03	4,60E-04	2,19E-03	3,74E-14	2,72E-02	4,52E-05	3,11E-04	1,27E-05	-8,94E-07	7,08E-07	-1,44E-11	4,47E-07	-2,61E-07	-2,61E-07	2,61E-07
162	3,38	1109,94	2,19E-03	1,32E-04	4,16E-05	4,69E-03	4,51E-04	2,15E-03	3,13E-14	2,67E-02	4,43E-05	3,05E-04	1,25E-05	-7,30E-07	5,82E-07	-7,90E-12	3,65E-07	-2,16E-07	-2,16E-07	2,16E-07
171	3,33	1104,72	2,16E-03	1,30E-04	4,11E-05	4,64E-03	4,45E-04	2,12E-03	2,81E-14	2,63E-02	4,38E-05	3,01E-04	1,23E-05	-6,48E-07	5,18E-07	-3,52E-12	3,24E-07	-1,94E-07	-1,94E-07	1,94E-07
180	3,31	1103,00	2,15E-03	1,29E-04	4,10E-05	4,62E-03	4,44E-04	2,12E-03	2,72E-14	2,62E-02	4,36E-05	3,00E-04	1,23E-05	-6,23E-07	4,98E-07	-2,41E-16	3,11E-07	-1,87E-07	-1,87E-07	1,87E-07

Teste: Razão de compressão 10, 50% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0002	0,0003	0,0014	0,0082	0,0005	0,0003	0,0055	0,0182	0,0002	0,0010	0,0004	0,036101	125,60	3487,10	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,5754	0,7803	3,8380	22,7496	1,4037	0,9588	15,1908	50,3232	0,4159	2,7631	1,0012	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	125,60	3487,10	2,49E-03	3,38E-03	1,66E-02	9,86E-02	6,08E-03	4,15E-03	6,58E-02	2,18E-01	1,80E-03	1,20E-02	4,34E-03	4,02E+07	-4,48E+06	-6,71E+07	1,35E+07	1,79E+07	-4,92E+07	4,92E+07
9	111,62	3371,53	2,29E-03	3,11E-03	1,53E-02	9,06E-02	1,39E-05	2,50E-08	2,53E-02	2,21E-01	2,59E-02	1,54E-08	1,50E-02	-2,09E-02	-5,18E-05	-2,11E-02	2,10E-02	2,11E-02	-3,77E-05	3,77E-05
18	82,67	3094,36	1,85E-03	2,51E-03	1,23E-02	7,31E-02	4,08E-06	4,80E-09	2,04E-02	1,78E-01	2,09E-02	2,40E-09	1,21E-02	-1,06E-02	-1,71E-05	-1,06E-02	1,06E-02	1,06E-02	-1,00E-05	1,00E-05
27	56,46	2774,89	1,41E-03	1,91E-03	9,39E-03	5,57E-02	7,58E-07	4,89E-10	1,55E-02	1,36E-01	1,59E-02	1,82E-10	9,21E-03	-2,39E-03	-2,15E-06	-2,40E-03	2,40E-03	2,40E-03	-9,30E-07	9,30E-07
36	38,26	2482,85	1,07E-03	1,45E-03	7,11E-03	4,22E-02	1,15E-07	3,74E-11	1,18E-02	1,03E-01	1,20E-02	9,91E-12	6,98E-03	-3,88E-04	-1,77E-07	-3,88E-04	3,88E-04	3,88E-04	-5,44E-08	5,44E-08
45	26,63	2238,68	8,23E-04	1,12E-03	5,49E-03	3,25E-02	1,68E-08	2,68E-12	9,07E-03	7,93E-02	9,30E-03	5,01E-13	5,39E-03	-5,66E-05	-1,27E-08	-5,66E-05	5,66E-05	5,66E-05	-2,75E-09	2,75E-09
54	19,27	2041,04	6,53E-04	8,86E-04	4,36E-03	2,58E-02	2,58E-09	2,05E-13	7,20E-03	6,30E-02	7,38E-03	2,71E-14	4,27E-03	-8,39E-06	-9,42E-10	-8,39E-06	8,39E-06	8,39E-06	-1,44E-10	1,44E-10
63	14,52	1882,49	5,34E-04	7,24E-04	3,56E-03	2,11E-02	4,40E-10	1,80E-14	5,88E-03	5,14E-02	6,03E-03	1,71E-15	3,49E-03	-1,35E-06	-7,78E-11	-1,35E-06	1,35E-06	1,35E-06	-8,55E-12	8,55E-12
72	11,37	1755,32	4,48E-04	6,08E-04	2,99E-03	1,77E-02	8,58E-11	1,88E-15	4,94E-03	4,32E-02	5,06E-03	1,32E-16	2,93E-03	-2,42E-07	-7,53E-12	-2,42E-07	2,42E-07	2,42E-07	-6,08E-13	6,08E-13
81	9,21	1653,08	3,86E-04	5,23E-04	2,57E-03	1,52E-02	1,94E-11	2,41E-16	4,25E-03	3,72E-02	4,36E-03	1,28E-17	2,52E-03	-4,96E-08	-8,75E-13	-4,96E-08	4,96E-08	4,96E-08	-5,33E-14	5,33E-14
90	7,70	1570,65	3,39E-04	4,60E-04	2,26E-03	1,34E-02	5,11E-12	3,81E-17	3,74E-03	3,27E-02	3,83E-03	1,57E-18	2,22E-03	-1,17E-08	-1,24E-13	-1,17E-08	1,17E-08	1,17E-08	-5,84E-15	5,84E-15
99	6,62	1504,13	3,05E-04	4,13E-04	2,03E-03	1,20E-02	1,58E-12	7,46E-18	3,36E-03	2,94E-02	3,44E-03	2,45E-19	1,99E-03	-3,17E-09	-2,13E-14	-3,17E-09	3,17E-09	3,17E-09	-8,04E-16	8,04E-16
108	5,83	1450,47	2,78E-04	3,77E-04	1,86E-03	1,10E-02	5,66E-13	1,80E-18	3,07E-03	2,68E-02	3,14E-03	4,86E-20	1,82E-03	-9,86E-10	-4,45E-15	-9,86E-10	9,86E-10	9,86E-10	-1,38E-16	1,38E-16
117	5,25	1407,35	2,58E-04	3,50E-04	1,72E-03	1,02E-02	2,36E-13	5,33E-19	2,84E-03	2,49E-02	2,91E-03	1,21E-20	1,69E-03	-3,49E-10	-1,12E-15	-3,49E-10	3,49E-10	3,49E-10	-2,94E-17	2,94E-17
126	4,81	1372,94	2,42E-04	3,29E-04	1,62E-03	9,59E-03	1,13E-13	1,91E-19	2,67E-03	2,34E-02	2,74E-03	3,78E-21	1,59E-03	-1,39E-10	-3,35E-16	-1,39E-10	1,39E-10	1,39E-10	-7,63E-18	7,63E-18
135	4,49	1345,84	2,31E-04	3,13E-04	1,54E-03	9,12E-03	6,14E-14	8,23E-20	2,54E-03	2,22E-02	2,61E-03	1,45E-21	1,51E-03	-6,15E-11	-1,17E-16	-6,15E-11	6,15E-11	6,15E-11	-2,37E-18	2,37E-18
144	4,25	1324,97	2,22E-04	3,01E-04	1,48E-03	8,77E-03	3,79E-14	4,20E-20	2,45E-03	2,14E-02	2,51E-03	6,74E-22	1,45E-03	-2,97E-11	-4,68E-17	-2,97E-11	2,97E-11	2,97E-11	-8,61E-19	8,61E-19
153	4,08	1309,52	2,15E-04	2,92E-04	1,44E-03	8,52E-03	2,62E-14	2,52E-20	2,37E-03	2,08E-02	2,43E-03	3,76E-22	1,41E-03	-1,51E-11	-2,06E-17	-1,51E-11	1,51E-11	1,51E-11	-3,54E-19	3,54E-19
162	3,96	1298,88	2,11E-04	2,86E-04	1,41E-03	8,34E-03	2,03E-14	1,76E-20	2,33E-03	2,03E-02	2,38E-03	2,50E-22	1,38E-03	-7,67E-12	-9,47E-18	-7,67E-12	7,67E-12	7,67E-12	-1,55E-19	1,55E-19
171	3,90	1292,65	2,09E-04	2,83E-04	1,39E-03	8,25E-03	1,74E-14	1,42E-20	2,30E-03	2,01E-02	2,36E-03	1,96E-22	1,36E-03	-3,26E-12	-3,80E-18	-3,26E-12	3,26E-12	3,26E-12	-6,01E-20	6,01E-20
180	3,87	1290,60	2,08E-04	2,82E-04	1,39E-03	8,21E-03	1,66E-14	1,33E-20	2,29E-03	2,00E-02	2,35E-03	1,81E-22	1,36E-03	-9,92E-17	-5,05E-21	-9,92E-17	9,92E-17	9,92E-17	-2,05E-24	2,05E-24

Teste: Razão de compressão 12, 0% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0006	0,0009	0,0012	0,0072	0,0007	0,0004	0,0018	0,0217	0,0002	0,0011	0,0004	0,036101	127,38	3536,51	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	1,7924	2,4225	3,3299	19,9599	1,8106	1,2254	4,8849	60,0436	0,5323	2,9580	1,0406	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	127,38	3536,51	7,76E-03	1,05E-02	1,44E-02	8,65E-02	7,84E-03	5,31E-03	2,12E-02	2,60E-01	2,31E-03	1,28E-02	4,51E-03	1,33E+07	-1,90E+06	-2,44E+07	5,59E+06	7,49E+06	-1,69E+07	1,69E+07
9	113,21	3419,30	7,14E-03	9,65E-03	1,33E-02	7,95E-02	6,01E-03	3,79E-03	4,03E-05	2,49E-01	1,35E-02	3,76E-03	1,22E-02	-1,70E+00	9,50E-01	-4,74E-02	8,74E-01	-7,60E-02	-1,23E-01	1,23E-01
18	83,84	3138,20	5,76E-03	7,78E-03	1,07E-02	6,41E-02	3,95E-03	3,59E-03	1,47E-05	2,02E-01	1,08E-02	2,94E-03	9,91E-03	-2,06E+00	1,30E+00	-2,93E-02	1,04E+00	-2,56E-01	-2,85E-01	2,85E-01
27	57,26	2814,21	4,39E-03	5,93E-03	8,15E-03	4,88E-02	2,22E-03	3,27E-03	3,72E-06	1,54E-01	8,11E-03	2,09E-03	7,69E-03	-1,51E+00	1,11E+00	-8,97E-03	7,60E-01	-3,54E-01	-3,63E-01	3,63E-01
36	38,80	2518,03	3,32E-03	4,49E-03	6,17E-03	3,70E-02	1,18E-03	2,88E-03	8,16E-07	1,17E-01	5,99E-03	1,44E-03	5,97E-03	-8,58E-01	7,23E-01	-2,08E-03	4,30E-01	-2,92E-01	-2,94E-01	2,94E-01
45	27,01	2270,40	2,56E-03	3,47E-03	4,76E-03	2,86E-02	6,42E-04	2,45E-03	1,77E-07	9,04E-02	4,53E-03	1,01E-03	4,71E-03	-4,10E-01	3,54E-01	-4,47E-04	2,05E-01	-1,49E-01	-1,50E-01	1,50E-01
54	19,54	2069,96	2,04E-03	2,75E-03	3,78E-03	2,27E-02	3,88E-04	2,05E-03	4,13E-08	7,18E-02	3,56E-03	7,63E-04	3,78E-03	-1,72E-01	1,36E-01	-9,75E-05	8,59E-02	-5,00E-02	-5,01E-02	5,01E-02
63	14,72	1909,16	1,66E-03	2,25E-03	3,09E-03	1,85E-02	2,67E-04	1,71E-03	1,10E-08	5,87E-02	2,89E-03	6,11E-04	3,10E-03	-6,53E-02	4,70E-02	-2,32E-05	3,27E-02	-1,43E-02	-1,43E-02	1,43E-02
72	11,53	1780,20	1,40E-03	1,89E-03	2,59E-03	1,55E-02	2,06E-04	1,45E-03	3,47E-09	4,93E-02	2,42E-03	5,09E-04	2,60E-03	-2,39E-02	1,65E-02	-6,39E-06	1,20E-02	-4,51E-03	-4,52E-03	4,52E-03
81	9,34	1676,50	1,20E-03	1,62E-03	2,23E-03	1,34E-02	1,70E-04	1,25E-03	1,26E-09	4,24E-02	2,09E-03	4,37E-04	2,24E-03	-8,97E-03	6,21E-03	-2,04E-06	4,49E-03	-1,72E-03	-1,72E-03	1,72E-03
90	7,81	1592,91	1,06E-03	1,43E-03	1,96E-03	1,18E-02	1,47E-04	1,10E-03	5,20E-10	3,73E-02	1,83E-03	3,84E-04	1,97E-03	-3,59E-03	2,56E-03	-7,37E-07	1,80E-03	-7,65E-04	-7,66E-04	7,66E-04
99	6,71	1525,44	9,49E-04	1,28E-03	1,76E-03	1,06E-02	1,31E-04	9,91E-04	2,41E-10	3,35E-02	1,65E-03	3,44E-04	1,77E-03	-1,58E-03	1,17E-03	-2,97E-07	7,88E-04	-3,80E-04	-3,80E-04	3,80E-04
108	5,91	1471,02	8,66E-04	1,17E-03	1,61E-03	9,65E-03	1,19E-04	9,06E-04	1,24E-10	3,06E-02	1,50E-03	3,14E-04	1,62E-03	-7,62E-04	5,88E-04	-1,32E-07	3,81E-04	-2,07E-04	-2,07E-04	2,07E-04
117	5,32	1427,29	8,03E-04	1,09E-03	1,49E-03	8,95E-03	1,10E-04	8,40E-04	7,06E-11	2,84E-02	1,39E-03	2,91E-04	1,50E-03	-4,08E-04	3,27E-04	-6,35E-08	2,04E-04	-1,23E-04	-1,23E-04	1,23E-04
126	4,88	1392,39	7,55E-04	1,02E-03	1,40E-03	8,41E-03	1,03E-04	7,90E-04	4,40E-11	2,67E-02	1,31E-03	2,74E-04	1,41E-03	-2,41E-04	1,99E-04	-3,29E-08	1,20E-04	-7,87E-05	-7,87E-05	7,87E-05
135	4,55	1364,91	7,19E-04	9,71E-04	1,33E-03	8,00E-03	9,80E-05	7,51E-04	2,99E-11	2,54E-02	1,25E-03	2,60E-04	1,34E-03	-1,56E-04	1,32E-04	-1,81E-08	7,80E-05	-5,45E-05	-5,45E-05	5,45E-05
144	4,31	1343,74	6,91E-04	9,34E-04	1,28E-03	7,69E-03	9,42E-05	7,23E-04	2,20E-11	2,44E-02	1,20E-03	2,50E-04	1,29E-03	-1,10E-04	9,58E-05	-1,04E-08	5,52E-05	-4,06E-05	-4,06E-05	4,06E-05
153	4,13	1328,07	6,71E-04	9,07E-04	1,25E-03	7,47E-03	9,14E-05	7,02E-04	1,74E-11	2,37E-02	1,16E-03	2,43E-04	1,25E-03	-8,48E-05	7,49E-05	-6,04E-09	4,24E-05	-3,25E-05	-3,25E-05	3,25E-05
162	4,02	1317,28	6,57E-04	8,89E-04	1,22E-03	7,32E-03	8,95E-05	6,88E-04	1,47E-11	2,32E-02	1,14E-03	2,38E-04	1,23E-03	-7,05E-05	6,30E-05	-3,37E-09	3,53E-05	-2,77E-05	-2,77E-05	2,77E-05
171	3,95	1310,97	6,50E-04	8,78E-04	1,21E-03	7,23E-03	8,84E-05	6,79E-04	1,34E-11	2,29E-02	1,13E-03	2,35E-04	1,21E-03	-6,32E-05	5,69E-05	-1,52E-09	3,16E-05	-2,53E-05	-2,53E-05	2,53E-05
180	3,93	1308,89	6,47E-04	8,75E-04	1,20E-03	7,21E-03	8,81E-05	6,77E-04	1,30E-11	2,28E-02	1,12E-03	2,34E-04	1,21E-03	-6,09E-05	5,49E-05	-6,50E-12	3,05E-05	-2,45E-05	-2,45E-05	2,45E-05

Teste: Razão de compressão 12, 0% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0011	0,0015	0,0010	0,0061	0,0008	0,0006	0,0000	0,0243	0,0002	0,0011	0,0004	0,0372	129,30	3589,63	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,9568	4,1080	2,7820	16,3567	2,1946	1,5150	0,0000	65,3123	0,6629	3,0583	1,0533	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	129,30	3589,63	1,28E-02	1,78E-02	1,21E-02	7,09E-02	9,51E-03	6,56E-03	0,0E+00	2,83E-01	2,87E-03	1,32E-02	4,56E-03	-5,67E+03	1,13E+03	1,23E+04	-3,33E+03	-4,46E+03	7,88E+03	-7,88E+03
9	114,91	3470,66	1,18E-02	1,64E-02	1,11E-02	6,51E-02	8,32E-03	6,33E-03	6,76E-06	2,60E-01	2,55E-03	1,21E-02	4,27E-03	-2,44E+00	1,33E+00	-8,18E-03	1,22E+00	-1,08E-01	-1,16E-01	1,16E-01
18	85,11	3185,34	9,50E-03	1,32E-02	8,94E-03	5,26E-02	5,44E-03	5,82E-03	2,45E-06	2,11E-01	1,99E-03	9,69E-03	3,53E-03	-2,90E+00	1,67E+00	-5,05E-03	1,45E+00	-2,18E-01	-2,23E-01	2,23E-01
27	58,12	2856,48	7,24E-03	1,01E-02	6,81E-03	4,00E-02	3,06E-03	5,07E-03	6,08E-07	1,61E-01	1,41E-03	7,27E-03	2,79E-03	-2,00E+00	1,23E+00	-1,52E-03	1,00E+00	-2,25E-01	-2,27E-01	2,27E-01
36	39,38	2555,85	5,48E-03	7,61E-03	5,16E-03	3,03E-02	1,69E-03	4,24E-03	1,31E-07	1,22E-01	9,91E-04	5,43E-03	2,19E-03	-9,96E-01	6,22E-01	-3,39E-04	4,98E-01	-1,24E-01	-1,24E-01	1,24E-01
45	27,41	2304,51	4,23E-03	5,88E-03	3,98E-03	2,34E-02	1,02E-03	3,45E-03	2,90E-08	9,45E-02	7,33E-04	4,16E-03	1,72E-03	-3,94E-01	2,34E-01	-7,07E-05	1,97E-01	-3,66E-02	-3,66E-02	3,66E-02
54	19,84	2101,05	3,36E-03	4,66E-03	3,16E-03	1,86E-02	6,99E-04	2,80E-03	7,30E-09	7,51E-02	5,73E-04	3,29E-03	1,38E-03	-1,35E-01	7,58E-02	-1,60E-05	6,77E-02	-8,07E-03	-8,09E-03	8,09E-03
63	14,95	1937,84	2,74E-03	3,81E-03	2,58E-03	1,52E-02	5,35E-04	2,30E-03	2,13E-09	6,13E-02	4,66E-04	2,69E-03	1,13E-03	-4,38E-02	2,43E-02	-4,19E-06	2,19E-02	-2,41E-03	-2,42E-03	2,42E-03
72	11,70	1806,94	2,30E-03	3,20E-03	2,17E-03	1,27E-02	4,37E-04	1,94E-03	7,12E-10	5,15E-02	3,91E-04	2,26E-03	9,46E-04	-1,44E-02	8,25E-03	-1,25E-06	7,18E-03	-1,06E-03	-1,07E-03	1,07E-03
81	9,48	1701,68	1,98E-03	2,75E-03	1,86E-03	1,10E-02	3,72E-04	1,67E-03	2,68E-10	4,43E-02	3,36E-04	1,94E-03	8,14E-04	-5,03E-03	3,05E-03	-4,22E-07	2,52E-03	-5,33E-04	-5,34E-04	5,34E-04
90	7,93	1616,84	1,74E-03	2,42E-03	1,64E-03	9,65E-03	3,26E-04	1,47E-03	1,12E-10	3,90E-02	2,95E-04	1,71E-03	7,17E-04	-1,94E-03	1,25E-03	-1,57E-07	9,69E-04	-2,77E-04	-2,77E-04	2,77E-04
99	6,82	1548,35	1,57E-03	2,17E-03	1,47E-03	8,66E-03	2,92E-04	1,32E-03	5,25E-11	3,50E-02	2,65E-04	1,53E-03	6,43E-04	-8,28E-04	5,64E-04	-6,44E-08	4,14E-04	-1,50E-04	-1,50E-04	1,50E-04
108	6,00	1493,12	1,43E-03	1,99E-03	1,34E-03	7,91E-03	2,66E-04	1,21E-03	2,72E-11	3,20E-02	2,42E-04	1,40E-03	5,88E-04	-3,94E-04	2,83E-04	-2,88E-08	1,97E-04	-8,60E-05	-8,60E-05	8,60E-05
117	5,40	1448,73	1,33E-03	1,84E-03	1,25E-03	7,33E-03	2,47E-04	1,12E-03	1,55E-11	2,96E-02	2,24E-04	1,30E-03	5,45E-04	-2,09E-04	1,57E-04	-1,39E-08	1,04E-04	-5,26E-05	-5,26E-05	5,26E-05
126	4,95	1413,30	1,25E-03	1,73E-03	1,17E-03	6,89E-03	2,32E-04	1,05E-03	9,64E-12	2,79E-02	2,11E-04	1,22E-03	5,12E-04	-1,22E-04	9,57E-05	-7,23E-09	6,12E-05	-3,45E-05	-3,45E-05	3,45E-05
135	4,62	1385,41	1,19E-03	1,65E-03	1,12E-03	6,56E-03	2,21E-04	1,00E-03	6,55E-12	2,65E-02	2,01E-04	1,16E-03	4,87E-04	-7,90E-05	6,37E-05	-3,98E-09	3,95E-05	-2,43E-05	-2,43E-05	2,43E-05
144	4,37	1363,93	1,14E-03	1,58E-03	1,07E-03	6,31E-03	2,12E-04	9,64E-04	4,81E-12	2,55E-02	1,93E-04	1,12E-03	4,69E-04	-5,57E-05	4,61E-05	-2,28E-09	2,78E-05	-1,83E-05	-1,83E-05	1,83E-05
153	4,20	1348,02	1,11E-03	1,54E-03	1,04E-03	6,12E-03	2,06E-04	9,36E-04	3,80E-12	2,48E-02	1,87E-04	1,08E-03	4,55E-04	-4,27E-05	3,61E-05	-1,33E-09	2,14E-05	-1,47E-05	-1,47E-05	1,47E-05
162	4,08	1337,07	1,08E-03	1,51E-03	1,02E-03	6,00E-03	2,02E-04	9,17E-04	3,23E-12	2,43E-02	1,84E-04	1,06E-03	4,46E-04	-3,55E-05	3,04E-05	-7,40E-10	1,77E-05	-1,26E-05	-1,26E-05	1,26E-05
171	4,01	1330,66	1,07E-03	1,49E-03	1,01E-03	5,93E-03	1,99E-04	9,06E-04	2,93E-12	2,40E-02	1,81E-04	1,05E-03	4,41E-04	-3,18E-05	2,74E-05	-3,33E-10	1,59E-05	-1,15E-05	-1,15E-05	1,15E-05
180	3,99	1328,55	1,07E-03	1,48E-03	1,00E-03	5,91E-03	1,99E-04	9,02E-04	2,83E-12	2,39E-02	1,81E-04	1,05E-03	4,39E-04	-3,06E-05	2,65E-05	-3,51E-13	1,53E-05	-1,12E-05	-1,12E-05	1,12E-05

Teste: Razão de compressão 12, 0% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0013	0,0018	0,0010	0,0057	0,0009	0,0006	0,0000	0,0250	0,0003	0,0012	0,0004	0,0380	130,03	3609,94	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,3321	4,7035	2,5661	14,8940	2,3143	1,6185	0,0000	65,7445	0,7176	3,0554	1,0540	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	130,03	3609,94	1,44E-02	2,04E-02	1,11E-02	6,45E-02	1,00E-02	7,01E-03	0,0E+00	2,85E-01	3,11E-03	1,32E-02	4,57E-03	-6,12E+03	1,34E+03	1,38E+04	-3,86E+03	-5,20E+03	8,64E+03	-8,64E+03
9	115,56	3490,29	1,33E-02	1,87E-02	1,02E-02	5,93E-02	8,77E-03	6,75E-03	7,44E-06	2,62E-01	2,77E-03	1,21E-02	4,28E-03	-2,57E+00	1,40E+00	-8,94E-03	1,29E+00	-1,15E-01	-1,24E-01	1,24E-01
18	85,59	3203,36	1,07E-02	1,51E-02	8,25E-03	4,79E-02	5,74E-03	6,20E-03	2,71E-06	2,12E-01	2,15E-03	9,67E-03	3,54E-03	-3,05E+00	1,76E+00	-5,55E-03	1,53E+00	-2,32E-01	-2,37E-01	2,37E-01
27	58,45	2872,64	8,15E-03	1,15E-02	6,28E-03	3,64E-02	3,23E-03	5,40E-03	6,78E-07	1,62E-01	1,53E-03	7,25E-03	2,80E-03	-2,12E+00	1,31E+00	-1,68E-03	1,06E+00	-2,44E-01	-2,46E-01	2,46E-01
36	39,60	2570,31	6,17E-03	8,72E-03	4,76E-03	2,76E-02	1,77E-03	4,51E-03	1,47E-07	1,23E-01	1,07E-03	5,41E-03	2,21E-03	-1,07E+00	6,77E-01	-3,79E-04	5,35E-01	-1,42E-01	-1,42E-01	1,42E-01
45	27,57	2317,55	4,77E-03	6,73E-03	3,67E-03	2,13E-02	1,06E-03	3,68E-03	3,26E-08	9,52E-02	7,91E-04	4,14E-03	1,74E-03	-4,31E-01	2,61E-01	-7,95E-05	2,15E-01	-4,53E-02	-4,54E-02	4,54E-02
54	19,95	2112,94	3,78E-03	5,34E-03	2,91E-03	1,69E-02	7,22E-04	2,99E-03	8,21E-09	7,56E-02	6,17E-04	3,27E-03	1,39E-03	-1,50E-01	8,60E-02	-1,80E-05	7,51E-02	-1,09E-02	-1,09E-02	1,09E-02
63	15,03	1948,80	3,09E-03	4,36E-03	2,38E-03	1,38E-02	5,49E-04	2,46E-03	2,40E-09	6,18E-02	5,01E-04	2,67E-03	1,14E-03	-4,93E-02	2,79E-02	-4,71E-06	2,46E-02	-3,27E-03	-3,28E-03	3,28E-03
72	11,77	1817,16	2,60E-03	3,66E-03	2,00E-03	1,16E-02	4,48E-04	2,08E-03	8,05E-10	5,19E-02	4,20E-04	2,24E-03	9,60E-04	-1,64E-02	9,56E-03	-1,41E-06	8,18E-03	-1,38E-03	-1,38E-03	1,38E-03
81	9,54	1711,31	2,23E-03	3,15E-03	1,72E-03	9,98E-03	3,81E-04	1,79E-03	3,04E-10	4,47E-02	3,61E-04	1,93E-03	8,26E-04	-5,79E-03	3,56E-03	-4,76E-07	2,89E-03	-6,70E-04	-6,71E-04	6,71E-04
90	7,97	1625,98	1,97E-03	2,77E-03	1,51E-03	8,79E-03	3,33E-04	1,58E-03	1,28E-10	3,93E-02	3,18E-04	1,70E-03	7,27E-04	-2,24E-03	1,46E-03	-1,78E-07	1,12E-03	-3,43E-04	-3,43E-04	3,43E-04
99	6,85	1557,11	1,76E-03	2,49E-03	1,36E-03	7,88E-03	2,98E-04	1,42E-03	6,00E-11	3,53E-02	2,85E-04	1,52E-03	6,53E-04	-9,64E-04	6,66E-04	-7,32E-08	4,82E-04	-1,84E-04	-1,84E-04	1,84E-04
108	6,04	1501,57	1,61E-03	2,27E-03	1,24E-03	7,20E-03	2,72E-04	1,29E-03	3,12E-11	3,22E-02	2,60E-04	1,39E-03	5,96E-04	-4,61E-04	3,36E-04	-3,28E-08	2,31E-04	-1,05E-04	-1,05E-04	1,05E-04
117	5,43	1456,92	1,49E-03	2,11E-03	1,15E-03	6,68E-03	2,52E-04	1,20E-03	1,78E-11	2,99E-02	2,41E-04	1,29E-03	5,53E-04	-2,45E-04	1,87E-04	-1,59E-08	1,23E-04	-6,42E-05	-6,42E-05	6,42E-05
126	4,98	1421,30	1,40E-03	1,98E-03	1,08E-03	6,28E-03	2,37E-04	1,13E-03	1,11E-11	2,81E-02	2,27E-04	1,21E-03	5,20E-04	-1,44E-04	1,14E-04	-8,28E-09	7,21E-05	-4,20E-05	-4,21E-05	4,21E-05
135	4,64	1393,25	1,34E-03	1,89E-03	1,03E-03	5,97E-03	2,25E-04	1,07E-03	7,56E-12	2,67E-02	2,16E-04	1,15E-03	4,95E-04	-9,32E-05	7,62E-05	-4,57E-09	4,66E-05	-2,96E-05	-2,96E-05	2,96E-05
144	4,40	1371,65	1,28E-03	1,81E-03	9,89E-04	5,74E-03	2,17E-04	1,03E-03	5,57E-12	2,57E-02	2,07E-04	1,11E-03	4,76E-04	-6,59E-05	5,52E-05	-2,63E-09	3,29E-05	-2,23E-05	-2,23E-05	2,23E-05
153	4,22	1355,65	1,25E-03	1,76E-03	9,61E-04	5,58E-03	2,10E-04	1,00E-03	4,41E-12	2,49E-02	2,01E-04	1,08E-03	4,62E-04	-5,06E-05	4,32E-05	-1,53E-09	2,53E-05	-1,79E-05	-1,79E-05	1,79E-05
162	4,10	1344,63	1,22E-03	1,73E-03	9,41E-04	5,46E-03	2,06E-04	9,81E-04	3,74E-12	2,44E-02	1,97E-04	1,05E-03	4,53E-04	-4,20E-05	3,64E-05	-8,53E-10	2,10E-05	-1,54E-05	-1,54E-05	1,54E-05
171	4,03	1338,19	1,21E-03	1,70E-03	9,30E-04	5,40E-03	2,04E-04	9,69E-04	3,40E-12	2,41E-02	1,95E-04	1,04E-03	4,47E-04	-3,77E-05	3,29E-05	-3,84E-10	1,88E-05	-1,41E-05	-1,41E-05	1,41E-05
180	4,01	1336,06	1,20E-03	1,70E-03	9,26E-04	5,38E-03	2,03E-04	9,66E-04	3,29E-12	2,41E-02	1,94E-04	1,04E-03	4,45E-04	-3,63E-05	3,18E-05	-4,66E-13	1,82E-05	-1,36E-05	-1,36E-05	1,36E-05

Teste: Razão de compressão 12, 0% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0013	0,0019	0,0010	0,0055	0,0009	0,0006	0,0000	0,0253	0,0003	0,0012	0,0004	0,0383	130,31	3617,71	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,4718	4,9244	2,4829	14,3571	2,3592	1,6557	0,0000	65,9056	0,7406	3,0473	1,0553	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	130,31	3617,71	1,50E-02	2,13E-02	1,08E-02	6,22E-02	1,02E-02	7,17E-03	0,0E+00	2,86E-01	3,21E-03	1,32E-02	4,57E-03	-6,29E+03	1,43E+03	1,45E+04	-4,08E+03	-5,51E+03	8,95E+03	-8,95E+03
9	115,81	3497,81	1,38E-02	1,96E-02	9,89E-03	5,72E-02	8,95E-03	6,91E-03	7,73E-06	2,63E-01	2,86E-03	1,21E-02	4,29E-03	-2,61E+00	1,43E+00	-9,27E-03	1,31E+00	-1,18E-01	-1,27E-01	1,27E-01
18	85,77	3210,26	1,12E-02	1,58E-02	7,98E-03	4,61E-02	5,86E-03	6,34E-03	2,82E-06	2,13E-01	2,22E-03	9,64E-03	3,54E-03	-3,11E+00	1,79E+00	-5,76E-03	1,56E+00	-2,37E-01	-2,42E-01	2,42E-01
27	58,58	2878,82	8,50E-03	1,21E-02	6,08E-03	3,51E-02	3,29E-03	5,52E-03	7,08E-07	1,63E-01	1,58E-03	7,23E-03	2,81E-03	-2,17E+00	1,34E+00	-1,75E-03	1,08E+00	-2,51E-01	-2,53E-01	2,53E-01
36	39,69	2575,84	6,43E-03	9,13E-03	4,60E-03	2,66E-02	1,80E-03	4,62E-03	1,54E-07	1,23E-01	1,11E-03	5,38E-03	2,22E-03	-1,10E+00	6,98E-01	-3,96E-04	5,50E-01	-1,49E-01	-1,49E-01	1,49E-01
45	27,63	2322,53	4,97E-03	7,05E-03	3,55E-03	2,05E-02	1,07E-03	3,76E-03	3,42E-08	9,54E-02	8,16E-04	4,12E-03	1,75E-03	-4,45E-01	2,72E-01	-8,33E-05	2,23E-01	-4,90E-02	-4,91E-02	4,91E-02
54	19,99	2117,48	3,94E-03	5,59E-03	2,82E-03	1,63E-02	7,29E-04	3,06E-03	8,61E-09	7,58E-02	6,36E-04	3,26E-03	1,40E-03	-1,56E-01	9,02E-02	-1,89E-05	7,81E-02	-1,21E-02	-1,21E-02	1,21E-02
63	15,06	1953,00	3,22E-03	4,57E-03	2,30E-03	1,33E-02	5,54E-04	2,52E-03	2,52E-09	6,20E-02	5,17E-04	2,66E-03	1,15E-03	-5,15E-02	2,94E-02	-4,93E-06	2,58E-02	-3,65E-03	-3,65E-03	3,65E-03
72	11,79	1821,07	2,70E-03	3,84E-03	1,93E-03	1,12E-02	4,51E-04	2,13E-03	8,45E-10	5,20E-02	4,33E-04	2,23E-03	9,66E-04	-1,72E-02	1,01E-02	-1,48E-06	8,59E-03	-1,52E-03	-1,52E-03	1,52E-03
81	9,56	1714,99	2,33E-03	3,30E-03	1,66E-03	9,62E-03	3,83E-04	1,83E-03	3,19E-10	4,48E-02	3,72E-04	1,92E-03	8,32E-04	-6,10E-03	3,78E-03	-5,00E-07	3,05E-03	-7,29E-04	-7,29E-04	7,29E-04
90	7,99	1629,48	2,05E-03	2,90E-03	1,46E-03	8,47E-03	3,35E-04	1,61E-03	1,35E-10	3,94E-02	3,27E-04	1,69E-03	7,32E-04	-2,37E-03	1,56E-03	-1,87E-07	1,19E-03	-3,71E-04	-3,71E-04	3,71E-04
99	6,87	1560,47	1,84E-03	2,61E-03	1,31E-03	7,60E-03	3,00E-04	1,45E-03	6,33E-11	3,54E-02	2,93E-04	1,51E-03	6,57E-04	-1,02E-03	7,10E-04	-7,70E-08	5,11E-04	-1,99E-04	-1,99E-04	1,99E-04
108	6,05	1504,80	1,68E-03	2,38E-03	1,20E-03	6,94E-03	2,74E-04	1,32E-03	3,29E-11	3,23E-02	2,68E-04	1,38E-03	6,00E-04	-4,90E-04	3,58E-04	-3,46E-08	2,45E-04	-1,13E-04	-1,13E-04	1,13E-04
117	5,44	1460,06	1,56E-03	2,21E-03	1,11E-03	6,44E-03	2,54E-04	1,23E-03	1,88E-11	2,99E-02	2,48E-04	1,28E-03	5,57E-04	-2,61E-04	2,00E-04	-1,68E-08	1,30E-04	-6,91E-05	-6,92E-05	6,92E-05
126	4,99	1424,36	1,46E-03	2,08E-03	1,05E-03	6,05E-03	2,38E-04	1,15E-03	1,18E-11	2,81E-02	2,33E-04	1,21E-03	5,23E-04	-1,53E-04	1,22E-04	-8,74E-09	7,67E-05	-4,53E-05	-4,53E-05	4,53E-05
135	4,65	1396,25	1,39E-03	1,97E-03	9,95E-04	5,76E-03	2,27E-04	1,10E-03	8,01E-12	2,68E-02	2,22E-04	1,15E-03	4,98E-04	-9,93E-05	8,15E-05	-4,83E-09	4,97E-05	-3,19E-05	-3,19E-05	3,19E-05
144	4,41	1374,60	1,34E-03	1,90E-03	9,57E-04	5,54E-03	2,18E-04	1,06E-03	5,90E-12	2,58E-02	2,13E-04	1,10E-03	4,79E-04	-7,02E-05	5,91E-05	-2,77E-09	3,51E-05	-2,40E-05	-2,40E-05	2,40E-05
153	4,23	1358,56	1,30E-03	1,84E-03	9,30E-04	5,38E-03	2,12E-04	1,03E-03	4,67E-12	2,50E-02	2,07E-04	1,07E-03	4,65E-04	-5,40E-05	4,63E-05	-1,62E-09	2,70E-05	-1,93E-05	-1,93E-05	1,93E-05
162	4,11	1347,53	1,27E-03	1,81E-03	9,11E-04	5,27E-03	2,07E-04	1,01E-03	3,97E-12	2,45E-02	2,03E-04	1,05E-03	4,56E-04	-4,49E-05	3,90E-05	-9,02E-10	2,24E-05	-1,66E-05	-1,66E-05	1,66E-05
171	4,04	1341,07	1,26E-03	1,78E-03	9,00E-04	5,20E-03	2,05E-04	9,93E-04	3,60E-12	2,42E-02	2,01E-04	1,04E-03	4,50E-04	-4,02E-05	3,53E-05	-4,06E-10	2,01E-05	-1,52E-05	-1,52E-05	1,52E-05
180	4,02	1338,94	1,25E-03	1,78E-03	8,96E-04	5,18E-03	2,04E-04	9,89E-04	3,49E-12	2,41E-02	2,00E-04	1,03E-03	4,49E-04	-3,88E-05	3,41E-05	-5,22E-13	1,94E-05	-1,47E-05	-1,47E-05	1,47E-05

Teste: Razão de compressão 12, 0% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0014	0,0020	0,0009	0,0054	0,0009	0,0007	0,0000	0,0255	0,0003	0,0012	0,0004	0,0386	130,55	3624,34	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,5878	5,1120	2,4134	13,9052	2,3977	1,6878	0,0000	66,0407	0,7602	3,0395	1,0557	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	130,55	3624,34	1,55E-02	2,21E-02	1,05E-02	6,02E-02	1,04E-02	7,31E-03	0,0E+00	2,86E-01	3,29E-03	1,32E-02	4,57E-03	-6,44E+03	1,51E+03	1,50E+04	-4,28E+03	-5,79E+03	9,21E+03	-9,21E+03
9	116,02	3504,22	1,43E-02	2,04E-02	9,61E-03	5,54E-02	9,09E-03	7,04E-03	7,98E-06	2,63E-01	2,93E-03	1,20E-02	4,29E-03	-2,65E+00	1,45E+00	-9,55E-03	1,33E+00	-1,20E-01	-1,29E-01	1,29E-01
18	85,93	3216,14	1,15E-02	1,64E-02	7,76E-03	4,47E-02	5,95E-03	6,46E-03	2,92E-06	2,13E-01	2,28E-03	9,61E-03	3,55E-03	-3,16E+00	1,82E+00	-5,95E-03	1,58E+00	-2,41E-01	-2,47E-01	2,47E-01
27	58,68	2884,10	8,78E-03	1,25E-02	5,91E-03	3,40E-02	3,35E-03	5,63E-03	7,34E-07	1,63E-01	1,63E-03	7,20E-03	2,82E-03	-2,20E+00	1,36E+00	-1,81E-03	1,10E+00	-2,57E-01	-2,59E-01	2,59E-01
36	39,76	2580,56	6,65E-03	9,47E-03	4,47E-03	2,58E-02	1,83E-03	4,70E-03	1,60E-07	1,24E-01	1,14E-03	5,36E-03	2,23E-03	-1,12E+00	7,17E-01	-4,11E-04	5,62E-01	-1,55E-01	-1,55E-01	1,55E-01
45	27,68	2326,79	5,13E-03	7,31E-03	3,45E-03	1,99E-02	1,09E-03	3,84E-03	3,55E-08	9,57E-02	8,37E-04	4,10E-03	1,76E-03	-4,57E-01	2,81E-01	-8,67E-05	2,29E-01	-5,22E-02	-5,23E-02	5,23E-02
54	20,03	2121,36	4,07E-03	5,80E-03	2,74E-03	1,58E-02	7,36E-04	3,12E-03	8,96E-09	7,60E-02	6,52E-04	3,24E-03	1,41E-03	-1,61E-01	9,39E-02	-1,97E-05	8,08E-02	-1,32E-02	-1,32E-02	1,32E-02
63	15,09	1956,58	3,33E-03	4,74E-03	2,24E-03	1,29E-02	5,58E-04	2,57E-03	2,62E-09	6,21E-02	5,29E-04	2,64E-03	1,16E-03	-5,35E-02	3,07E-02	-5,13E-06	2,68E-02	-3,98E-03	-3,99E-03	3,99E-03
72	11,81	1824,41	2,79E-03	3,98E-03	1,88E-03	1,08E-02	4,54E-04	2,17E-03	8,80E-10	5,21E-02	4,43E-04	2,22E-03	9,71E-04	-1,79E-02	1,06E-02	-1,54E-06	8,96E-03	-1,64E-03	-1,64E-03	1,64E-03
81	9,58	1718,14	2,40E-03	3,43E-03	1,62E-03	9,32E-03	3,85E-04	1,87E-03	3,33E-10	4,49E-02	3,81E-04	1,91E-03	8,36E-04	-6,38E-03	3,97E-03	-5,20E-07	3,19E-03	-7,81E-04	-7,82E-04	7,82E-04
90	8,01	1632,47	2,12E-03	3,02E-03	1,42E-03	8,20E-03	3,37E-04	1,65E-03	1,41E-10	3,95E-02	3,35E-04	1,68E-03	7,36E-04	-2,49E-03	1,64E-03	-1,95E-07	1,24E-03	-3,96E-04	-3,96E-04	3,96E-04
99	6,88	1563,33	1,90E-03	2,71E-03	1,28E-03	7,36E-03	3,02E-04	1,48E-03	6,62E-11	3,54E-02	3,00E-04	1,51E-03	6,61E-04	-1,07E-03	7,48E-04	-8,03E-08	5,36E-04	-2,12E-04	-2,12E-04	2,12E-04
108	6,06	1507,56	1,73E-03	2,47E-03	1,17E-03	6,72E-03	2,75E-04	1,35E-03	3,44E-11	3,24E-02	2,74E-04	1,38E-03	6,03E-04	-5,15E-04	3,78E-04	-3,61E-08	2,58E-04	-1,21E-04	-1,21E-04	1,21E-04
117	5,45	1462,73	1,61E-03	2,29E-03	1,08E-03	6,23E-03	2,55E-04	1,25E-03	1,97E-11	3,00E-02	2,54E-04	1,28E-03	5,60E-04	-2,75E-04	2,11E-04	-1,76E-08	1,37E-04	-7,36E-05	-7,36E-05	7,36E-05
126	5,00	1426,97	1,51E-03	2,15E-03	1,02E-03	5,86E-03	2,40E-04	1,18E-03	1,23E-11	2,82E-02	2,39E-04	1,20E-03	5,26E-04	-1,62E-04	1,29E-04	-9,15E-09	8,09E-05	-4,82E-05	-4,82E-05	4,82E-05
135	4,66	1398,81	1,44E-03	2,05E-03	9,68E-04	5,57E-03	2,28E-04	1,12E-03	8,40E-12	2,68E-02	2,27E-04	1,14E-03	5,01E-04	-1,05E-04	8,63E-05	-5,05E-09	5,24E-05	-3,39E-05	-3,39E-05	3,39E-05
144	4,41	1377,12	1,38E-03	1,97E-03	9,30E-04	5,36E-03	2,19E-04	1,08E-03	6,19E-12	2,58E-02	2,19E-04	1,10E-03	4,81E-04	-7,41E-05	6,26E-05	-2,91E-09	3,71E-05	-2,56E-05	-2,56E-05	2,56E-05
153	4,24	1361,05	1,34E-03	1,91E-03	9,04E-04	5,21E-03	2,13E-04	1,05E-03	4,91E-12	2,51E-02	2,12E-04	1,07E-03	4,67E-04	-5,70E-05	4,91E-05	-1,69E-09	2,85E-05	-2,06E-05	-2,06E-05	2,06E-05
162	4,12	1350,00	1,32E-03	1,88E-03	8,85E-04	5,10E-03	2,09E-04	1,03E-03	4,17E-12	2,46E-02	2,08E-04	1,04E-03	4,58E-04	-4,74E-05	4,14E-05	-9,46E-10	2,37E-05	-1,77E-05	-1,77E-05	1,77E-05
171	4,05	1343,52	1,30E-03	1,85E-03	8,75E-04	5,04E-03	2,06E-04	1,01E-03	3,79E-12	2,43E-02	2,06E-04	1,03E-03	4,53E-04	-4,25E-05	3,74E-05	-4,26E-10	2,13E-05	-1,61E-05	-1,61E-05	1,61E-05
180	4,03	1341,39	1,30E-03	1,85E-03	8,71E-04	5,02E-03	2,05E-04	1,01E-03	3,67E-12	2,42E-02	2,05E-04	1,03E-03	4,51E-04	-4,10E-05	3,62E-05	-5,74E-13	2,05E-05	-1,57E-05	-1,57E-05	1,57E-05

Teste: Razão de compressão 12, 0% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0003	0,0001	0,0004	0,0081	0,0006	0,0008	0,0060	0,0189	0,0001	0,0007	0,0001	0,0361	114,39	3175,88	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,8558	0,3267	1,1376	22,5716	1,5660	2,1028	16,6932	52,2273	0,2730	1,9821	0,2639	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	114,39	3175,88	3,71E-03	1,42E-03	4,93E-03	9,78E-02	6,78E-03	9,11E-03	7,23E-02	2,26E-01	1,18E-03	8,59E-03	1,14E-03	3,06E+07	-8,63E+06	-6,32E+07	1,63E+07	2,49E+07	-3,83E+07	3,83E+07
9	101,66	3070,62	3,41E-03	1,30E-03	4,53E-03	8,99E-02	5,41E-06	6,87E-09	2,77E-02	2,30E-01	3,20E-02	1,63E-09	8,94E-03	-9,01E-03	-1,57E-05	-9,05E-03	9,03E-03	9,05E-03	-4,38E-06	4,38E-06
18	75,29	2818,19	2,75E-03	1,05E-03	3,66E-03	7,25E-02	1,44E-06	1,15E-09	2,24E-02	1,86E-01	2,58E-02	2,15E-10	7,22E-03	-4,11E-03	-4,49E-06	-4,12E-03	4,11E-03	4,12E-03	-9,90E-07	9,90E-07
27	51,42	2527,23	2,09E-03	7,99E-04	2,78E-03	5,52E-02	2,33E-07	9,57E-11	1,70E-02	1,42E-01	1,96E-02	1,30E-11	5,50E-03	-8,10E-04	-4,62E-07	-8,11E-04	8,11E-04	8,11E-04	-7,31E-08	7,31E-08
36	34,84	2261,25	1,59E-03	6,05E-04	2,11E-03	4,18E-02	3,02E-08	5,85E-12	1,29E-02	1,07E-01	1,49E-02	5,47E-13	4,16E-03	-1,12E-04	-3,03E-08	-1,12E-04	1,12E-04	1,12E-04	-3,30E-09	3,30E-09
45	24,25	2038,88	1,22E-03	4,67E-04	1,63E-03	3,23E-02	3,74E-09	3,33E-13	9,95E-03	8,28E-02	1,15E-02	2,12E-14	3,21E-03	-1,39E-05	-1,73E-09	-1,39E-05	1,39E-05	1,39E-05	-1,28E-10	1,28E-10
54	17,55	1858,88	9,72E-04	3,71E-04	1,29E-03	2,56E-02	4,90E-10	2,02E-14	7,90E-03	6,57E-02	9,11E-03	8,82E-16	2,55E-03	-1,75E-06	-1,02E-10	-1,75E-06	1,75E-06	1,75E-06	-5,14E-12	5,14E-12
63	13,22	1714,48	7,94E-04	3,03E-04	1,06E-03	2,09E-02	7,17E-11	1,43E-15	6,45E-03	5,37E-02	7,45E-03	4,33E-17	2,08E-03	-2,41E-07	-6,77E-12	-2,41E-07	2,41E-07	2,41E-07	-2,37E-13	2,37E-13
72	10,35	1598,66	6,67E-04	2,54E-04	8,86E-04	1,76E-02	1,21E-11	1,22E-16	5,42E-03	4,51E-02	6,25E-03	2,64E-18	1,75E-03	-3,76E-08	-5,34E-13	-3,76E-08	3,76E-08	3,76E-08	-1,34E-14	1,34E-14
81	8,39	1505,54	5,74E-04	2,19E-04	7,63E-04	1,51E-02	2,40E-12	1,29E-17	4,66E-03	3,88E-02	5,38E-03	2,06E-19	1,51E-03	-6,75E-09	-5,15E-14	-6,75E-09	6,75E-09	6,75E-09	-9,45E-16	9,45E-16
90	7,02	1430,48	5,05E-04	1,93E-04	6,71E-04	1,33E-02	5,63E-13	1,73E-18	4,10E-03	3,41E-02	4,73E-03	2,08E-20	1,32E-03	-1,41E-09	-6,15E-15	-1,41E-09	1,41E-09	1,41E-09	-8,54E-17	8,54E-17
99	6,03	1369,89	4,53E-04	1,73E-04	6,02E-04	1,19E-02	1,56E-13	2,91E-19	3,68E-03	3,06E-02	4,25E-03	2,75E-21	1,19E-03	-3,45E-10	-9,12E-16	-3,45E-10	3,45E-10	3,45E-10	-9,90E-18	9,90E-18
108	5,31	1321,02	4,14E-04	1,58E-04	5,50E-04	1,09E-02	5,13E-14	6,18E-20	3,36E-03	2,80E-02	3,88E-03	4,69E-22	1,09E-03	-9,80E-11	-1,68E-16	-9,80E-11	9,80E-11	9,80E-11	-1,47E-18	1,47E-18
117	4,78	1281,74	3,84E-04	1,46E-04	5,10E-04	1,01E-02	1,97E-14	1,63E-20	3,12E-03	2,59E-02	3,60E-03	1,03E-22	1,01E-03	-3,21E-11	-3,77E-17	-3,21E-11	3,21E-11	3,21E-11	-2,74E-19	2,74E-19
126	4,38	1250,40	3,61E-04	1,38E-04	4,79E-04	9,51E-03	8,82E-15	5,33E-21	2,93E-03	2,44E-02	3,38E-03	2,88E-23	9,46E-04	-1,20E-11	-1,03E-17	-1,20E-11	1,20E-11	1,20E-11	-6,38E-20	6,38E-20
135	4,09	1225,72	3,43E-04	1,31E-04	4,56E-04	9,05E-03	4,56E-15	2,12E-21	2,79E-03	2,32E-02	3,22E-03	1,01E-23	9,00E-04	-5,01E-12	-3,32E-18	-5,01E-12	5,01E-12	5,01E-12	-1,81E-20	1,81E-20
144	3,87	1206,72	3,30E-04	1,26E-04	4,39E-04	8,70E-03	2,69E-15	1,02E-21	2,68E-03	2,23E-02	3,09E-03	4,37E-24	8,66E-04	-2,31E-12	-1,24E-18	-2,31E-12	2,31E-12	2,31E-12	-6,14E-21	6,14E-21
153	3,71	1192,64	3,20E-04	1,22E-04	4,26E-04	8,45E-03	1,80E-15	5,83E-22	2,60E-03	2,17E-02	3,00E-03	2,31E-24	8,41E-04	-1,14E-12	-5,24E-19	-1,14E-12	1,14E-12	1,14E-12	-2,39E-21	2,39E-21
162	3,61	1182,95	3,14E-04	1,20E-04	4,17E-04	8,28E-03	1,36E-15	3,94E-22	2,55E-03	2,12E-02	2,94E-03	1,48E-24	8,24E-04	-5,65E-13	-2,33E-19	-5,65E-13	5,65E-13	5,65E-13	-1,00E-21	1,00E-21
171	3,55	1177,28	3,10E-04	1,18E-04	4,12E-04	8,18E-03	1,15E-15	3,12E-22	2,52E-03	2,10E-02	2,91E-03	1,14E-24	8,14E-04	-2,37E-13	-9,14E-20	-2,37E-13	2,37E-13	2,37E-13	-3,82E-22	3,82E-22
180	3,53	1175,42	3,09E-04	1,18E-04	4,11E-04	8,15E-03	1,09E-15	2,89E-22	2,51E-03	2,09E-02	2,90E-03	1,04E-24	8,11E-04	-6,76E-18	-1,72E-22	-6,76E-18	6,76E-18	6,76E-18	-1,22E-26	1,22E-26

Teste: Razão de compressão 12, 20% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0009	0,0004	0,0004	0,0071	0,0007	0,0009	0,0030	0,0219	0,0001	0,0007	0,0001	0,0361	115,15	3196,82	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,6288	1,0097	0,9947	19,7081	1,8424	2,4035	8,2072	60,6429	0,3063	1,9986	0,2579	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	115,15	3196,82	1,14E-02	4,37E-03	4,31E-03	8,54E-02	7,98E-03	1,04E-02	3,56E-02	2,63E-01	1,33E-03	8,66E-03	1,12E-03	1,45E+07	-4,93E+06	-3,34E+07	9,44E+06	1,44E+07	-1,90E+07	1,90E+07
9	102,34	3090,87	1,05E-02	4,02E-03	3,96E-03	7,85E-02	3,52E-03	2,46E-03	4,33E-05	2,60E-01	2,66E-02	6,63E-04	8,32E-03	-1,16E+00	6,04E-01	-5,47E-02	6,07E-01	2,53E-03	-5,21E-02	5,21E-02
18	75,79	2836,77	8,45E-03	3,24E-03	3,20E-03	6,33E-02	2,24E-03	2,31E-03	1,48E-05	2,10E-01	2,14E-02	4,99E-04	6,75E-03	-1,36E+00	7,72E-01	-3,15E-02	6,98E-01	-7,38E-02	-1,05E-01	1,05E-01
27	51,76	2543,90	6,43E-03	2,47E-03	2,43E-03	4,82E-02	1,19E-03	2,06E-03	3,45E-06	1,60E-01	1,63E-02	3,29E-04	5,19E-03	-9,51E-01	5,86E-01	-8,84E-03	4,80E-01	-1,07E-01	-1,15E-01	1,15E-01
36	35,07	2276,16	4,87E-03	1,87E-03	1,84E-03	3,65E-02	5,95E-04	1,76E-03	6,96E-07	1,21E-01	1,23E-02	2,06E-04	3,98E-03	-5,02E-01	3,28E-01	-1,89E-03	2,52E-01	-7,64E-02	-7,83E-02	7,83E-02
45	24,41	2052,33	3,76E-03	1,44E-03	1,42E-03	2,82E-02	3,10E-04	1,45E-03	1,38E-07	9,38E-02	9,46E-03	1,36E-04	3,09E-03	-2,17E-01	1,41E-01	-3,73E-04	1,09E-01	-3,21E-02	-3,25E-02	3,25E-02
54	17,67	1871,13	2,98E-03	1,15E-03	1,13E-03	2,24E-02	1,85E-04	1,19E-03	2,94E-08	7,45E-02	7,50E-03	9,96E-05	2,46E-03	-7,96E-02	4,85E-02	-7,44E-05	3,98E-02	-8,70E-03	-8,77E-03	8,77E-03
63	13,31	1725,78	2,44E-03	9,37E-04	9,23E-04	1,83E-02	1,30E-04	9,87E-04	7,25E-09	6,09E-02	6,12E-03	7,93E-05	2,01E-03	-2,63E-02	1,53E-02	-1,63E-05	1,31E-02	-2,13E-03	-2,14E-03	2,14E-03
72	10,42	1609,20	2,05E-03	7,86E-04	7,75E-04	1,53E-02	1,02E-04	8,33E-04	2,13E-09	5,11E-02	5,14E-03	6,60E-05	1,69E-03	-8,48E-03	4,90E-03	-4,18E-06	4,24E-03	-6,53E-04	-6,57E-04	6,57E-04
81	8,45	1515,47	1,76E-03	6,77E-04	6,67E-04	1,32E-02	8,53E-05	7,18E-04	7,32E-10	4,40E-02	4,42E-03	5,67E-05	1,46E-03	-2,88E-03	1,69E-03	-1,26E-06	1,44E-03	-2,54E-04	-2,55E-04	2,55E-04
90	7,06	1439,91	1,55E-03	5,96E-04	5,87E-04	1,16E-02	7,42E-05	6,33E-04	2,89E-10	3,87E-02	3,89E-03	4,98E-05	1,28E-03	-1,07E-03	6,47E-04	-4,33E-07	5,34E-04	-1,13E-04	-1,14E-04	1,14E-04
99	6,07	1378,92	1,39E-03	5,34E-04	5,27E-04	1,04E-02	6,63E-05	5,68E-04	1,29E-10	3,47E-02	3,49E-03	4,46E-05	1,15E-03	-4,40E-04	2,75E-04	-1,68E-07	2,20E-04	-5,54E-05	-5,56E-05	5,56E-05
108	5,34	1329,73	1,27E-03	4,88E-04	4,81E-04	9,53E-03	6,04E-05	5,19E-04	6,40E-11	3,17E-02	3,19E-03	4,07E-05	1,05E-03	-2,03E-04	1,31E-04	-7,19E-08	1,01E-04	-2,94E-05	-2,94E-05	2,94E-05
117	4,81	1290,19	1,18E-03	4,53E-04	4,46E-04	8,83E-03	5,59E-05	4,81E-04	3,54E-11	2,94E-02	2,96E-03	3,78E-05	9,74E-04	-1,04E-04	6,91E-05	-3,36E-08	5,22E-05	-1,69E-05	-1,69E-05	1,69E-05
126	4,41	1258,65	1,11E-03	4,25E-04	4,19E-04	8,30E-03	5,25E-05	4,52E-04	2,15E-11	2,76E-02	2,78E-03	3,55E-05	9,15E-04	-5,97E-05	4,04E-05	-1,70E-08	2,99E-05	-1,05E-05	-1,05E-05	1,05E-05
135	4,11	1233,81	1,05E-03	4,05E-04	3,99E-04	7,90E-03	4,99E-05	4,30E-04	1,43E-11	2,63E-02	2,65E-03	3,38E-05	8,71E-04	-3,78E-05	2,60E-05	-9,18E-09	1,89E-05	-7,10E-06	-7,11E-06	7,11E-06
144	3,89	1214,67	1,01E-03	3,89E-04	3,84E-04	7,60E-03	4,80E-05	4,14E-04	1,04E-11	2,53E-02	2,54E-03	3,25E-05	8,37E-04	-2,62E-05	1,83E-05	-5,18E-09	1,31E-05	-5,18E-06	-5,19E-06	5,19E-06
153	3,74	1200,51	9,84E-04	3,78E-04	3,72E-04	7,38E-03	4,66E-05	4,02E-04	8,11E-12	2,46E-02	2,47E-03	3,15E-05	8,13E-04	-1,99E-05	1,40E-05	-2,98E-09	9,94E-06	-4,07E-06	-4,08E-06	4,08E-06
162	3,63	1190,75	9,64E-04	3,70E-04	3,65E-04	7,23E-03	4,57E-05	3,94E-04	6,83E-12	2,41E-02	2,42E-03	3,09E-05	7,97E-04	-1,64E-05	1,16E-05	-1,65E-09	8,19E-06	-3,44E-06	-3,44E-06	3,44E-06
171	3,57	1185,05	9,53E-04	3,66E-04	3,61E-04	7,14E-03	4,51E-05	3,89E-04	6,17E-12	2,38E-02	2,39E-03	3,05E-05	7,87E-04	-1,46E-05	1,04E-05	-7,37E-10	7,30E-06	-3,11E-06	-3,11E-06	3,11E-06
180	3,55	1183,17	9,49E-04	3,65E-04	3,59E-04	7,11E-03	4,49E-05	3,87E-04	5,96E-12	2,37E-02	2,38E-03	3,04E-05	7,84E-04	-1,40E-05	1,00E-05	-1,27E-12	7,02E-06	-3,01E-06	-3,01E-06	3,01E-06

Teste: Razão de compressão 12, 20% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0016	0,0006	0,0003	0,0060	0,0008	0,0010	0,0000	0,0250	0,0001	0,0007	0,0001	0,0362	115,94	3218,86	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	4,4803	1,7215	0,8374	16,6597	2,1356	2,7094	0,0000	68,8889	0,3502	1,9645	0,2524	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	115,94	3218,86	1,94E-02	7,46E-03	3,63E-03	7,22E-02	9,25E-03	1,17E-02	0,0E+00	2,98E-01	1,52E-03	8,51E-03	1,09E-03	-5,59E+02	2,66E+02	1,64E+03	-5,42E+02	-8,09E+02	8,35E+02	-8,35E+02
9	103,04	3112,18	1,78E-02	6,86E-03	3,33E-03	6,63E-02	7,94E-03	1,11E-02	1,12E-06	2,75E-01	1,34E-03	7,77E-03	1,06E-03	-2,84E+00	1,51E+00	-1,46E-03	1,42E+00	-8,85E-02	-9,00E-02	9,00E-02
18	76,31	2856,33	1,44E-02	5,53E-03	2,69E-03	5,35E-02	5,01E-03	9,73E-03	3,77E-07	2,22E-01	1,03E-03	6,22E-03	9,05E-04	-2,97E+00	1,61E+00	-8,35E-04	1,49E+00	-1,24E-01	-1,25E-01	1,25E-01
27	52,12	2561,44	1,10E-02	4,21E-03	2,05E-03	4,08E-02	2,82E-03	7,95E-03	8,66E-08	1,70E-01	7,40E-04	4,69E-03	7,35E-04	-1,61E+00	8,78E-01	-2,26E-04	8,03E-01	-7,46E-02	-7,48E-02	7,48E-02
36	35,31	2291,86	8,30E-03	3,19E-03	1,55E-03	3,09E-02	1,69E-03	6,26E-03	1,79E-08	1,29E-01	5,42E-04	3,53E-03	5,75E-04	-5,72E-01	3,06E-01	-4,68E-05	2,86E-01	-1,99E-02	-1,99E-02	1,99E-02
45	24,58	2066,48	6,41E-03	2,46E-03	1,20E-03	2,38E-02	1,17E-03	4,91E-03	3,98E-09	9,95E-02	4,14E-04	2,72E-03	4,48E-04	-1,59E-01	8,44E-02	-9,66E-06	7,96E-02	-4,77E-03	-4,78E-03	4,78E-03
54	17,79	1884,03	5,09E-03	1,95E-03	9,51E-04	1,89E-02	8,89E-04	3,91E-03	9,91E-10	7,90E-02	3,27E-04	2,16E-03	3,57E-04	-4,01E-02	2,21E-02	-2,23E-06	2,01E-02	-1,99E-03	-2,00E-03	2,00E-03
63	13,40	1737,68	4,16E-03	1,60E-03	7,77E-04	1,55E-02	7,17E-04	3,20E-03	2,77E-10	6,45E-02	2,67E-04	1,76E-03	2,92E-04	-1,02E-02	6,01E-03	-5,74E-07	5,12E-03	-8,97E-04	-8,98E-04	8,98E-04
72	10,49	1620,30	3,49E-03	1,34E-03	6,52E-04	1,30E-02	5,99E-04	2,69E-03	8,69E-11	5,42E-02	2,24E-04	1,48E-03	2,46E-04	-2,82E-03	1,79E-03	-1,65E-07	1,41E-03	-3,79E-04	-3,79E-04	3,79E-04
81	8,50	1525,92	3,00E-03	1,15E-03	5,61E-04	1,12E-02	5,15E-04	2,32E-03	3,05E-11	4,66E-02	1,92E-04	1,27E-03	2,12E-04	-8,64E-04	5,91E-04	-5,21E-08	4,32E-04	-1,59E-04	-1,59E-04	1,59E-04
90	7,11	1449,83	2,64E-03	1,02E-03	4,94E-04	9,83E-03	4,53E-04	2,04E-03	1,20E-11	4,10E-02	1,69E-04	1,12E-03	1,86E-04	-3,00E-04	2,19E-04	-1,83E-08	1,50E-04	-6,95E-05	-6,95E-05	6,95E-05
99	6,11	1388,43	2,37E-03	9,11E-04	4,43E-04	8,82E-03	4,06E-04	1,83E-03	5,28E-12	3,68E-02	1,52E-04	1,01E-03	1,67E-04	-1,18E-04	9,17E-05	-7,06E-09	5,90E-05	-3,27E-05	-3,27E-05	3,27E-05
108	5,38	1338,90	2,17E-03	8,32E-04	4,05E-04	8,05E-03	3,71E-04	1,67E-03	2,59E-12	3,36E-02	1,39E-04	9,19E-04	1,53E-04	-5,26E-05	4,30E-05	-2,99E-09	2,63E-05	-1,67E-05	-1,67E-05	1,67E-05
117	4,84	1299,09	2,01E-03	7,72E-04	3,75E-04	7,47E-03	3,44E-04	1,55E-03	1,41E-12	3,12E-02	1,29E-04	8,52E-04	1,42E-04	-2,64E-05	2,25E-05	-1,38E-09	1,32E-05	-9,34E-06	-9,34E-06	9,34E-06
126	4,44	1267,33	1,89E-03	7,25E-04	3,53E-04	7,02E-03	3,23E-04	1,46E-03	8,47E-13	2,93E-02	1,21E-04	8,01E-04	1,33E-04	-1,48E-05	1,31E-05	-6,92E-10	7,39E-06	-5,70E-06	-5,70E-06	5,70E-06
135	4,14	1242,31	1,80E-03	6,90E-04	3,36E-04	6,68E-03	3,08E-04	1,39E-03	5,57E-13	2,79E-02	1,15E-04	7,62E-04	1,27E-04	-9,20E-06	8,39E-06	-3,69E-10	4,60E-06	-3,79E-06	-3,79E-06	3,79E-06
144	3,92	1223,05	1,73E-03	6,64E-04	3,23E-04	6,42E-03	2,96E-04	1,33E-03	3,99E-13	2,68E-02	1,11E-04	7,33E-04	1,22E-04	-6,31E-06	5,89E-06	-2,07E-10	3,16E-06	-2,73E-06	-2,73E-06	2,73E-06
153	3,76	1208,78	1,68E-03	6,44E-04	3,14E-04	6,24E-03	2,87E-04	1,29E-03	3,10E-13	2,60E-02	1,07E-04	7,12E-04	1,18E-04	-4,74E-06	4,50E-06	-1,18E-10	2,37E-06	-2,13E-06	-2,13E-06	2,13E-06
162	3,66	1198,96	1,64E-03	6,31E-04	3,07E-04	6,11E-03	2,81E-04	1,27E-03	2,60E-13	2,55E-02	1,05E-04	6,97E-04	1,16E-04	-3,88E-06	3,73E-06	-6,48E-11	1,94E-06	-1,79E-06	-1,79E-06	1,79E-06
171	3,60	1193,22	1,62E-03	6,24E-04	3,04E-04	6,04E-03	2,78E-04	1,25E-03	2,34E-13	2,52E-02	1,04E-04	6,89E-04	1,15E-04	-3,45E-06	3,34E-06	-2,89E-11	1,72E-06	-1,61E-06	-1,61E-06	1,61E-06
180	3,58	1191,32	1,62E-03	6,21E-04	3,02E-04	6,01E-03	2,77E-04	1,25E-03	2,26E-13	2,51E-02	1,03E-04	6,86E-04	1,14E-04	-3,32E-06	3,22E-06	-2,40E-15	1,66E-06	-1,56E-06	-1,56E-06	1,56E-06

Teste: Razão de compressão 12, 20% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0019	0,0007	0,0003	0,0056	0,0008	0,0010	0,0000	0,0256	0,0001	0,0007	0,0001	0,0368	116,24	3227,17	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,0846	1,9690	0,7724	15,2725	2,1963	2,7950	0,0000	69,3740	0,3653	1,9227	0,2482	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	116,24	3227,17	2,20E-02	8,53E-03	3,35E-03	6,62E-02	9,51E-03	1,21E-02	0,0E+00	3,01E-01	1,58E-03	8,33E-03	1,08E-03	-5,65E+02	2,91E+02	1,74E+03	-5,87E+02	-8,79E+02	8,61E+02	-8,61E+02
9	103,31	3120,21	2,02E-02	7,84E-03	3,08E-03	6,08E-02	8,16E-03	1,15E-02	1,18E-06	2,77E-01	1,40E-03	7,60E-03	1,04E-03	-2,92E+00	1,55E+00	-1,54E-03	1,46E+00	-9,00E-02	-9,15E-02	9,15E-02
18	76,51	2863,70	1,63E-02	6,33E-03	2,48E-03	4,91E-02	5,15E-03	1,00E-02	4,00E-07	2,24E-01	1,08E-03	6,08E-03	8,94E-04	-3,07E+00	1,66E+00	-8,81E-04	1,53E+00	-1,28E-01	-1,29E-01	1,29E-01
27	52,25	2568,05	1,24E-02	4,82E-03	1,89E-03	3,74E-02	2,89E-03	8,20E-03	9,21E-08	1,71E-01	7,73E-04	4,58E-03	7,28E-04	-1,67E+00	9,16E-01	-2,40E-04	8,37E-01	-7,95E-02	-7,97E-02	7,97E-02
36	35,40	2297,77	9,42E-03	3,65E-03	1,43E-03	2,83E-02	1,73E-03	6,46E-03	1,91E-08	1,30E-01	5,65E-04	3,45E-03	5,71E-04	-6,02E-01	3,24E-01	-4,97E-05	3,01E-01	-2,24E-02	-2,25E-02	2,25E-02
45	24,64	2071,81	7,27E-03	2,82E-03	1,10E-03	2,18E-02	1,18E-03	5,07E-03	4,23E-09	1,00E-01	4,31E-04	2,66E-03	4,46E-04	-1,69E-01	9,01E-02	-1,03E-05	8,46E-02	-5,52E-03	-5,53E-03	5,53E-03
54	17,83	1888,90	5,77E-03	2,24E-03	8,77E-04	1,73E-02	8,99E-04	4,04E-03	1,06E-09	7,96E-02	3,41E-04	2,11E-03	3,56E-04	-4,30E-02	2,37E-02	-2,37E-06	2,15E-02	-2,23E-03	-2,23E-03	2,23E-03
63	13,44	1742,17	4,72E-03	1,83E-03	7,16E-04	1,42E-02	7,24E-04	3,31E-03	2,97E-10	6,50E-02	2,78E-04	1,72E-03	2,91E-04	-1,10E-02	6,50E-03	-6,13E-07	5,51E-03	-9,86E-04	-9,87E-04	9,87E-04
72	10,52	1624,48	3,96E-03	1,53E-03	6,02E-04	1,19E-02	6,05E-04	2,78E-03	9,32E-11	5,46E-02	2,33E-04	1,45E-03	2,45E-04	-3,05E-03	1,94E-03	-1,76E-07	1,52E-03	-4,14E-04	-4,14E-04	4,14E-04
81	8,53	1529,86	3,41E-03	1,32E-03	5,18E-04	1,02E-02	5,20E-04	2,39E-03	3,28E-11	4,70E-02	2,00E-04	1,24E-03	2,11E-04	-9,39E-04	6,43E-04	-5,59E-08	4,70E-04	-1,73E-04	-1,73E-04	1,73E-04
90	7,13	1453,58	3,00E-03	1,16E-03	4,56E-04	9,01E-03	4,57E-04	2,11E-03	1,29E-11	4,13E-02	1,76E-04	1,09E-03	1,86E-04	-3,27E-04	2,39E-04	-1,97E-08	1,63E-04	-7,60E-05	-7,60E-05	7,60E-05
99	6,13	1392,01	2,69E-03	1,04E-03	4,09E-04	8,08E-03	4,10E-04	1,89E-03	5,71E-12	3,71E-02	1,58E-04	9,83E-04	1,67E-04	-1,29E-04	1,00E-04	-7,61E-09	6,45E-05	-3,57E-05	-3,58E-05	3,58E-05
108	5,40	1342,35	2,46E-03	9,52E-04	3,73E-04	7,38E-03	3,75E-04	1,73E-03	2,81E-12	3,39E-02	1,44E-04	8,97E-04	1,52E-04	-5,76E-05	4,71E-05	-3,24E-09	2,88E-05	-1,83E-05	-1,83E-05	1,83E-05
117	4,85	1302,44	2,28E-03	8,83E-04	3,46E-04	6,85E-03	3,47E-04	1,60E-03	1,53E-12	3,14E-02	1,34E-04	8,32E-04	1,41E-04	-2,90E-05	2,47E-05	-1,50E-09	1,45E-05	-1,02E-05	-1,02E-05	1,02E-05
126	4,45	1270,60	2,14E-03	8,30E-04	3,25E-04	6,44E-03	3,27E-04	1,51E-03	9,22E-13	2,95E-02	1,26E-04	7,82E-04	1,33E-04	-1,63E-05	1,44E-05	-7,51E-10	8,13E-06	-6,25E-06	-6,25E-06	6,25E-06
135	4,15	1245,52	2,04E-03	7,89E-04	3,10E-04	6,12E-03	3,11E-04	1,43E-03	6,07E-13	2,81E-02	1,20E-04	7,44E-04	1,26E-04	-1,01E-05	9,23E-06	-4,01E-10	5,07E-06	-4,16E-06	-4,16E-06	4,16E-06
144	3,93	1226,21	1,96E-03	7,59E-04	2,98E-04	5,89E-03	2,99E-04	1,38E-03	4,36E-13	2,70E-02	1,15E-04	7,16E-04	1,21E-04	-6,97E-06	6,49E-06	-2,25E-10	3,48E-06	-3,00E-06	-3,00E-06	3,00E-06
153	3,77	1211,90	1,90E-03	7,37E-04	2,89E-04	5,72E-03	2,90E-04	1,34E-03	3,39E-13	2,62E-02	1,12E-04	6,95E-04	1,18E-04	-5,24E-06	4,96E-06	-1,28E-10	2,62E-06	-2,34E-06	-2,34E-06	2,34E-06
162	3,67	1202,06	1,87E-03	7,22E-04	2,83E-04	5,60E-03	2,84E-04	1,31E-03	2,84E-13	2,57E-02	1,10E-04	6,81E-04	1,15E-04	-4,29E-06	4,11E-06	-7,06E-11	2,15E-06	-1,97E-06	-1,97E-06	1,97E-06
171	3,61	1196,30	1,84E-03	7,14E-04	2,80E-04	5,54E-03	2,81E-04	1,29E-03	2,56E-13	2,54E-02	1,08E-04	6,73E-04	1,14E-04	-3,81E-06	3,68E-06	-3,15E-11	1,91E-06	-1,77E-06	-1,77E-06	1,77E-06
180	3,59	1194,40	1,84E-03	7,11E-04	2,79E-04	5,51E-03	2,80E-04	1,29E-03	2,47E-13	2,53E-02	1,08E-04	6,70E-04	1,14E-04	-3,67E-06	3,55E-06	-2,73E-15	1,83E-06	-1,71E-06	-1,71E-06	1,71E-06

Teste: Razão de compressão 12, 20% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0008	0,0003	0,0055	0,0008	0,0010	0,0000	0,0258	0,0001	0,0007	0,0001	0,0371	116,36	3230,32	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,3100	2,0601	0,7474	14,7601	2,2190	2,8266	0,0000	69,5553	0,3710	1,9044	0,2462	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	116,36	3230,32	2,30E-02	8,93E-03	3,24E-03	6,39E-02	9,61E-03	1,22E-02	0,0E+00	3,01E-01	1,61E-03	8,25E-03	1,07E-03	-5,66E+02	3,01E+02	1,78E+03	-6,05E+02	-9,06E+02	8,70E+02	-8,70E+02
9	103,41	3123,26	2,11E-02	8,20E-03	2,98E-03	5,88E-02	8,24E-03	1,16E-02	1,20E-06	2,77E-01	1,42E-03	7,53E-03	1,03E-03	-2,95E+00	1,57E+00	-1,57E-03	1,48E+00	-9,04E-02	-9,20E-02	9,20E-02
18	76,59	2866,50	1,71E-02	6,62E-03	2,40E-03	4,74E-02	5,20E-03	1,01E-02	4,08E-07	2,24E-01	1,10E-03	6,02E-03	8,88E-04	-3,10E+00	1,68E+00	-8,99E-04	1,55E+00	-1,29E-01	-1,30E-01	1,30E-01
27	52,30	2570,56	1,30E-02	5,04E-03	1,83E-03	3,61E-02	2,91E-03	8,30E-03	9,42E-08	1,71E-01	7,86E-04	4,54E-03	7,24E-04	-1,70E+00	9,31E-01	-2,46E-04	8,50E-01	-8,13E-02	-8,15E-02	8,15E-02
36	35,44	2300,02	9,84E-03	3,82E-03	1,39E-03	2,74E-02	1,74E-03	6,54E-03	1,95E-08	1,30E-01	5,74E-04	3,42E-03	5,69E-04	-6,14E-01	3,30E-01	-5,09E-05	3,07E-01	-2,34E-02	-2,34E-02	2,34E-02
45	24,67	2073,83	7,60E-03	2,95E-03	1,07E-03	2,11E-02	1,19E-03	5,13E-03	4,34E-09	1,01E-01	4,38E-04	2,63E-03	4,45E-04	-1,73E-01	9,23E-02	-1,05E-05	8,65E-02	-5,81E-03	-5,82E-03	5,82E-03
54	17,85	1890,74	6,03E-03	2,34E-03	8,49E-04	1,68E-02	9,03E-04	4,09E-03	1,08E-09	7,98E-02	3,46E-04	2,09E-03	3,55E-04	-4,41E-02	2,44E-02	-2,43E-06	2,20E-02	-2,32E-03	-2,32E-03	2,32E-03
63	13,45	1743,87	4,93E-03	1,91E-03	6,93E-04	1,37E-02	7,27E-04	3,35E-03	3,04E-10	6,52E-02	2,82E-04	1,70E-03	2,90E-04	-1,13E-02	6,69E-03	-6,28E-07	5,67E-03	-1,02E-03	-1,02E-03	1,02E-03
72	10,53	1626,07	4,14E-03	1,60E-03	5,82E-04	1,15E-02	6,07E-04	2,81E-03	9,58E-11	5,47E-02	2,37E-04	1,43E-03	2,44E-04	-3,14E-03	2,00E-03	-1,80E-07	1,57E-03	-4,28E-04	-4,28E-04	4,28E-04
81	8,54	1531,35	3,56E-03	1,38E-03	5,01E-04	9,89E-03	5,22E-04	2,42E-03	3,38E-11	4,71E-02	2,03E-04	1,23E-03	2,10E-04	-9,69E-04	6,64E-04	-5,74E-08	4,84E-04	-1,79E-04	-1,79E-04	1,79E-04
90	7,14	1455,00	3,13E-03	1,22E-03	4,41E-04	8,71E-03	4,59E-04	2,13E-03	1,33E-11	4,15E-02	1,79E-04	1,08E-03	1,85E-04	-3,38E-04	2,47E-04	-2,02E-08	1,69E-04	-7,85E-05	-7,85E-05	7,85E-05
99	6,13	1393,37	2,81E-03	1,09E-03	3,96E-04	7,81E-03	4,12E-04	1,91E-03	5,89E-12	3,72E-02	1,61E-04	9,72E-04	1,66E-04	-1,33E-04	1,04E-04	-7,83E-09	6,67E-05	-3,69E-05	-3,69E-05	3,69E-05
108	5,40	1343,66	2,57E-03	9,96E-04	3,61E-04	7,14E-03	3,76E-04	1,75E-03	2,90E-12	3,40E-02	1,47E-04	8,88E-04	1,52E-04	-5,96E-05	4,87E-05	-3,33E-09	2,98E-05	-1,89E-05	-1,89E-05	1,89E-05
117	4,86	1303,71	2,38E-03	9,24E-04	3,35E-04	6,62E-03	3,49E-04	1,62E-03	1,58E-12	3,15E-02	1,36E-04	8,23E-04	1,41E-04	-3,00E-05	2,56E-05	-1,55E-09	1,50E-05	-1,06E-05	-1,06E-05	1,06E-05
126	4,46	1271,84	2,24E-03	8,68E-04	3,15E-04	6,22E-03	3,28E-04	1,52E-03	9,52E-13	2,96E-02	1,28E-04	7,74E-04	1,32E-04	-1,69E-05	1,49E-05	-7,74E-10	8,43E-06	-6,47E-06	-6,47E-06	6,47E-06
135	4,16	1246,74	2,13E-03	8,26E-04	3,00E-04	5,92E-03	3,12E-04	1,45E-03	6,27E-13	2,82E-02	1,22E-04	7,36E-04	1,26E-04	-1,05E-05	9,56E-06	-4,14E-10	5,26E-06	-4,30E-06	-4,30E-06	4,30E-06
144	3,93	1227,40	2,05E-03	7,94E-04	2,88E-04	5,69E-03	3,00E-04	1,39E-03	4,50E-13	2,71E-02	1,17E-04	7,08E-04	1,21E-04	-7,23E-06	6,72E-06	-2,32E-10	3,61E-06	-3,11E-06	-3,11E-06	3,11E-06
153	3,78	1213,09	1,99E-03	7,71E-04	2,80E-04	5,53E-03	2,91E-04	1,35E-03	3,50E-13	2,63E-02	1,14E-04	6,88E-04	1,18E-04	-5,44E-06	5,14E-06	-1,32E-10	2,72E-06	-2,42E-06	-2,42E-06	2,42E-06
162	3,67	1203,23	1,95E-03	7,56E-04	2,74E-04	5,41E-03	2,85E-04	1,33E-03	2,94E-13	2,58E-02	1,11E-04	6,74E-04	1,15E-04	-4,45E-06	4,26E-06	-7,29E-11	2,23E-06	-2,04E-06	-2,04E-06	2,04E-06
171	3,61	1197,46	1,92E-03	7,47E-04	2,71E-04	5,35E-03	2,82E-04	1,31E-03	2,64E-13	2,55E-02	1,10E-04	6,66E-04	1,14E-04	-3,96E-06	3,82E-06	-3,25E-11	1,98E-06	-1,84E-06	-1,84E-06	1,84E-06
180	3,59	1195,56	1,92E-03	7,44E-04	2,70E-04	5,33E-03	2,81E-04	1,31E-03	2,55E-13	2,54E-02	1,10E-04	6,63E-04	1,13E-04	-3,81E-06	3,68E-06	-2,86E-15	1,90E-06	-1,77E-06	-1,77E-06	1,77E-06

Teste: Razão de compressão 12, 20% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0008	0,0003	0,0053	0,0008	0,0011	0,0000	0,0260	0,0001	0,0007	0,0001	0,0373	116,45	3233,01	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,4979	2,1386	0,7269	14,3276	2,2385	2,8539	0,0000	69,7069	0,3758	1,8893	0,2446	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	116,45	3233,01	2,38E-02	9,26E-03	3,15E-03	6,21E-02	9,70E-03	1,24E-02	0,0E+00	3,02E-01	1,63E-03	8,18E-03	1,06E-03	-5,66E+02	3,10E+02	1,81E+03	-6,20E+02	-9,30E+02	8,77E+02	-8,77E+02
9	103,49	3125,86	2,19E-02	8,52E-03	2,89E-03	5,71E-02	8,32E-03	1,17E-02	1,22E-06	2,78E-01	1,44E-03	7,47E-03	1,03E-03	-2,98E+00	1,58E+00	-1,59E-03	1,49E+00	-9,07E-02	-9,23E-02	9,23E-02
18	76,65	2868,88	1,77E-02	6,87E-03	2,34E-03	4,60E-02	5,24E-03	1,02E-02	4,16E-07	2,25E-01	1,11E-03	5,97E-03	8,83E-04	-3,14E+00	1,70E+00	-9,14E-04	1,57E+00	-1,30E-01	-1,31E-01	1,31E-01
27	52,34	2572,70	1,35E-02	5,23E-03	1,78E-03	3,51E-02	2,93E-03	8,38E-03	9,61E-08	1,72E-01	7,97E-04	4,50E-03	7,21E-04	-1,72E+00	9,43E-01	-2,50E-04	8,61E-01	-8,27E-02	-8,30E-02	8,30E-02
36	35,47	2301,93	1,02E-02	3,96E-03	1,35E-03	2,66E-02	1,75E-03	6,60E-03	1,99E-08	1,30E-01	5,82E-04	3,39E-03	5,67E-04	-6,24E-01	3,36E-01	-5,19E-05	3,12E-01	-2,42E-02	-2,42E-02	2,42E-02
45	24,69	2075,56	7,87E-03	3,06E-03	1,04E-03	2,05E-02	1,19E-03	5,18E-03	4,42E-09	1,01E-01	4,44E-04	2,61E-03	4,43E-04	-1,76E-01	9,42E-02	-1,07E-05	8,82E-02	-6,05E-03	-6,06E-03	6,06E-03
54	17,86	1892,32	6,24E-03	2,43E-03	8,25E-04	1,63E-02	9,06E-04	4,13E-03	1,11E-09	8,00E-02	3,51E-04	2,07E-03	3,54E-04	-4,50E-02	2,49E-02	-2,47E-06	2,25E-02	-2,40E-03	-2,40E-03	2,40E-03
63	13,46	1745,32	5,10E-03	1,98E-03	6,74E-04	1,33E-02	7,29E-04	3,38E-03	3,11E-10	6,53E-02	2,86E-04	1,69E-03	2,90E-04	-1,16E-02	6,85E-03	-6,41E-07	5,80E-03	-1,05E-03	-1,05E-03	1,05E-03
72	10,54	1627,42	4,28E-03	1,67E-03	5,66E-04	1,12E-02	6,09E-04	2,84E-03	9,79E-11	5,49E-02	2,40E-04	1,42E-03	2,44E-04	-3,22E-03	2,05E-03	-1,84E-07	1,61E-03	-4,40E-04	-4,40E-04	4,40E-04
81	8,54	1532,62	3,69E-03	1,43E-03	4,87E-04	9,60E-03	5,23E-04	2,45E-03	3,46E-11	4,72E-02	2,06E-04	1,22E-03	2,10E-04	-9,95E-04	6,81E-04	-5,87E-08	4,97E-04	-1,84E-04	-1,84E-04	1,84E-04
90	7,14	1456,21	3,24E-03	1,26E-03	4,29E-04	8,45E-03	4,60E-04	2,15E-03	1,37E-11	4,15E-02	1,81E-04	1,07E-03	1,85E-04	-3,47E-04	2,54E-04	-2,07E-08	1,74E-04	-8,07E-05	-8,07E-05	8,07E-05
99	6,14	1394,53	2,91E-03	1,13E-03	3,85E-04	7,58E-03	4,13E-04	1,93E-03	6,04E-12	3,73E-02	1,63E-04	9,64E-04	1,66E-04	-1,37E-04	1,07E-04	-8,02E-09	6,86E-05	-3,80E-05	-3,80E-05	3,80E-05
108	5,41	1344,78	2,66E-03	1,03E-03	3,51E-04	6,93E-03	3,77E-04	1,77E-03	2,97E-12	3,40E-02	1,49E-04	8,80E-04	1,51E-04	-6,14E-05	5,02E-05	-3,42E-09	3,07E-05	-1,95E-05	-1,95E-05	1,95E-05
117	4,86	1304,80	2,46E-03	9,59E-04	3,26E-04	6,42E-03	3,50E-04	1,64E-03	1,62E-12	3,16E-02	1,38E-04	8,16E-04	1,40E-04	-3,09E-05	2,63E-05	-1,59E-09	1,55E-05	-1,09E-05	-1,09E-05	1,09E-05
126	4,46	1272,90	2,32E-03	9,01E-04	3,06E-04	6,04E-03	3,29E-04	1,54E-03	9,78E-13	2,97E-02	1,29E-04	7,67E-04	1,32E-04	-1,74E-05	1,53E-05	-7,95E-10	8,69E-06	-6,65E-06	-6,65E-06	6,65E-06
135	4,16	1247,77	2,20E-03	8,57E-04	2,91E-04	5,74E-03	3,13E-04	1,46E-03	6,45E-13	2,82E-02	1,23E-04	7,30E-04	1,26E-04	-1,08E-05	9,85E-06	-4,25E-10	5,42E-06	-4,43E-06	-4,43E-06	4,43E-06
144	3,94	1228,43	2,12E-03	8,24E-04	2,80E-04	5,52E-03	3,01E-04	1,41E-03	4,63E-13	2,72E-02	1,18E-04	7,02E-04	1,21E-04	-7,46E-06	6,93E-06	-2,38E-10	3,73E-06	-3,20E-06	-3,20E-06	3,20E-06
153	3,78	1214,10	2,06E-03	8,01E-04	2,72E-04	5,36E-03	2,92E-04	1,37E-03	3,60E-13	2,64E-02	1,15E-04	6,82E-04	1,17E-04	-5,61E-06	5,30E-06	-1,36E-10	2,81E-06	-2,50E-06	-2,50E-06	2,50E-06
162	3,67	1204,23	2,02E-03	7,84E-04	2,67E-04	5,26E-03	2,86E-04	1,34E-03	3,02E-13	2,58E-02	1,13E-04	6,68E-04	1,15E-04	-4,60E-06	4,40E-06	-7,49E-11	2,30E-06	-2,10E-06	-2,10E-06	2,10E-06
171	3,61	1198,46	1,99E-03	7,75E-04	2,63E-04	5,19E-03	2,83E-04	1,32E-03	2,72E-13	2,55E-02	1,11E-04	6,60E-04	1,13E-04	-4,09E-06	3,93E-06	-3,34E-11	2,04E-06	-1,89E-06	-1,89E-06	1,89E-06
180	3,59	1196,56	1,98E-03	7,72E-04	2,62E-04	5,17E-03	2,82E-04	1,32E-03	2,63E-13	2,54E-02	1,11E-04	6,57E-04	1,13E-04	-3,93E-06	3,79E-06	-2,98E-15	1,97E-06	-1,83E-06	-1,83E-06	1,83E-06

Teste: Razão de compressão 12, 20% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0003	0,0000	0,0001	0,0072	0,0006	0,0017	0,0055	0,0202	0,0000	0,0004	0,0000	0,0361	102,01	2832,06	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,9218	0,0706	0,2218	20,0378	1,6078	4,7127	15,1540	55,9804	0,1352	1,1145	0,0435	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	102,01	2832,06	3,99E-03	3,06E-04	9,61E-04	8,68E-02	6,97E-03	2,04E-02	6,56E-02	2,43E-01	5,86E-04	4,83E-03	1,88E-04	1,73E+07	-1,31E+07	-4,72E+07	1,50E+07	2,80E+07	-1,92E+07	1,92E+07
9	90,66	2738,20	3,67E-03	2,81E-04	8,83E-04	7,98E-02	7,44E-06	2,80E-08	7,54E-03	2,53E-01	4,89E-02	1,63E-09	4,61E-03	-1,34E-02	-7,13E-05	-1,36E-02	1,35E-02	1,36E-02	-4,80E-06	4,80E-06
18	67,15	2513,09	2,96E-03	2,27E-04	7,13E-04	6,44E-02	1,74E-06	3,86E-09	6,08E-03	2,04E-01	3,95E-02	1,73E-10	3,72E-03	-5,39E-03	-1,70E-05	-5,43E-03	5,41E-03	5,43E-03	-8,78E-07	8,78E-07
27	45,85	2253,64	2,26E-03	1,73E-04	5,43E-04	4,90E-02	2,32E-07	2,47E-10	4,63E-03	1,55E-01	3,01E-02	7,69E-12	2,83E-03	-8,87E-04	-1,34E-06	-8,90E-04	8,89E-04	8,90E-04	-4,79E-08	4,79E-08
36	31,07	2016,45	1,71E-03	1,31E-04	4,11E-04	3,71E-02	2,43E-08	1,11E-11	3,51E-03	1,18E-01	2,28E-02	2,28E-13	2,15E-03	-9,96E-05	-6,47E-08	-9,97E-05	9,97E-05	9,97E-05	-1,53E-09	1,53E-09
45	21,63	1818,15	1,32E-03	1,01E-04	3,17E-04	2,87E-02	2,41E-09	4,61E-13	2,71E-03	9,07E-02	1,76E-02	6,15E-15	1,66E-03	-9,92E-06	-2,69E-09	-9,92E-06	9,92E-06	9,92E-06	-4,13E-11	4,13E-11
54	15,65	1657,63	1,05E-03	8,01E-05	2,52E-04	2,28E-02	2,53E-10	2,05E-14	2,15E-03	7,20E-02	1,39E-02	1,79E-16	1,31E-03	-1,01E-06	-1,16E-10	-1,01E-06	1,01E-06	1,01E-06	-1,16E-12	1,16E-12
63	11,79	1528,87	8,55E-04	6,54E-05	2,06E-04	1,86E-02	3,01E-11	1,08E-15	1,75E-03	5,88E-02	1,14E-02	6,25E-18	1,07E-03	-1,13E-07	-5,73E-12	-1,13E-07	1,13E-07	1,13E-07	-3,83E-14	3,83E-14
72	9,23	1425,59	7,18E-04	5,49E-05	1,73E-04	1,56E-02	4,19E-12	6,97E-17	1,47E-03	4,94E-02	9,57E-03	2,77E-19	9,02E-04	-1,45E-08	-3,43E-13	-1,45E-08	1,45E-08	1,45E-08	-1,57E-15	1,57E-15
81	7,48	1342,55	6,18E-04	4,73E-05	1,49E-04	1,34E-02	6,95E-13	5,75E-18	1,27E-03	4,25E-02	8,23E-03	1,62E-20	7,76E-04	-2,18E-09	-2,57E-14	-2,18E-09	2,18E-09	2,18E-09	-8,29E-17	8,29E-17
90	6,26	1275,61	5,44E-04	4,16E-05	1,31E-04	1,18E-02	1,39E-13	6,12E-19	1,12E-03	3,74E-02	7,25E-03	1,26E-21	6,83E-04	-3,89E-10	-2,44E-15	-3,89E-10	3,89E-10	3,89E-10	-5,76E-18	5,76E-18
99	5,38	1221,58	4,88E-04	3,73E-05	1,17E-04	1,06E-02	3,34E-14	8,43E-20	1,00E-03	3,36E-02	6,50E-03	1,31E-22	6,13E-04	-8,24E-11	-2,96E-16	-8,24E-11	8,24E-11	8,24E-11	-5,29E-19	5,29E-19
108	4,73	1178,01	4,46E-04	3,41E-05	1,07E-04	9,69E-03	9,67E-15	1,50E-20	9,15E-04	3,07E-02	5,94E-03	1,83E-23	5,60E-04	-2,07E-11	-4,55E-17	-2,07E-11	2,07E-11	2,07E-11	-6,40E-20	6,40E-20
117	4,26	1142,98	4,13E-04	3,16E-05	9,94E-05	8,98E-03	3,34E-15	3,40E-21	8,48E-04	2,84E-02	5,51E-03	3,38E-24	5,19E-04	-6,08E-12	-8,81E-18	-6,08E-12	6,08E-12	6,08E-12	-1,00E-20	1,00E-20
126	3,91	1115,04	3,88E-04	2,97E-05	9,34E-05	8,44E-03	1,37E-15	9,77E-22	7,97E-04	2,67E-02	5,18E-03	8,15E-25	4,88E-04	-2,07E-12	-2,11E-18	-2,07E-12	2,07E-12	2,07E-12	-2,02E-21	2,02E-21
135	3,64	1093,03	3,70E-04	2,83E-05	8,89E-05	8,03E-03	6,55E-16	3,50E-22	7,58E-04	2,54E-02	4,92E-03	2,53E-25	4,64E-04	-8,06E-13	-6,14E-19	-8,06E-13	8,06E-13	8,06E-13	-5,08E-22	5,08E-22
144	3,45	1076,08	3,55E-04	2,72E-05	8,55E-05	7,73E-03	3,65E-16	1,54E-22	7,29E-04	2,44E-02	4,74E-03	9,94E-26	4,46E-04	-3,51E-13	-2,12E-19	-3,51E-13	3,51E-13	3,51E-13	-1,56E-22	1,56E-22
153	3,31	1063,53	3,45E-04	2,64E-05	8,30E-05	7,50E-03	2,34E-16	8,26E-23	7,08E-04	2,37E-02	4,60E-03	4,89E-26	4,34E-04	-1,65E-13	-8,35E-20	-1,65E-13	1,65E-13	1,65E-13	-5,65E-23	5,65E-23
162	3,22	1054,89	3,38E-04	2,59E-05	8,13E-05	7,35E-03	1,71E-16	5,33E-23	6,94E-04	2,33E-02	4,51E-03	2,97E-26	4,25E-04	-7,94E-14	-3,55E-20	-7,94E-14	7,94E-14	7,94E-14	-2,26E-23	2,26E-23
171	3,16	1049,83	3,34E-04	2,56E-05	8,04E-05	7,26E-03	1,42E-16	4,10E-23	6,86E-04	2,30E-02	4,45E-03	2,21E-26	4,20E-04	-3,27E-14	-1,36E-20	-3,27E-14	3,27E-14	3,27E-14	-8,32E-24	8,32E-24
180	3,15	1048,17	3,33E-04	2,55E-05	8,01E-05	7,23E-03	1,34E-16	3,76E-23	6,83E-04	2,29E-02	4,43E-03	2,00E-26	4,18E-04	-3,55E-18	-1,67E-22	-3,55E-18	3,55E-18	3,55E-18	-1,01E-27	1,01E-27

Teste: Razão de compressão 12, 50% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0010	0,0001	0,0001	0,0063	0,0006	0,0018	0,0030	0,0228	0,0000	0,0004	0,0000	0,0361	101,92	2829,45	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,8128	0,2064	0,1846	17,3864	1,7574	5,0336	8,3141	63,0779	0,1382	1,0494	0,0393	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	101,92	2829,45	1,22E-02	8,94E-04	8,00E-04	7,53E-02	7,61E-03	2,18E-02	3,60E-02	2,73E-01	5,99E-04	4,55E-03	1,70E-04	8,60E+06	-7,65E+06	-2,65E+07	8,97E+06	1,66E+07	-9,92E+06	9,92E+06
9	90,58	2735,67	1,12E-02	8,22E-04	7,35E-04	6,92E-02	4,20E-03	8,43E-03	8,66E-06	2,69E-01	3,01E-02	6,39E-04	3,70E-03	-1,87E+00	1,06E+00	-1,18E-02	9,40E-01	-1,18E-01	-1,30E-01	1,30E-01
18	67,09	2510,78	9,04E-03	6,63E-04	5,93E-04	5,59E-02	2,48E-03	7,33E-03	2,77E-06	2,18E-01	2,42E-02	4,43E-04	3,06E-03	-1,94E+00	1,14E+00	-6,37E-03	9,75E-01	-1,68E-01	-1,74E-01	1,74E-01
27	45,81	2251,56	6,88E-03	5,05E-04	4,52E-04	4,25E-02	1,22E-03	5,99E-03	5,85E-07	1,66E-01	1,84E-02	2,70E-04	2,39E-03	-1,13E+00	6,90E-01	-1,63E-03	5,66E-01	-1,24E-01	-1,25E-01	1,25E-01
36	31,04	2014,59	5,21E-03	3,82E-04	3,42E-04	3,22E-02	5,93E-04	4,73E-03	1,05E-07	1,26E-01	1,39E-02	1,67E-04	1,85E-03	-4,62E-01	2,82E-01	-3,08E-04	2,31E-01	-5,10E-02	-5,13E-02	5,13E-02
45	21,61	1816,48	4,02E-03	2,95E-04	2,64E-04	2,49E-02	3,39E-04	3,73E-03	1,93E-08	9,73E-02	1,07E-02	1,17E-04	1,44E-03	-1,42E-01	8,45E-02	-5,35E-05	7,09E-02	-1,35E-02	-1,36E-02	1,36E-02
54	15,64	1656,11	3,19E-03	2,34E-04	2,10E-04	1,97E-02	2,35E-04	2,98E-03	4,14E-09	7,72E-02	8,50E-03	8,95E-05	1,15E-03	-3,66E-02	2,17E-02	-1,02E-05	1,83E-02	-3,44E-03	-3,45E-03	3,45E-03
63	11,78	1527,46	2,61E-03	1,91E-04	1,71E-04	1,61E-02	1,83E-04	2,44E-03	1,05E-09	6,31E-02	6,94E-03	7,22E-05	9,38E-04	-9,14E-03	5,56E-03	-2,32E-06	4,57E-03	-9,91E-04	-9,94E-04	9,94E-04
72	9,22	1424,28	2,19E-03	1,61E-04	1,44E-04	1,35E-02	1,51E-04	2,05E-03	3,11E-10	5,30E-02	5,83E-03	6,04E-05	7,88E-04	-2,43E-03	1,53E-03	-6,17E-07	1,21E-03	-3,13E-04	-3,14E-04	3,14E-04
81	7,48	1341,32	1,89E-03	1,38E-04	1,24E-04	1,17E-02	1,30E-04	1,76E-03	1,04E-10	4,56E-02	5,01E-03	5,19E-05	6,78E-04	-7,16E-04	4,66E-04	-1,86E-07	3,58E-04	-1,07E-04	-1,08E-04	1,08E-04
90	6,25	1274,44	1,66E-03	1,22E-04	1,09E-04	1,03E-02	1,14E-04	1,55E-03	3,94E-11	4,01E-02	4,41E-03	4,56E-05	5,97E-04	-2,39E-04	1,60E-04	-6,27E-08	1,19E-04	-4,03E-05	-4,04E-05	4,04E-05
99	5,37	1220,46	1,49E-03	1,09E-04	9,77E-05	9,20E-03	1,02E-04	1,39E-03	1,68E-11	3,60E-02	3,96E-03	4,09E-05	5,35E-04	-9,06E-05	6,21E-05	-2,34E-08	4,53E-05	-1,67E-05	-1,68E-05	1,68E-05
108	4,73	1176,92	1,36E-03	9,98E-05	8,92E-05	8,41E-03	9,32E-05	1,27E-03	7,97E-12	3,29E-02	3,62E-03	3,74E-05	4,89E-04	-3,90E-05	2,73E-05	-9,66E-09	1,95E-05	-7,73E-06	-7,73E-06	7,73E-06
117	4,26	1141,93	1,26E-03	9,25E-05	8,27E-05	7,79E-03	8,64E-05	1,18E-03	4,22E-12	3,05E-02	3,35E-03	3,47E-05	4,53E-04	-1,90E-05	1,35E-05	-4,35E-09	9,51E-06	-3,96E-06	-3,97E-06	3,97E-06
126	3,90	1114,01	1,19E-03	8,70E-05	7,78E-05	7,33E-03	8,12E-05	1,11E-03	2,48E-12	2,87E-02	3,15E-03	3,26E-05	4,26E-04	-1,04E-05	7,46E-06	-2,13E-09	5,20E-06	-2,26E-06	-2,26E-06	2,26E-06
135	3,64	1092,02	1,13E-03	8,27E-05	7,40E-05	6,97E-03	7,72E-05	1,05E-03	1,60E-12	2,73E-02	3,00E-03	3,10E-05	4,05E-04	-6,34E-06	4,59E-06	-1,11E-09	3,17E-06	-1,42E-06	-1,42E-06	1,42E-06
144	3,45	1075,09	1,08E-03	7,96E-05	7,12E-05	6,70E-03	7,43E-05	1,01E-03	1,13E-12	2,62E-02	2,88E-03	2,98E-05	3,90E-04	-4,28E-06	3,12E-06	-6,14E-10	2,14E-06	-9,78E-07	-9,79E-07	9,79E-07
153	3,31	1062,55	1,05E-03	7,73E-05	6,91E-05	6,51E-03	7,21E-05	9,85E-04	8,64E-13	2,55E-02	2,80E-03	2,89E-05	3,79E-04	-3,17E-06	2,32E-06	-3,46E-10	1,59E-06	-7,37E-07	-7,38E-07	7,38E-07
162	3,21	1053,91	1,03E-03	7,57E-05	6,77E-05	6,38E-03	7,07E-05	9,65E-04	7,18E-13	2,50E-02	2,74E-03	2,84E-05	3,71E-04	-2,57E-06	1,89E-06	-1,89E-10	1,29E-06	-6,05E-07	-6,05E-07	6,05E-07
171	3,16	1048,86	1,02E-03	7,48E-05	6,69E-05	6,30E-03	6,98E-05	9,54E-04	6,43E-13	2,47E-02	2,71E-03	2,80E-05	3,67E-04	-2,27E-06	1,67E-06	-8,38E-11	1,14E-06	-5,38E-07	-5,38E-07	5,38E-07
180	3,14	1047,20	1,02E-03	7,45E-05	6,66E-05	6,28E-03	6,96E-05	9,50E-04	6,20E-13	2,46E-02	2,70E-03	2,79E-05	3,65E-04	-2,18E-06	1,61E-06	-5,39E-14	1,09E-06	-5,17E-07	-5,17E-07	5,17E-07

Teste: Razão de compressão 12, 50% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0017	0,0001	0,0001	0,0053	0,0007	0,0019	0,0005	0,0254	0,0001	0,0004	0,0000	0,036101	101,82	2826,78	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	4,7688	0,3358	0,1495	14,6599	1,9090	5,3636	1,2890	70,3750	0,1411	0,9734	0,0350	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	101,82	2826,78	2,07E-02	1,45E-03	6,48E-04	6,35E-02	8,27E-03	2,32E-02	5,58E-03	3,05E-01	6,11E-04	4,22E-03	1,52E-04	1,18E+06	-1,26E+06	-4,20E+06	1,51E+06	2,77E+06	-1,43E+06	1,43E+06
9	90,49	2733,09	1,90E-02	1,34E-03	5,95E-04	5,84E-02	6,70E-03	2,02E-02	8,93E-07	2,83E-01	4,73E-03	2,92E-03	1,10E-03	-2,95E+00	1,65E+00	-1,24E-03	1,48E+00	-1,74E-01	-1,75E-01	1,75E-01
18	67,02	2508,41	1,53E-02	1,08E-03	4,80E-04	4,71E-02	4,01E-03	1,71E-02	2,82E-07	2,29E-01	3,72E-03	2,26E-03	9,85E-04	-2,82E+00	1,64E+00	-6,64E-04	1,41E+00	-2,28E-01	-2,29E-01	2,29E-01
27	45,77	2249,43	1,17E-02	8,22E-04	3,66E-04	3,59E-02	2,16E-03	1,35E-02	5,96E-08	1,75E-01	2,75E-03	1,64E-03	8,30E-04	-1,33E+00	7,94E-01	-1,65E-04	6,64E-01	-1,30E-01	-1,30E-01	1,30E-01
36	31,01	2012,69	8,84E-03	6,22E-04	2,77E-04	2,72E-02	1,30E-03	1,05E-02	1,13E-08	1,33E-01	2,05E-03	1,21E-03	6,62E-04	-3,94E-01	2,38E-01	-3,12E-05	1,97E-01	-4,07E-02	-4,08E-02	4,08E-02
45	21,59	1814,77	6,82E-03	4,80E-04	2,14E-04	2,10E-02	9,16E-04	8,13E-03	2,33E-09	1,03E-01	1,57E-03	9,21E-04	5,21E-04	-9,04E-02	5,66E-02	-6,00E-06	4,52E-02	-1,14E-02	-1,14E-02	1,14E-02
54	15,62	1654,54	5,41E-03	3,81E-04	1,70E-04	1,66E-02	7,07E-04	6,47E-03	5,38E-10	8,14E-02	1,25E-03	7,28E-04	4,17E-04	-1,93E-02	1,29E-02	-1,29E-06	9,63E-03	-3,27E-03	-3,27E-03	3,27E-03
63	11,77	1526,02	4,42E-03	3,11E-04	1,39E-04	1,36E-02	5,73E-04	5,28E-03	1,39E-10	6,65E-02	1,02E-03	5,94E-04	3,41E-04	-4,28E-03	3,08E-03	-3,09E-07	2,14E-03	-9,46E-04	-9,46E-04	9,46E-04
72	9,21	1422,94	3,71E-03	2,62E-04	1,16E-04	1,14E-02	4,80E-04	4,44E-03	4,00E-11	5,58E-02	8,54E-04	4,99E-04	2,87E-04	-1,05E-03	8,12E-04	-8,19E-08	5,26E-04	-2,86E-04	-2,86E-04	2,86E-04
81	7,47	1340,05	3,20E-03	2,25E-04	1,00E-04	9,83E-03	4,13E-04	3,82E-03	1,30E-11	4,80E-02	7,35E-04	4,29E-04	2,47E-04	-2,93E-04	2,40E-04	-2,41E-08	1,47E-04	-9,35E-05	-9,35E-05	9,35E-05
90	6,24	1273,23	2,81E-03	1,98E-04	8,82E-05	8,65E-03	3,64E-04	3,36E-03	4,79E-12	4,23E-02	6,47E-04	3,78E-04	2,17E-04	-9,39E-05	8,07E-05	-7,90E-09	4,70E-05	-3,38E-05	-3,38E-05	3,38E-05
99	5,37	1219,31	2,52E-03	1,78E-04	7,91E-05	7,76E-03	3,26E-04	3,02E-03	1,98E-12	3,79E-02	5,81E-04	3,39E-04	1,95E-04	-3,45E-05	3,09E-05	-2,87E-09	1,72E-05	-1,36E-05	-1,36E-05	1,36E-05
108	4,73	1175,81	2,31E-03	1,62E-04	7,23E-05	7,09E-03	2,98E-04	2,75E-03	9,22E-13	3,46E-02	5,30E-04	3,09E-04	1,78E-04	-1,45E-05	1,34E-05	-1,15E-09	7,25E-06	-6,16E-06	-6,16E-06	6,16E-06
117	4,25	1140,85	2,14E-03	1,51E-04	6,70E-05	6,57E-03	2,76E-04	2,55E-03	4,79E-13	3,21E-02	4,92E-04	2,87E-04	1,65E-04	-6,92E-06	6,57E-06	-5,10E-10	3,46E-06	-3,11E-06	-3,11E-06	3,11E-06
126	3,90	1112,96	2,01E-03	1,41E-04	6,30E-05	6,18E-03	2,60E-04	2,40E-03	2,77E-13	3,02E-02	4,62E-04	2,70E-04	1,55E-04	-3,72E-06	3,61E-06	-2,45E-10	1,86E-06	-1,75E-06	-1,75E-06	1,75E-06
135	3,64	1090,99	1,91E-03	1,35E-04	5,99E-05	5,88E-03	2,47E-04	2,28E-03	1,76E-13	2,87E-02	4,40E-04	2,57E-04	1,48E-04	-2,24E-06	2,21E-06	-1,27E-10	1,12E-06	-1,09E-06	-1,09E-06	1,09E-06
144	3,44	1074,07	1,84E-03	1,29E-04	5,76E-05	5,65E-03	2,38E-04	2,20E-03	1,23E-13	2,76E-02	4,23E-04	2,47E-04	1,42E-04	-1,50E-06	1,50E-06	-6,92E-11	7,49E-07	-7,48E-07	-7,49E-07	7,49E-07
153	3,30	1061,54	1,79E-03	1,26E-04	5,60E-05	5,49E-03	2,31E-04	2,13E-03	9,40E-14	2,68E-02	4,11E-04	2,40E-04	1,38E-04	-1,10E-06	1,11E-06	-3,87E-11	5,52E-07	-5,62E-07	-5,62E-07	5,62E-07
162	3,21	1052,92	1,75E-03	1,23E-04	5,48E-05	5,38E-03	2,26E-04	2,09E-03	7,76E-14	2,63E-02	4,02E-04	2,35E-04	1,35E-04	-8,90E-07	9,05E-07	-2,10E-11	4,45E-07	-4,59E-07	-4,59E-07	4,59E-07
171	3,16	1047,87	1,73E-03	1,22E-04	5,42E-05	5,31E-03	2,23E-04	2,07E-03	6,93E-14	2,60E-02	3,98E-04	2,32E-04	1,33E-04	-7,84E-07	8,00E-07	-9,30E-12	3,92E-07	-4,08E-07	-4,08E-07	4,08E-07
180	3,14	1046,21	1,72E-03	1,21E-04	5,40E-05	5,29E-03	2,22E-04	2,06E-03	6,68E-14	2,59E-02	3,96E-04	2,31E-04	1,33E-04	-7,52E-07	7,68E-07	-1,14E-15	3,76E-07	-3,92E-07	-3,92E-07	3,92E-07

Teste: Razão de compressão 12, 50% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0001	0,0000	0,0049	0,0007	0,0020	0,0000	0,0261	0,0001	0,0003	0,0000	0,0363	101,78	2825,79	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,4603	0,3792	0,1364	13,5598	1,9438	5,4542	0,0000	71,9542	0,1417	0,9371	0,0333	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	101,78	2825,79	2,37E-02	1,64E-03	5,91E-04	5,87E-02	8,42E-03	2,36E-02	0,0E+00	3,12E-01	6,14E-04	4,06E-03	1,44E-04	-2,61E+01	3,50E+01	1,13E+02	-4,37E+01	-7,87E+01	3,47E+01	-3,47E+01
9	90,45	2732,13	2,17E-02	1,51E-03	5,43E-04	5,40E-02	7,32E-03	2,19E-02	1,00E-07	2,87E-01	5,53E-04	3,72E-03	1,44E-04	-2,25E+00	1,14E+00	-1,38E-04	1,13E+00	-1,47E-02	-1,49E-02	1,49E-02
18	66,99	2507,53	1,75E-02	1,22E-03	4,38E-04	4,36E-02	4,89E-03	1,82E-02	3,24E-08	2,32E-01	4,39E-04	2,99E-03	1,24E-04	-1,88E+00	9,53E-01	-7,35E-05	9,39E-01	-1,39E-02	-1,40E-02	1,40E-02
27	45,75	2248,65	1,34E-02	9,28E-04	3,34E-04	3,32E-02	3,20E-03	1,41E-02	7,34E-09	1,77E-01	3,30E-04	2,28E-03	9,82E-05	-6,63E-01	3,37E-01	-1,90E-05	3,31E-01	-5,70E-03	-5,72E-03	5,72E-03
36	31,00	2011,99	1,01E-02	7,03E-04	2,53E-04	2,51E-02	2,28E-03	1,08E-02	1,54E-09	1,34E-01	2,48E-04	1,72E-03	7,62E-05	-1,53E-01	7,97E-02	-3,99E-06	7,65E-02	-3,21E-03	-3,21E-03	3,21E-03
45	21,58	1814,13	7,81E-03	5,42E-04	1,95E-04	1,94E-02	1,72E-03	8,34E-03	3,35E-10	1,03E-01	1,91E-04	1,33E-03	5,98E-05	-3,01E-02	1,66E-02	-8,41E-07	1,51E-02	-1,52E-03	-1,52E-03	1,52E-03
54	15,61	1653,97	6,20E-03	4,31E-04	1,55E-04	1,54E-02	1,36E-03	6,63E-03	7,86E-11	8,21E-02	1,51E-04	1,05E-03	4,79E-05	-5,92E-03	3,49E-03	-1,88E-07	2,96E-03	-5,34E-04	-5,34E-04	5,34E-04
63	11,77	1525,48	5,06E-03	3,52E-04	1,27E-04	1,26E-02	1,11E-03	5,41E-03	2,03E-11	6,71E-02	1,23E-04	8,61E-04	3,93E-05	-1,26E-03	7,97E-04	-4,53E-08	6,31E-04	-1,67E-04	-1,67E-04	1,67E-04
72	9,21	1422,44	4,25E-03	2,95E-04	1,06E-04	1,06E-02	9,33E-04	4,55E-03	5,84E-12	5,63E-02	1,03E-04	7,23E-04	3,30E-05	-3,03E-04	2,04E-04	-1,20E-08	1,52E-04	-5,23E-05	-5,23E-05	5,23E-05
81	7,47	1339,58	3,66E-03	2,54E-04	9,14E-05	9,09E-03	8,03E-04	3,91E-03	1,89E-12	4,85E-02	8,89E-05	6,22E-04	2,84E-05	-8,35E-05	5,92E-05	-3,52E-09	4,18E-05	-1,74E-05	-1,74E-05	1,74E-05
90	6,24	1272,79	3,22E-03	2,24E-04	8,05E-05	8,00E-03	7,07E-04	3,44E-03	6,93E-13	4,27E-02	7,82E-05	5,47E-04	2,50E-05	-2,65E-05	1,97E-05	-1,15E-09	1,33E-05	-6,38E-06	-6,38E-06	6,38E-06
99	5,36	1218,88	2,89E-03	2,01E-04	7,22E-05	7,18E-03	6,34E-04	3,09E-03	2,86E-13	3,83E-02	7,02E-05	4,91E-04	2,25E-05	-9,70E-06	7,45E-06	-4,16E-10	4,85E-06	-2,60E-06	-2,60E-06	2,60E-06
108	4,72	1175,40	2,64E-03	1,83E-04	6,59E-05	6,55E-03	5,79E-04	2,82E-03	1,33E-13	3,50E-02	6,41E-05	4,49E-04	2,05E-05	-4,06E-06	3,22E-06	-1,67E-10	2,03E-06	-1,18E-06	-1,18E-06	1,18E-06
117	4,25	1140,45	2,45E-03	1,70E-04	6,11E-05	6,08E-03	5,37E-04	2,62E-03	6,89E-14	3,24E-02	5,94E-05	4,16E-04	1,90E-05	-1,94E-06	1,57E-06	-7,36E-11	9,68E-07	-6,01E-07	-6,02E-07	6,02E-07
126	3,90	1112,57	2,30E-03	1,60E-04	5,75E-05	5,71E-03	5,05E-04	2,46E-03	3,98E-14	3,05E-02	5,59E-05	3,91E-04	1,79E-05	-1,04E-06	8,60E-07	-3,54E-11	5,20E-07	-3,40E-07	-3,40E-07	3,40E-07
135	3,64	1090,61	2,19E-03	1,52E-04	5,47E-05	5,44E-03	4,80E-04	2,34E-03	2,53E-14	2,90E-02	5,32E-05	3,72E-04	1,70E-05	-6,26E-07	5,26E-07	-1,83E-11	3,13E-07	-2,13E-07	-2,13E-07	2,13E-07
144	3,44	1073,70	2,11E-03	1,46E-04	5,26E-05	5,23E-03	4,62E-04	2,25E-03	1,77E-14	2,79E-02	5,11E-05	3,58E-04	1,64E-05	-4,18E-07	3,55E-07	-9,95E-12	2,09E-07	-1,46E-07	-1,46E-07	1,46E-07
153	3,30	1061,17	2,04E-03	1,42E-04	5,11E-05	5,08E-03	4,48E-04	2,18E-03	1,35E-14	2,71E-02	4,96E-05	3,47E-04	1,59E-05	-3,08E-07	2,64E-07	-5,57E-12	1,54E-07	-1,10E-07	-1,10E-07	1,10E-07
162	3,21	1052,55	2,00E-03	1,39E-04	5,00E-05	4,97E-03	4,39E-04	2,14E-03	1,11E-14	2,65E-02	4,86E-05	3,40E-04	1,56E-05	-2,48E-07	2,14E-07	-3,02E-12	1,24E-07	-9,00E-08	-9,00E-08	9,00E-08
171	3,16	1047,51	1,98E-03	1,37E-04	4,94E-05	4,91E-03	4,34E-04	2,12E-03	9,94E-15	2,62E-02	4,81E-05	3,36E-04	1,54E-05	-2,19E-07	1,89E-07	-1,34E-12	1,09E-07	-8,00E-08	-8,00E-08	8,00E-08
180	3,14	1045,85	1,97E-03	1,37E-04	4,92E-05	4,90E-03	4,32E-04	2,11E-03	9,58E-15	2,61E-02	4,79E-05	3,35E-04	1,53E-05	-2,10E-07	1,82E-07	-9,50E-17	1,05E-07	-7,69E-08	-7,69E-08	7,69E-08

Teste: Razão de compressão 12, 50% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0021	0,0001	0,0000	0,0048	0,0007	0,0020	0,0000	0,0263	0,0001	0,0003	0,0000	0,0365	101,77	2825,42	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,7049	0,3949	0,1315	13,1157	1,9491	5,4764	0,0000	72,1312	0,1418	0,9219	0,0327	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	101,77	2825,42	2,47E-02	1,71E-03	5,70E-04	5,68E-02	8,44E-03	2,37E-02	0,0E+00	3,12E-01	6,14E-04	3,99E-03	1,42E-04	-2,55E+01	3,51E+01	1,13E+02	-4,37E+01	-7,88E+01	3,41E+01	-3,41E+01
9	90,45	2731,78	2,27E-02	1,57E-03	5,24E-04	5,22E-02	7,34E-03	2,20E-02	9,99E-08	2,87E-01	5,53E-04	3,66E-03	1,41E-04	-2,26E+00	1,15E+00	-1,38E-04	1,13E+00	-1,45E-02	-1,47E-02	1,47E-02
18	66,99	2507,20	1,83E-02	1,27E-03	4,23E-04	4,21E-02	4,91E-03	1,83E-02	3,23E-08	2,32E-01	4,39E-04	2,95E-03	1,21E-04	-1,88E+00	9,55E-01	-7,34E-05	9,41E-01	-1,37E-02	-1,38E-02	1,38E-02
27	45,75	2248,35	1,40E-02	9,66E-04	3,22E-04	3,21E-02	3,21E-03	1,42E-02	7,33E-09	1,77E-01	3,31E-04	2,24E-03	9,63E-05	-6,64E-01	3,38E-01	-1,89E-05	3,32E-01	-5,65E-03	-5,67E-03	5,67E-03
36	31,00	2011,72	1,06E-02	7,32E-04	2,44E-04	2,43E-02	2,28E-03	1,08E-02	1,54E-09	1,34E-01	2,48E-04	1,69E-03	7,48E-05	-1,53E-01	7,99E-02	-3,98E-06	7,67E-02	-3,19E-03	-3,19E-03	3,19E-03
45	21,58	1813,89	8,16E-03	5,65E-04	1,88E-04	1,88E-02	1,73E-03	8,38E-03	3,35E-10	1,04E-01	1,91E-04	1,31E-03	5,87E-05	-3,02E-02	1,66E-02	-8,41E-07	1,51E-02	-1,51E-03	-1,51E-03	1,51E-03
54	15,61	1653,75	6,48E-03	4,48E-04	1,49E-04	1,49E-02	1,37E-03	6,65E-03	7,86E-11	8,23E-02	1,51E-04	1,04E-03	4,70E-05	-5,94E-03	3,50E-03	-1,88E-07	2,97E-03	-5,30E-04	-5,31E-04	5,31E-04
63	11,76	1525,28	5,29E-03	3,66E-04	1,22E-04	1,22E-02	1,11E-03	5,43E-03	2,03E-11	6,73E-02	1,23E-04	8,47E-04	3,86E-05	-1,27E-03	7,99E-04	-4,54E-08	6,33E-04	-1,66E-04	-1,66E-04	1,66E-04
72	9,21	1422,25	4,44E-03	3,08E-04	1,02E-04	1,02E-02	9,36E-04	4,56E-03	5,85E-12	5,65E-02	1,03E-04	7,11E-04	3,24E-05	-3,04E-04	2,04E-04	-1,20E-08	1,52E-04	-5,19E-05	-5,19E-05	5,19E-05
81	7,46	1339,40	3,82E-03	2,65E-04	8,82E-05	8,79E-03	8,05E-04	3,93E-03	1,90E-12	4,86E-02	8,90E-05	6,12E-04	2,79E-05	-8,40E-05	5,93E-05	-3,53E-09	4,20E-05	-1,73E-05	-1,73E-05	1,73E-05
90	6,24	1272,62	3,37E-03	2,33E-04	7,76E-05	7,74E-03	7,09E-04	3,46E-03	6,95E-13	4,28E-02	7,83E-05	5,38E-04	2,46E-05	-2,67E-05	1,97E-05	-1,15E-09	1,33E-05	-6,34E-06	-6,34E-06	6,34E-06
99	5,36	1218,72	3,02E-03	2,09E-04	6,96E-05	6,94E-03	6,36E-04	3,10E-03	2,87E-13	3,84E-02	7,03E-05	4,83E-04	2,21E-05	-9,76E-06	7,46E-06	-4,17E-10	4,88E-06	-2,58E-06	-2,58E-06	2,58E-06
108	4,72	1175,24	2,76E-03	1,91E-04	6,36E-05	6,34E-03	5,81E-04	2,83E-03	1,33E-13	3,50E-02	6,42E-05	4,41E-04	2,01E-05	-4,09E-06	3,22E-06	-1,67E-10	2,04E-06	-1,18E-06	-1,18E-06	1,18E-06
117	4,25	1140,30	2,56E-03	1,77E-04	5,90E-05	5,88E-03	5,38E-04	2,63E-03	6,92E-14	3,25E-02	5,95E-05	4,09E-04	1,87E-05	-1,95E-06	1,57E-06	-7,39E-11	9,74E-07	-5,98E-07	-5,98E-07	5,98E-07
126	3,90	1112,42	2,40E-03	1,66E-04	5,54E-05	5,53E-03	5,06E-04	2,47E-03	3,99E-14	3,06E-02	5,59E-05	3,85E-04	1,76E-05	-1,05E-06	8,62E-07	-3,55E-11	5,24E-07	-3,38E-07	-3,38E-07	3,38E-07
135	3,63	1090,46	2,29E-03	1,58E-04	5,27E-05	5,26E-03	4,82E-04	2,35E-03	2,54E-14	2,91E-02	5,32E-05	3,66E-04	1,67E-05	-6,30E-07	5,26E-07	-1,83E-11	3,15E-07	-2,11E-07	-2,11E-07	2,11E-07
144	3,44	1073,56	2,20E-03	1,52E-04	5,07E-05	5,06E-03	4,63E-04	2,26E-03	1,78E-14	2,80E-02	5,12E-05	3,52E-04	1,61E-05	-4,21E-07	3,56E-07	-9,99E-12	2,10E-07	-1,45E-07	-1,45E-07	1,45E-07
153	3,30	1061,03	2,14E-03	1,48E-04	4,92E-05	4,91E-03	4,50E-04	2,19E-03	1,35E-14	2,71E-02	4,97E-05	3,42E-04	1,56E-05	-3,10E-07	2,64E-07	-5,59E-12	1,55E-07	-1,09E-07	-1,09E-07	1,09E-07
162	3,21	1052,41	2,09E-03	1,45E-04	4,82E-05	4,81E-03	4,41E-04	2,15E-03	1,12E-14	2,66E-02	4,87E-05	3,35E-04	1,53E-05	-2,50E-07	2,14E-07	-3,03E-12	1,25E-07	-8,94E-08	-8,94E-08	8,94E-08
171	3,16	1047,37	2,07E-03	1,43E-04	4,77E-05	4,75E-03	4,35E-04	2,12E-03	9,99E-15	2,63E-02	4,81E-05	3,31E-04	1,51E-05	-2,20E-07	1,90E-07	-1,34E-12	1,10E-07	-7,94E-08	-7,94E-08	7,94E-08
180	3,14	1045,71	2,06E-03	1,43E-04	4,75E-05	4,73E-03	4,34E-04	2,12E-03	9,62E-15	2,62E-02	4,79E-05	3,30E-04	1,50E-05	-2,11E-07	1,82E-07	-9,61E-17	1,06E-07	-7,64E-08	-7,64E-08	7,64E-08

Teste: Razão de compressão 12, 50% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0022	0,0001	0,0000	0,0047	0,0007	0,0020	0,0000	0,0265	0,0001	0,0003	0,0000	0,0367	101,76	2825,10	1,40	12	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,9109	0,4080	0,1274	12,7420	1,9536	5,4952	0,0000	72,2802	0,1418	0,9088	0,0321	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	101,76	2825,10	2,56E-02	1,77E-03	5,52E-04	5,52E-02	8,46E-03	2,38E-02	0,0E+00	3,13E-01	6,14E-04	3,94E-03	1,39E-04	-2,50E+01	3,52E+01	1,12E+02	-4,37E+01	-7,89E+01	3,36E+01	-3,36E+01
9	90,44	2731,47	2,35E-02	1,62E-03	5,07E-04	5,07E-02	7,36E-03	2,21E-02	9,98E-08	2,88E-01	5,53E-04	3,61E-03	1,39E-04	-2,27E+00	1,15E+00	-1,37E-04	1,13E+00	-1,43E-02	-1,45E-02	1,45E-02
18	66,98	2506,92	1,90E-02	1,31E-03	4,09E-04	4,09E-02	4,92E-03	1,84E-02	3,23E-08	2,33E-01	4,40E-04	2,90E-03	1,19E-04	-1,89E+00	9,57E-01	-7,33E-05	9,43E-01	-1,36E-02	-1,36E-02	1,36E-02
27	45,74	2248,10	1,45E-02	9,98E-04	3,12E-04	3,12E-02	3,22E-03	1,42E-02	7,33E-09	1,78E-01	3,31E-04	2,21E-03	9,48E-05	-6,66E-01	3,39E-01	-1,89E-05	3,33E-01	-5,60E-03	-5,62E-03	5,62E-03
36	30,99	2011,50	1,10E-02	7,56E-04	2,36E-04	2,36E-02	2,29E-03	1,09E-02	1,54E-09	1,35E-01	2,49E-04	1,67E-03	7,36E-05	-1,54E-01	8,01E-02	-3,98E-06	7,69E-02	-3,17E-03	-3,17E-03	3,17E-03
45	21,57	1813,69	8,46E-03	5,84E-04	1,82E-04	1,82E-02	1,73E-03	8,40E-03	3,35E-10	1,04E-01	1,91E-04	1,29E-03	5,78E-05	-3,03E-02	1,66E-02	-8,40E-07	1,51E-02	-1,50E-03	-1,50E-03	1,50E-03
54	15,61	1653,56	6,71E-03	4,63E-04	1,45E-04	1,45E-02	1,37E-03	6,67E-03	7,87E-11	8,25E-02	1,51E-04	1,02E-03	4,63E-05	-5,96E-03	3,51E-03	-1,88E-07	2,98E-03	-5,27E-04	-5,27E-04	5,27E-04
63	11,76	1525,11	5,48E-03	3,78E-04	1,18E-04	1,18E-02	1,12E-03	5,45E-03	2,03E-11	6,74E-02	1,23E-04	8,35E-04	3,80E-05	-1,27E-03	8,00E-04	-4,54E-08	6,35E-04	-1,65E-04	-1,65E-04	1,65E-04
72	9,21	1422,09	4,60E-03	3,18E-04	9,92E-05	9,92E-03	9,38E-04	4,58E-03	5,86E-12	5,66E-02	1,04E-04	7,01E-04	3,19E-05	-3,06E-04	2,04E-04	-1,20E-08	1,53E-04	-5,16E-05	-5,16E-05	5,16E-05
81	7,46	1339,25	3,96E-03	2,73E-04	8,54E-05	8,54E-03	8,07E-04	3,94E-03	1,90E-12	4,87E-02	8,91E-05	6,03E-04	2,75E-05	-8,43E-05	5,94E-05	-3,53E-09	4,22E-05	-1,72E-05	-1,72E-05	1,72E-05
90	6,24	1272,48	3,49E-03	2,41E-04	7,52E-05	7,52E-03	7,10E-04	3,47E-03	6,96E-13	4,29E-02	7,84E-05	5,31E-04	2,42E-05	-2,68E-05	1,97E-05	-1,15E-09	1,34E-05	-6,30E-06	-6,30E-06	6,30E-06
99	5,36	1218,58	3,13E-03	2,16E-04	6,74E-05	6,75E-03	6,37E-04	3,11E-03	2,88E-13	3,85E-02	7,04E-05	4,76E-04	2,17E-05	-9,81E-06	7,47E-06	-4,18E-10	4,90E-06	-2,57E-06	-2,57E-06	2,57E-06
108	4,72	1175,11	2,86E-03	1,97E-04	6,16E-05	6,16E-03	5,82E-04	2,84E-03	1,34E-13	3,51E-02	6,43E-05	4,35E-04	1,98E-05	-4,11E-06	3,22E-06	-1,68E-10	2,06E-06	-1,17E-06	-1,17E-06	1,17E-06
117	4,25	1140,17	2,65E-03	1,83E-04	5,71E-05	5,71E-03	5,40E-04	2,64E-03	6,94E-14	3,26E-02	5,96E-05	4,03E-04	1,84E-05	-1,96E-06	1,57E-06	-7,41E-11	9,80E-07	-5,94E-07	-5,94E-07	5,94E-07
126	3,90	1112,29	2,49E-03	1,72E-04	5,37E-05	5,37E-03	5,07E-04	2,48E-03	4,01E-14	3,06E-02	5,60E-05	3,79E-04	1,73E-05	-1,05E-06	8,63E-07	-3,56E-11	5,27E-07	-3,36E-07	-3,36E-07	3,36E-07
135	3,63	1090,34	2,37E-03	1,64E-04	5,11E-05	5,11E-03	4,83E-04	2,36E-03	2,55E-14	2,91E-02	5,33E-05	3,61E-04	1,64E-05	-6,34E-07	5,27E-07	-1,84E-11	3,17E-07	-2,10E-07	-2,10E-07	2,10E-07
144	3,44	1073,43	2,28E-03	1,57E-04	4,91E-05	4,91E-03	4,64E-04	2,27E-03	1,78E-14	2,80E-02	5,12E-05	3,47E-04	1,58E-05	-4,23E-07	3,56E-07	-1,00E-11	2,12E-07	-1,44E-07	-1,44E-07	1,44E-07
153	3,30	1060,91	2,21E-03	1,53E-04	4,77E-05	4,77E-03	4,51E-04	2,20E-03	1,36E-14	2,72E-02	4,98E-05	3,37E-04	1,54E-05	-3,12E-07	2,64E-07	-5,61E-12	1,56E-07	-1,09E-07	-1,09E-07	1,09E-07
162	3,21	1052,29	2,17E-03	1,50E-04	4,67E-05	4,67E-03	4,42E-04	2,16E-03	1,12E-14	2,67E-02	4,88E-05	3,30E-04	1,50E-05	-2,51E-07	2,15E-07	-3,04E-12	1,26E-07	-8,89E-08	-8,89E-08	8,89E-08
171	3,16	1047,25	2,14E-03	1,48E-04	4,62E-05	4,62E-03	4,36E-04	2,13E-03	1,00E-14	2,63E-02	4,82E-05	3,26E-04	1,49E-05	-2,21E-07	1,90E-07	-1,35E-12	1,11E-07	-7,90E-08	-7,90E-08	7,90E-08
180	3,14	1045,59	2,13E-03	1,47E-04	4,60E-05	4,60E-03	4,35E-04	2,12E-03	9,65E-15	2,62E-02	4,80E-05	3,25E-04	1,48E-05	-2,12E-07	1,82E-07	-9,72E-17	1,06E-07	-7,59E-08	-7,59E-08	7,59E-08

Teste: Razão de compressão 12, 50% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

Apêndice B - Expansão do ciclo Atkinson

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0002	0,0003	0,0013	0,0083	0,0005	0,0003	0,0056	0,0181	0,0001	0,0010	0,0003	0,036101	103,01	3431,69	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,5922	0,7635	3,7148	22,9456	1,3297	0,9511	15,4587	50,2263	0,3996	2,6561	0,9625	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	103,01	3431,69	2,14E-03	2,76E-03	1,34E-02	8,28E-02	4,80E-03	3,43E-03	5,58E-02	1,81E-01	1,44E-03	9,59E-03	3,47E-03	2,74E+07	-3,03E+06	-4,53E+07	8,99E+06	1,20E+07	-3,33E+07	3,33E+07
9	90,61	3308,25	1,95E-03	2,52E-03	1,22E-02	7,56E-02	8,17E-06	1,19E-08	2,28E-02	1,82E-01	2,07E-02	6,99E-09	1,19E-02	-1,36E-02	-2,73E-05	-1,37E-02	1,36E-02	1,36E-02	-1,88E-05	1,88E-05
18	65,64	3017,05	1,55E-03	2,00E-03	9,72E-03	6,00E-02	2,14E-06	1,96E-09	1,81E-02	1,44E-01	1,64E-02	9,09E-10	9,47E-03	-6,04E-03	-7,64E-06	-6,06E-03	6,05E-03	6,06E-03	-4,15E-06	4,15E-06
27	43,86	2688,75	1,16E-03	1,50E-03	7,29E-03	4,50E-02	3,46E-07	1,64E-10	1,36E-02	1,08E-01	1,23E-02	5,54E-11	7,10E-03	-1,18E-03	-7,82E-07	-1,18E-03	1,18E-03	1,18E-03	-3,06E-07	3,06E-07
36	29,22	2394,33	8,69E-04	1,12E-03	5,45E-03	3,37E-02	4,57E-08	1,04E-11	1,02E-02	8,10E-02	9,23E-03	2,43E-12	5,31E-03	-1,65E-04	-5,27E-08	-1,65E-04	1,65E-04	1,65E-04	-1,43E-08	1,43E-08
45	20,10	2151,64	6,66E-04	8,58E-04	4,17E-03	2,58E-02	5,86E-09	6,21E-13	7,77E-03	6,20E-02	7,07E-03	9,98E-14	4,07E-03	-2,11E-05	-3,15E-09	-2,11E-05	2,11E-05	2,11E-05	-5,86E-10	5,86E-10
54	14,43	1957,11	5,25E-04	6,77E-04	3,29E-03	2,03E-02	8,01E-10	4,03E-14	6,13E-03	4,89E-02	5,58E-03	4,48E-15	3,21E-03	-2,77E-06	-1,97E-10	-2,77E-06	2,77E-06	2,77E-06	-2,53E-11	2,53E-11
63	10,81	1802,14	4,27E-04	5,51E-04	2,68E-03	1,66E-02	1,23E-10	3,05E-15	4,99E-03	3,98E-02	4,54E-03	2,39E-16	2,61E-03	-4,00E-07	-1,40E-11	-4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	-1,27E-12	1,27E-12
72	8,43	1678,45	3,58E-04	4,61E-04	2,24E-03	1,39E-02	2,18E-11	2,79E-16	4,18E-03	3,33E-02	3,80E-03	1,58E-17	2,19E-03	-6,53E-08	-1,18E-12	-6,53E-08	6,53E-08	6,53E-08	-7,71E-14	7,71E-14
81	6,81	1579,34	3,07E-04	3,96E-04	1,93E-03	1,19E-02	4,53E-12	3,18E-17	3,59E-03	2,86E-02	3,26E-03	1,33E-18	1,88E-03	-1,23E-08	-1,22E-13	-1,23E-08	1,23E-08	1,23E-08	-5,90E-15	5,90E-15
90	5,68	1499,65	2,70E-04	3,48E-04	1,69E-03	1,05E-02	1,11E-12	4,52E-18	3,15E-03	2,51E-02	2,87E-03	1,45E-19	1,65E-03	-2,69E-09	-1,55E-14	-2,69E-09	2,69E-09	2,69E-09	-5,73E-16	5,73E-16
99	4,88	1435,46	2,42E-04	3,12E-04	1,52E-03	9,37E-03	3,21E-13	8,08E-19	2,82E-03	2,25E-02	2,57E-03	2,04E-20	1,48E-03	-6,83E-10	-2,44E-15	-6,83E-10	6,83E-10	6,83E-10	-7,10E-17	7,10E-17
108	4,29	1383,76	2,21E-04	2,85E-04	1,38E-03	8,55E-03	1,09E-13	1,80E-19	2,58E-03	2,06E-02	2,34E-03	3,71E-21	1,35E-03	-2,01E-10	-4,72E-16	-2,01E-10	2,01E-10	2,01E-10	-1,12E-17	1,12E-17
117	3,85	1342,25	2,05E-04	2,64E-04	1,28E-03	7,93E-03	4,33E-14	4,99E-20	2,39E-03	1,91E-02	2,17E-03	8,59E-22	1,25E-03	-6,78E-11	-1,11E-16	-6,78E-11	6,78E-11	6,78E-11	-2,20E-18	2,20E-18
126	3,53	1309,16	1,92E-04	2,48E-04	1,21E-03	7,45E-03	1,99E-14	1,69E-20	2,24E-03	1,79E-02	2,04E-03	2,51E-22	1,17E-03	-2,60E-11	-3,14E-17	-2,60E-11	2,60E-11	2,60E-11	-5,34E-19	5,34E-19
135	3,29	1283,12	1,83E-04	2,36E-04	1,15E-03	7,08E-03	1,05E-14	6,97E-21	2,13E-03	1,70E-02	1,94E-03	9,11E-23	1,12E-03	-1,11E-11	-1,05E-17	-1,11E-11	1,11E-11	1,11E-11	-1,58E-19	1,58E-19
144	3,12	1263,07	1,76E-04	2,27E-04	1,10E-03	6,81E-03	6,33E-15	3,43E-21	2,05E-03	1,64E-02	1,87E-03	4,07E-23	1,07E-03	-5,23E-12	-4,03E-18	-5,23E-12	5,23E-12	5,23E-12	-5,49E-20	5,49E-20
153	2,99	1248,23	1,71E-04	2,20E-04	1,07E-03	6,61E-03	4,30E-15	2,00E-21	1,99E-03	1,59E-02	1,81E-03	2,20E-23	1,04E-03	-2,61E-12	-1,73E-18	-2,61E-12	2,61E-12	2,61E-12	-2,19E-20	2,19E-20
162	2,90	1238,02	1,67E-04	2,15E-04	1,05E-03	6,48E-03	3,28E-15	1,37E-21	1,95E-03	1,56E-02	1,77E-03	1,43E-23	1,02E-03	-1,31E-12	-7,79E-19	-1,31E-12	1,31E-12	1,31E-12	-9,34E-21	9,34E-21
171	2,86	1232,04	1,65E-04	2,13E-04	1,04E-03	6,40E-03	2,79E-15	1,10E-21	1,93E-03	1,54E-02	1,75E-03	1,11E-23	1,01E-03	-5,52E-13	-3,09E-19	-5,52E-13	5,52E-13	5,52E-13	-3,58E-21	3,58E-21
180	2,84	1230,07	1,64E-04	2,12E-04	1,03E-03	6,37E-03	2,64E-15	1,02E-21	1,92E-03	1,53E-02	1,75E-03	1,02E-23	1,00E-03	-2,03E-17	-6,10E-22	-2,03E-17	2,03E-17	2,03E-17	-1,48E-25	1,48E-25

Teste: Razão de expansão 13, 0% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0007	0,0009	0,0012	0,0073	0,0006	0,0004	0,0019	0,0216	0,0002	0,0010	0,0004	0,036101	104,49	3481,01	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	1,8392	2,3757	3,2390	20,1205	1,7227	1,2249	5,1601	59,9499	0,5087	2,8631	0,9963	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	104,49	3481,01	6,64E-03	8,58E-03	1,17E-02	7,26E-02	6,22E-03	4,42E-03	1,86E-02	2,16E-01	1,84E-03	1,03E-02	3,60E-03	9,46E+06	-1,35E+06	-1,73E+07	3,90E+06	5,24E+06	-1,20E+07	1,20E+07
9	91,92	3355,80	6,06E-03	7,83E-03	1,07E-02	6,63E-02	4,52E-03	2,93E-03	3,15E-05	2,07E-01	1,18E-02	2,63E-03	1,01E-02	-1,42E+00	7,98E-01	-4,05E-02	7,31E-01	-6,67E-02	-1,07E-01	1,07E-01
18	66,58	3060,41	4,81E-03	6,22E-03	8,47E-03	5,26E-02	2,87E-03	2,76E-03	1,05E-05	1,64E-01	9,34E-03	2,01E-03	8,09E-03	-1,65E+00	1,05E+00	-2,26E-02	8,35E-01	-2,19E-01	-2,41E-01	2,41E-01
27	44,49	2727,39	3,61E-03	4,66E-03	6,35E-03	3,95E-02	1,54E-03	2,49E-03	2,39E-06	1,24E-01	6,89E-03	1,39E-03	6,18E-03	-1,14E+00	8,49E-01	-6,17E-03	5,71E-01	-2,78E-01	-2,84E-01	2,84E-01
36	29,64	2428,74	2,70E-03	3,49E-03	4,75E-03	2,95E-02	7,89E-04	2,15E-03	4,72E-07	9,27E-02	5,05E-03	9,32E-04	4,73E-03	-5,94E-01	4,91E-01	-1,29E-03	2,98E-01	-1,94E-01	-1,95E-01	1,95E-01
45	20,39	2182,56	2,07E-03	2,67E-03	3,64E-03	2,26E-02	4,29E-04	1,79E-03	9,37E-08	7,10E-02	3,81E-03	6,57E-04	3,68E-03	-2,55E-01	2,02E-01	-2,50E-04	1,27E-01	-7,49E-02	-7,51E-02	7,51E-02
54	14,64	1985,24	1,63E-03	2,11E-03	2,87E-03	1,78E-02	2,67E-04	1,47E-03	2,06E-08	5,61E-02	2,99E-03	5,00E-04	2,92E-03	-9,33E-02	6,59E-02	-5,02E-05	4,67E-02	-1,92E-02	-1,92E-02	1,92E-02
63	10,97	1828,04	1,33E-03	1,71E-03	2,34E-03	1,45E-02	1,92E-04	1,21E-03	5,31E-09	4,56E-02	2,43E-03	4,02E-04	2,38E-03	-3,09E-02	2,03E-02	-1,14E-05	1,55E-02	-4,81E-03	-4,82E-03	4,82E-03
72	8,55	1702,57	1,11E-03	1,43E-03	1,96E-03	1,22E-02	1,52E-04	1,02E-03	1,62E-09	3,82E-02	2,03E-03	3,35E-04	2,00E-03	-1,01E-02	6,55E-03	-3,08E-06	5,03E-03	-1,52E-03	-1,52E-03	1,52E-03
81	6,91	1602,04	9,54E-04	1,23E-03	1,68E-03	1,04E-02	1,28E-04	8,77E-04	5,70E-10	3,28E-02	1,74E-03	2,88E-04	1,71E-03	-3,44E-03	2,31E-03	-9,57E-07	1,72E-03	-5,87E-04	-5,88E-04	5,88E-04
90	5,76	1521,21	8,38E-04	1,08E-03	1,48E-03	9,17E-03	1,12E-04	7,71E-04	2,28E-10	2,88E-02	1,53E-03	2,53E-04	1,51E-03	-1,28E-03	9,01E-04	-3,37E-07	6,42E-04	-2,59E-04	-2,59E-04	2,59E-04
99	4,95	1456,09	7,51E-04	9,71E-04	1,32E-03	8,22E-03	9,96E-05	6,92E-04	1,02E-10	2,58E-02	1,37E-03	2,26E-04	1,35E-03	-5,32E-04	3,92E-04	-1,32E-07	2,66E-04	-1,26E-04	-1,26E-04	1,26E-04
108	4,35	1403,65	6,86E-04	8,86E-04	1,21E-03	7,50E-03	9,07E-05	6,31E-04	5,12E-11	2,36E-02	1,25E-03	2,06E-04	1,23E-03	-2,47E-04	1,90E-04	-5,70E-08	1,23E-04	-6,66E-05	-6,67E-05	6,67E-05
117	3,91	1361,54	6,35E-04	8,21E-04	1,12E-03	6,95E-03	8,40E-05	5,85E-04	2,84E-11	2,19E-02	1,16E-03	1,91E-04	1,14E-03	-1,27E-04	1,02E-04	-2,68E-08	6,37E-05	-3,84E-05	-3,84E-05	3,84E-05
126	3,58	1327,97	5,97E-04	7,71E-04	1,05E-03	6,53E-03	7,88E-05	5,50E-04	1,73E-11	2,05E-02	1,09E-03	1,80E-04	1,07E-03	-7,31E-05	6,06E-05	-1,36E-08	3,66E-05	-2,41E-05	-2,41E-05	2,41E-05
135	3,34	1301,56	5,68E-04	7,33E-04	1,00E-03	6,21E-03	7,49E-05	5,23E-04	1,16E-11	1,95E-02	1,04E-03	1,71E-04	1,02E-03	-4,64E-05	3,95E-05	-7,36E-09	2,32E-05	-1,63E-05	-1,63E-05	1,63E-05
144	3,16	1281,22	5,46E-04	7,05E-04	9,61E-04	5,97E-03	7,20E-05	5,03E-04	8,38E-12	1,88E-02	9,97E-04	1,64E-04	9,81E-04	-3,23E-05	2,81E-05	-4,16E-09	1,61E-05	-1,20E-05	-1,20E-05	1,20E-05
153	3,03	1266,17	5,30E-04	6,84E-04	9,33E-04	5,80E-03	6,99E-05	4,88E-04	6,56E-12	1,82E-02	9,68E-04	1,59E-04	9,52E-04	-2,45E-05	2,17E-05	-2,39E-09	1,22E-05	-9,46E-06	-9,46E-06	9,46E-06
162	2,95	1255,81	5,19E-04	6,70E-04	9,14E-04	5,68E-03	6,85E-05	4,78E-04	5,53E-12	1,79E-02	9,48E-04	1,56E-04	9,33E-04	-2,02E-05	1,81E-05	-1,32E-09	1,01E-05	-8,01E-06	-8,01E-06	8,01E-06
171	2,90	1249,75	5,13E-04	6,62E-04	9,03E-04	5,61E-03	6,77E-05	4,72E-04	5,00E-12	1,76E-02	9,37E-04	1,54E-04	9,22E-04	-1,80E-05	1,63E-05	-5,93E-10	9,00E-06	-7,26E-06	-7,26E-06	7,26E-06
180	2,88	1247,75	5,11E-04	6,60E-04	8,99E-04	5,59E-03	6,74E-05	4,71E-04	4,83E-12	1,76E-02	9,33E-04	1,54E-04	9,18E-04	-1,73E-05	1,57E-05	-9,44E-13	8,67E-06	-7,02E-06	-7,02E-06	7,02E-06

Teste: Razão de expansão 13, 0% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0011	0,0015	0,0010	0,0061	0,0008	0,0006	0,0000	0,0243	0,0002	0,0011	0,0004	0,037197	106,08	3534,03	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,0434	4,0315	2,7039	16,5303	2,0962	1,5132	0,0000	65,4563	0,6440	2,9595	1,0217	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
°	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	106,08	3534,03	1,10E-02	1,46E-02	9,76E-03	5,97E-02	7,57E-03	5,46E-03	0,00E+00	2,36E-01	2,32E-03	1,07E-02	3,69E-03	-3,30E+03	6,53E+02	7,11E+03	-1,90E+03	-2,56E+03	4,55E+03	-4,55E+03
9	93,31	3406,91	1,00E-02	1,33E-02	8,91E-03	5,45E-02	6,51E-03	5,25E-03	4,68E-06	2,16E-01	2,05E-03	9,68E-03	3,44E-03	-2,12E+00	1,17E+00	-6,18E-03	1,06E+00	-1,03E-01	-1,10E-01	1,10E-01
18	67,59	3107,03	7,96E-03	1,05E-02	7,07E-03	4,33E-02	4,11E-03	4,78E-03	1,54E-06	1,72E-01	1,56E-03	7,62E-03	2,80E-03	-2,38E+00	1,39E+00	-3,44E-03	1,19E+00	-1,92E-01	-1,96E-01	1,96E-01
27	45,16	2768,93	5,97E-03	7,91E-03	5,30E-03	3,24E-02	2,23E-03	4,09E-03	3,43E-07	1,29E-01	1,08E-03	5,63E-03	2,18E-03	-1,49E+00	9,14E-01	-9,15E-04	7,48E-01	-1,66E-01	-1,67E-01	1,67E-01
36	30,10	2465,73	4,47E-03	5,92E-03	3,97E-03	2,43E-02	1,23E-03	3,33E-03	6,75E-08	9,70E-02	7,63E-04	4,16E-03	1,68E-03	-6,51E-01	3,90E-01	-1,83E-04	3,26E-01	-6,45E-02	-6,46E-02	6,46E-02
45	20,70	2215,80	3,42E-03	4,53E-03	3,04E-03	1,86E-02	7,65E-04	2,65E-03	1,42E-08	7,44E-02	5,70E-04	3,17E-03	1,30E-03	-2,22E-01	1,23E-01	-3,55E-05	1,11E-01	-1,23E-02	-1,23E-02	1,23E-02
54	14,86	2015,48	2,70E-03	3,57E-03	2,40E-03	1,47E-02	5,47E-04	2,12E-03	3,46E-09	5,87E-02	4,47E-04	2,50E-03	1,03E-03	-6,55E-02	3,51E-02	-7,78E-06	3,28E-02	-2,30E-03	-2,30E-03	2,30E-03
63	11,13	1855,88	2,20E-03	2,91E-03	1,95E-03	1,19E-02	4,29E-04	1,73E-03	9,73E-10	4,78E-02	3,63E-04	2,03E-03	8,39E-04	-1,87E-02	1,02E-02	-1,98E-06	9,33E-03	-8,84E-04	-8,86E-04	8,86E-04
72	8,68	1728,50	1,84E-03	2,43E-03	1,63E-03	9,98E-03	3,54E-04	1,46E-03	3,11E-10	4,00E-02	3,04E-04	1,70E-03	7,02E-04	-5,54E-03	3,21E-03	-5,73E-07	2,77E-03	-4,39E-04	-4,40E-04	4,40E-04
81	7,01	1626,44	1,58E-03	2,09E-03	1,40E-03	8,57E-03	3,03E-04	1,25E-03	1,12E-10	3,43E-02	2,61E-04	1,46E-03	6,03E-04	-1,80E-03	1,11E-03	-1,85E-07	8,99E-04	-2,16E-04	-2,16E-04	2,16E-04
90	5,85	1544,38	1,39E-03	1,84E-03	1,23E-03	7,53E-03	2,65E-04	1,10E-03	4,51E-11	3,02E-02	2,29E-04	1,28E-03	5,30E-04	-6,50E-04	4,32E-04	-6,64E-08	3,25E-04	-1,07E-04	-1,07E-04	1,07E-04
99	5,02	1478,27	1,24E-03	1,65E-03	1,10E-03	6,75E-03	2,38E-04	9,85E-04	2,03E-11	2,71E-02	2,05E-04	1,15E-03	4,75E-04	-2,64E-04	1,87E-04	-2,62E-08	1,32E-04	-5,48E-05	-5,48E-05	5,48E-05
108	4,42	1425,03	1,13E-03	1,50E-03	1,01E-03	6,16E-03	2,17E-04	8,99E-04	1,02E-11	2,47E-02	1,87E-04	1,05E-03	4,34E-04	-1,21E-04	9,05E-05	-1,14E-08	6,05E-05	-3,00E-05	-3,00E-05	3,00E-05
117	3,97	1382,28	1,05E-03	1,39E-03	9,34E-04	5,71E-03	2,01E-04	8,33E-04	5,63E-12	2,29E-02	1,74E-04	9,73E-04	4,02E-04	-6,20E-05	4,87E-05	-5,34E-09	3,10E-05	-1,77E-05	-1,77E-05	1,77E-05
126	3,64	1348,20	9,88E-04	1,31E-03	8,77E-04	5,36E-03	1,89E-04	7,83E-04	3,43E-12	2,15E-02	1,63E-04	9,14E-04	3,78E-04	-3,54E-05	2,89E-05	-2,71E-09	1,77E-05	-1,12E-05	-1,12E-05	1,12E-05
135	3,39	1321,38	9,39E-04	1,24E-03	8,34E-04	5,10E-03	1,79E-04	7,44E-04	2,29E-12	2,04E-02	1,55E-04	8,70E-04	3,59E-04	-2,23E-05	1,89E-05	-1,46E-09	1,12E-05	-7,71E-06	-7,72E-06	7,72E-06
144	3,21	1300,74	9,03E-04	1,20E-03	8,02E-04	4,90E-03	1,72E-04	7,16E-04	1,66E-12	1,96E-02	1,49E-04	8,36E-04	3,45E-04	-1,55E-05	1,34E-05	-8,27E-10	7,74E-06	-5,70E-06	-5,70E-06	5,70E-06
153	3,08	1285,45	8,77E-04	1,16E-03	7,79E-04	4,76E-03	1,67E-04	6,95E-04	1,29E-12	1,91E-02	1,45E-04	8,12E-04	3,35E-04	-1,17E-05	1,04E-05	-4,76E-10	5,87E-06	-4,53E-06	-4,53E-06	4,53E-06
162	2,99	1274,94	8,59E-04	1,14E-03	7,63E-04	4,67E-03	1,64E-04	6,81E-04	1,09E-12	1,87E-02	1,42E-04	7,95E-04	3,28E-04	-9,66E-06	8,68E-06	-2,63E-10	4,83E-06	-3,85E-06	-3,85E-06	3,85E-06
171	2,94	1268,78	8,49E-04	1,12E-03	7,54E-04	4,61E-03	1,62E-04	6,73E-04	9,85E-13	1,85E-02	1,40E-04	7,86E-04	3,24E-04	-8,60E-06	7,80E-06	-1,18E-10	4,30E-06	-3,49E-06	-3,49E-06	3,49E-06
180	2,92	1266,76	8,45E-04	1,12E-03	7,51E-04	4,59E-03	1,61E-04	6,70E-04	9,52E-13	1,84E-02	1,39E-04	7,83E-04	3,23E-04	-8,28E-06	7,53E-06	-4,19E-14	4,14E-06	-3,38E-06	-3,38E-06	3,38E-06

Teste: Razão de expansão 13, 0% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0013	0,0018	0,0009	0,0057	0,0008	0,0006	0,0000	0,0250	0,0003	0,0011	0,0004	0,0380	106,69	3554,31	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,4314	4,6158	2,4936	15,0593	2,2119	1,6164	0,0000	65,8929	0,6979	2,9570	1,0235	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	106,69	3554,31	1,24E-02	1,67E-02	9,00E-03	5,44E-02	7,99E-03	5,84E-03	0,0E+00	2,38E-01	2,52E-03	1,07E-02	3,70E-03	-3,57E+03	7,77E+02	7,99E+03	-2,21E+03	-2,99E+03	5,01E+03	-5,01E+03
9	93,85	3426,46	1,13E-02	1,52E-02	8,21E-03	4,96E-02	6,88E-03	5,61E-03	5,16E-06	2,17E-01	2,22E-03	9,67E-03	3,45E-03	-2,24E+00	1,23E+00	-6,77E-03	1,12E+00	-1,10E-01	-1,17E-01	1,17E-01
18	67,98	3124,86	8,98E-03	1,21E-02	6,52E-03	3,94E-02	4,33E-03	5,09E-03	1,71E-06	1,73E-01	1,69E-03	7,60E-03	2,81E-03	-2,52E+00	1,47E+00	-3,79E-03	1,26E+00	-2,05E-01	-2,09E-01	2,09E-01
27	45,42	2784,82	6,73E-03	9,06E-03	4,89E-03	2,95E-02	2,35E-03	4,36E-03	3,84E-07	1,30E-01	1,18E-03	5,61E-03	2,20E-03	-1,59E+00	9,81E-01	-1,02E-03	7,97E-01	-1,84E-01	-1,85E-01	1,85E-01
36	30,27	2479,88	5,04E-03	6,78E-03	3,66E-03	2,21E-02	1,28E-03	3,55E-03	7,60E-08	9,77E-02	8,26E-04	4,14E-03	1,70E-03	-7,05E-01	4,30E-01	-2,05E-04	3,53E-01	-7,72E-02	-7,74E-02	7,74E-02
45	20,82	2228,52	3,86E-03	5,19E-03	2,80E-03	1,69E-02	7,93E-04	2,83E-03	1,60E-08	7,49E-02	6,15E-04	3,15E-03	1,32E-03	-2,44E-01	1,39E-01	-4,00E-05	1,22E-01	-1,67E-02	-1,67E-02	1,67E-02
54	14,95	2027,04	3,04E-03	4,09E-03	2,21E-03	1,34E-02	5,63E-04	2,27E-03	3,90E-09	5,91E-02	4,81E-04	2,48E-03	1,05E-03	-7,35E-02	4,02E-02	-8,75E-06	3,68E-02	-3,43E-03	-3,44E-03	3,44E-03
63	11,20	1866,53	2,48E-03	3,33E-03	1,80E-03	1,09E-02	4,39E-04	1,86E-03	1,10E-09	4,81E-02	3,91E-04	2,02E-03	8,51E-04	-2,12E-02	1,18E-02	-2,23E-06	1,06E-02	-1,22E-03	-1,23E-03	1,23E-03
72	8,73	1738,42	2,07E-03	2,79E-03	1,51E-03	9,10E-03	3,62E-04	1,56E-03	3,53E-10	4,03E-02	3,27E-04	1,69E-03	7,13E-04	-6,38E-03	3,76E-03	-6,47E-07	3,19E-03	-5,67E-04	-5,67E-04	5,67E-04
81	7,06	1635,77	1,78E-03	2,39E-03	1,29E-03	7,81E-03	3,09E-04	1,34E-03	1,28E-10	3,46E-02	2,80E-04	1,45E-03	6,13E-04	-2,09E-03	1,31E-03	-2,10E-07	1,04E-03	-2,70E-04	-2,70E-04	2,70E-04
90	5,89	1553,24	1,56E-03	2,10E-03	1,14E-03	6,86E-03	2,71E-04	1,18E-03	5,16E-11	3,04E-02	2,46E-04	1,28E-03	5,38E-04	-7,59E-04	5,11E-04	-7,56E-08	3,80E-04	-1,32E-04	-1,32E-04	1,32E-04
99	5,05	1486,75	1,40E-03	1,89E-03	1,02E-03	6,15E-03	2,43E-04	1,06E-03	2,34E-11	2,73E-02	2,21E-04	1,14E-03	4,83E-04	-3,11E-04	2,23E-04	-3,00E-08	1,55E-04	-6,74E-05	-6,74E-05	6,74E-05
108	4,44	1433,20	1,28E-03	1,72E-03	9,29E-04	5,61E-03	2,22E-04	9,63E-04	1,17E-11	2,49E-02	2,01E-04	1,04E-03	4,40E-04	-1,43E-04	1,08E-04	-1,30E-08	7,14E-05	-3,68E-05	-3,68E-05	3,68E-05
117	3,99	1390,21	1,19E-03	1,59E-03	8,61E-04	5,20E-03	2,05E-04	8,92E-04	6,53E-12	2,30E-02	1,87E-04	9,67E-04	4,08E-04	-7,34E-05	5,84E-05	-6,15E-09	3,67E-05	-2,16E-05	-2,17E-05	2,17E-05
126	3,66	1355,94	1,11E-03	1,50E-03	8,09E-04	4,89E-03	1,93E-04	8,38E-04	3,99E-12	2,16E-02	1,75E-04	9,08E-04	3,83E-04	-4,20E-05	3,48E-05	-3,13E-09	2,10E-05	-1,38E-05	-1,38E-05	1,38E-05
135	3,41	1328,96	1,06E-03	1,42E-03	7,70E-04	4,65E-03	1,83E-04	7,97E-04	2,66E-12	2,06E-02	1,67E-04	8,64E-04	3,65E-04	-2,66E-05	2,27E-05	-1,69E-09	1,33E-05	-9,45E-06	-9,45E-06	9,45E-06
144	3,23	1308,20	1,02E-03	1,37E-03	7,40E-04	4,47E-03	1,76E-04	7,66E-04	1,93E-12	1,98E-02	1,60E-04	8,31E-04	3,50E-04	-1,85E-05	1,62E-05	-9,59E-10	9,24E-06	-6,99E-06	-6,99E-06	6,99E-06
153	3,10	1292,83	9,88E-04	1,33E-03	7,18E-04	4,34E-03	1,71E-04	7,44E-04	1,51E-12	1,92E-02	1,56E-04	8,06E-04	3,40E-04	-1,40E-05	1,26E-05	-5,52E-10	7,01E-06	-5,55E-06	-5,55E-06	5,55E-06
162	3,01	1282,25	9,68E-04	1,30E-03	7,04E-04	4,25E-03	1,68E-04	7,29E-04	1,28E-12	1,88E-02	1,52E-04	7,90E-04	3,33E-04	-1,16E-05	1,05E-05	-3,06E-10	5,78E-06	-4,72E-06	-4,72E-06	4,72E-06
171	2,96	1276,06	9,57E-04	1,29E-03	6,95E-04	4,20E-03	1,66E-04	7,20E-04	1,15E-12	1,86E-02	1,51E-04	7,81E-04	3,29E-04	-1,03E-05	9,44E-06	-1,37E-10	5,15E-06	-4,28E-06	-4,28E-06	4,28E-06
180	2,94	1274,03	9,53E-04	1,28E-03	6,92E-04	4,18E-03	1,65E-04	7,17E-04	1,11E-12	1,85E-02	1,50E-04	7,77E-04	3,28E-04	-9,92E-06	9,11E-06	-5,58E-14	4,96E-06	-4,15E-06	-4,15E-06	4,15E-06

Teste: Razão de expansão 13, 0% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0014	0,0019	0,0009	0,0056	0,0009	0,0006	0,0000	0,0253	0,0003	0,0011	0,0004	0,0383	106,92	3562,06	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,5712	4,8369	2,4185	14,5101	2,2567	1,6569	0,0000	66,0520	0,7186	2,9558	1,0234	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
°	bar	K	$kmol/m^3$											$kmol/(m^3.s)$						
0	106,92	3562,06	1,29E-02	1,75E-02	8,73E-03	5,24E-02	8,15E-03	5,98E-03	0,0E+00	2,38E-01	2,59E-03	1,07E-02	3,69E-03	-3,67E+03	8,28E+02	8,35E+03	-2,34E+03	-3,16E+03	5,18E+03	-5,18E+03
9	94,05	3433,93	1,18E-02	1,59E-02	7,97E-03	4,78E-02	7,02E-03	5,74E-03	5,35E-06	2,18E-01	2,29E-03	9,66E-03	3,45E-03	-2,28E+00	1,26E+00	-7,00E-03	1,14E+00	-1,13E-01	-1,20E-01	1,20E-01
18	68,13	3131,67	9,34E-03	1,27E-02	6,33E-03	3,80E-02	4,42E-03	5,21E-03	1,78E-06	1,74E-01	1,74E-03	7,60E-03	2,81E-03	-2,57E+00	1,50E+00	-3,93E-03	1,29E+00	-2,10E-01	-2,14E-01	2,14E-01
27	45,52	2790,89	7,01E-03	9,49E-03	4,74E-03	2,85E-02	2,40E-03	4,46E-03	4,00E-07	1,31E-01	1,21E-03	5,60E-03	2,20E-03	-1,63E+00	1,01E+00	-1,06E-03	8,16E-01	-1,90E-01	-1,91E-01	1,91E-01
36	30,33	2485,29	5,24E-03	7,10E-03	3,55E-03	2,13E-02	1,31E-03	3,64E-03	7,94E-08	9,80E-02	8,50E-04	4,13E-03	1,71E-03	-7,27E-01	4,45E-01	-2,14E-04	3,63E-01	-8,21E-02	-8,23E-02	8,23E-02
45	20,87	2233,38	4,01E-03	5,44E-03	2,72E-03	1,63E-02	8,04E-04	2,90E-03	1,67E-08	7,51E-02	6,32E-04	3,15E-03	1,33E-03	-2,54E-01	1,45E-01	-4,18E-05	1,27E-01	-1,85E-02	-1,85E-02	1,85E-02
54	14,98	2031,46	3,17E-03	4,29E-03	2,14E-03	1,29E-02	5,69E-04	2,33E-03	4,07E-09	5,93E-02	4,95E-04	2,48E-03	1,05E-03	-7,68E-02	4,23E-02	-9,15E-06	3,84E-02	-3,91E-03	-3,92E-03	3,92E-03
63	11,22	1870,60	2,58E-03	3,49E-03	1,74E-03	1,05E-02	4,43E-04	1,90E-03	1,15E-09	4,82E-02	4,01E-04	2,02E-03	8,55E-04	-2,23E-02	1,25E-02	-2,33E-06	1,11E-02	-1,37E-03	-1,37E-03	1,37E-03
72	8,75	1742,21	2,16E-03	2,92E-03	1,46E-03	8,76E-03	3,65E-04	1,60E-03	3,70E-10	4,04E-02	3,36E-04	1,69E-03	7,16E-04	-6,72E-03	3,98E-03	-6,77E-07	3,36E-03	-6,21E-04	-6,22E-04	6,22E-04
81	7,07	1639,34	1,85E-03	2,51E-03	1,25E-03	7,53E-03	3,12E-04	1,37E-03	1,34E-10	3,47E-02	2,88E-04	1,45E-03	6,16E-04	-2,20E-03	1,40E-03	-2,20E-07	1,10E-03	-2,93E-04	-2,94E-04	2,94E-04
90	5,90	1556,63	1,63E-03	2,20E-03	1,10E-03	6,61E-03	2,73E-04	1,21E-03	5,43E-11	3,05E-02	2,53E-04	1,27E-03	5,41E-04	-8,05E-04	5,45E-04	-7,93E-08	4,02E-04	-1,42E-04	-1,42E-04	1,42E-04
99	5,06	1489,99	1,46E-03	1,98E-03	9,88E-04	5,93E-03	2,45E-04	1,08E-03	2,46E-11	2,73E-02	2,27E-04	1,14E-03	4,85E-04	-3,30E-04	2,38E-04	-3,15E-08	1,65E-04	-7,27E-05	-7,27E-05	7,27E-05
108	4,45	1436,33	1,33E-03	1,80E-03	9,01E-04	5,41E-03	2,23E-04	9,88E-04	1,24E-11	2,49E-02	2,07E-04	1,04E-03	4,42E-04	-1,52E-04	1,16E-04	-1,37E-08	7,59E-05	-3,97E-05	-3,97E-05	3,97E-05
117	4,00	1393,24	1,23E-03	1,67E-03	8,35E-04	5,01E-03	2,07E-04	9,15E-04	6,90E-12	2,31E-02	1,92E-04	9,64E-04	4,10E-04	-7,82E-05	6,25E-05	-6,48E-09	3,91E-05	-2,33E-05	-2,33E-05	2,33E-05
126	3,67	1358,89	1,16E-03	1,57E-03	7,85E-04	4,71E-03	1,94E-04	8,60E-04	4,22E-12	2,17E-02	1,80E-04	9,06E-04	3,85E-04	-4,48E-05	3,73E-05	-3,30E-09	2,24E-05	-1,48E-05	-1,48E-05	1,48E-05
135	3,42	1331,86	1,10E-03	1,49E-03	7,46E-04	4,48E-03	1,85E-04	8,18E-04	2,82E-12	2,06E-02	1,71E-04	8,62E-04	3,66E-04	-2,84E-05	2,44E-05	-1,79E-09	1,42E-05	-1,02E-05	-1,02E-05	1,02E-05
144	3,23	1311,05	1,06E-03	1,44E-03	7,18E-04	4,31E-03	1,78E-04	7,86E-04	2,05E-12	1,98E-02	1,65E-04	8,28E-04	3,52E-04	-1,98E-05	1,74E-05	-1,01E-09	9,88E-06	-7,54E-06	-7,54E-06	7,54E-06
153	3,10	1295,65	1,03E-03	1,39E-03	6,97E-04	4,18E-03	1,73E-04	7,63E-04	1,60E-12	1,93E-02	1,60E-04	8,04E-04	3,42E-04	-1,50E-05	1,35E-05	-5,84E-10	7,50E-06	-5,99E-06	-5,99E-06	5,99E-06
162	3,02	1285,05	1,01E-03	1,36E-03	6,83E-04	4,09E-03	1,69E-04	7,48E-04	1,35E-12	1,89E-02	1,57E-04	7,88E-04	3,35E-04	-1,24E-05	1,13E-05	-3,23E-10	6,18E-06	-5,09E-06	-5,09E-06	5,09E-06
171	2,96	1278,85	9,96E-04	1,35E-03	6,74E-04	4,05E-03	1,67E-04	7,39E-04	1,22E-12	1,86E-02	1,55E-04	7,78E-04	3,31E-04	-1,10E-05	1,01E-05	-1,45E-10	5,51E-06	-4,62E-06	-4,62E-06	4,62E-06
180	2,95	1276,80	9,92E-04	1,34E-03	6,72E-04	4,03E-03	1,66E-04	7,36E-04	1,18E-12	1,86E-02	1,54E-04	7,75E-04	3,30E-04	-1,06E-05	9,78E-06	-6,21E-14	5,31E-06	-4,48E-06	-4,48E-06	4,48E-06

Teste: Razão de expansão 13, 0% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0014	0,0019	0,0009	0,0054	0,0009	0,0007	0,0000	0,0255	0,0003	0,0011	0,0004	0,0385	107,12	3568,68	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,6866	5,0253	2,3542	14,0499	2,2950	1,6915	0,0000	66,1859	0,7362	2,9528	1,0224	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	107,12	3568,68	1,33E-02	1,81E-02	8,50E-03	5,07E-02	8,29E-03	6,11E-03	0,0E+00	2,39E-01	2,66E-03	1,07E-02	3,69E-03	-3,76E+03	8,74E+02	8,65E+03	-2,45E+03	-3,32E+03	5,33E+03	-5,33E+03
9	94,23	3440,31	1,21E-02	1,66E-02	7,76E-03	4,63E-02	7,14E-03	5,86E-03	5,51E-06	2,18E-01	2,34E-03	9,65E-03	3,44E-03	-2,32E+00	1,28E+00	-7,20E-03	1,16E+00	-1,15E-01	-1,22E-01	1,22E-01
18	68,25	3137,49	9,65E-03	1,31E-02	6,16E-03	3,68E-02	4,50E-03	5,32E-03	1,84E-06	1,74E-01	1,79E-03	7,59E-03	2,81E-03	-2,61E+00	1,52E+00	-4,05E-03	1,31E+00	-2,14E-01	-2,18E-01	2,18E-01
27	45,61	2796,08	7,23E-03	9,86E-03	4,62E-03	2,76E-02	2,44E-03	4,55E-03	4,15E-07	1,31E-01	1,25E-03	5,59E-03	2,20E-03	-1,66E+00	1,03E+00	-1,10E-03	8,33E-01	-1,95E-01	-1,97E-01	1,97E-01
36	30,39	2489,91	5,41E-03	7,38E-03	3,46E-03	2,06E-02	1,33E-03	3,71E-03	8,24E-08	9,82E-02	8,71E-04	4,13E-03	1,71E-03	-7,45E-01	4,59E-01	-2,22E-04	3,73E-01	-8,64E-02	-8,66E-02	8,66E-02
45	20,91	2237,53	4,14E-03	5,65E-03	2,65E-03	1,58E-02	8,13E-04	2,96E-03	1,74E-08	7,53E-02	6,47E-04	3,14E-03	1,33E-03	-2,61E-01	1,51E-01	-4,34E-05	1,31E-01	-2,01E-02	-2,01E-02	2,01E-02
54	15,01	2035,24	3,27E-03	4,46E-03	2,09E-03	1,25E-02	5,74E-04	2,38E-03	4,23E-09	5,94E-02	5,06E-04	2,47E-03	1,05E-03	-7,96E-02	4,41E-02	-9,49E-06	3,98E-02	-4,34E-03	-4,35E-03	4,35E-03
63	11,24	1874,08	2,66E-03	3,63E-03	1,70E-03	1,01E-02	4,47E-04	1,95E-03	1,20E-09	4,84E-02	4,11E-04	2,01E-03	8,58E-04	-2,32E-02	1,31E-02	-2,42E-06	1,16E-02	-1,50E-03	-1,50E-03	1,50E-03
72	8,77	1745,45	2,23E-03	3,04E-03	1,42E-03	8,49E-03	3,68E-04	1,63E-03	3,85E-10	4,05E-02	3,43E-04	1,68E-03	7,19E-04	-7,02E-03	4,18E-03	-7,03E-07	3,51E-03	-6,70E-04	-6,71E-04	6,71E-04
81	7,08	1642,39	1,91E-03	2,61E-03	1,22E-03	7,29E-03	3,14E-04	1,40E-03	1,40E-10	3,48E-02	2,95E-04	1,44E-03	6,18E-04	-2,31E-03	1,47E-03	-2,29E-07	1,16E-03	-3,14E-04	-3,14E-04	3,14E-04
90	5,91	1559,52	1,68E-03	2,29E-03	1,07E-03	6,40E-03	2,75E-04	1,23E-03	5,67E-11	3,06E-02	2,59E-04	1,27E-03	5,43E-04	-8,45E-04	5,75E-04	-8,27E-08	4,23E-04	-1,52E-04	-1,52E-04	1,52E-04
99	5,07	1492,76	1,51E-03	2,05E-03	9,62E-04	5,74E-03	2,47E-04	1,11E-03	2,57E-11	2,74E-02	2,32E-04	1,14E-03	4,87E-04	-3,47E-04	2,51E-04	-3,29E-08	1,74E-04	-7,75E-05	-7,75E-05	7,75E-05
108	4,46	1439,00	1,37E-03	1,87E-03	8,78E-04	5,24E-03	2,25E-04	1,01E-03	1,30E-11	2,50E-02	2,12E-04	1,04E-03	4,44E-04	-1,60E-04	1,22E-04	-1,43E-08	8,00E-05	-4,23E-05	-4,23E-05	4,23E-05
117	4,01	1395,83	1,27E-03	1,74E-03	8,13E-04	4,85E-03	2,08E-04	9,35E-04	7,23E-12	2,32E-02	1,96E-04	9,62E-04	4,11E-04	-8,25E-05	6,61E-05	-6,78E-09	4,13E-05	-2,49E-05	-2,49E-05	2,49E-05
126	3,67	1361,42	1,20E-03	1,63E-03	7,64E-04	4,56E-03	1,96E-04	8,78E-04	4,43E-12	2,18E-02	1,84E-04	9,03E-04	3,87E-04	-4,74E-05	3,95E-05	-3,46E-09	2,37E-05	-1,58E-05	-1,58E-05	1,58E-05
135	3,42	1334,34	1,14E-03	1,55E-03	7,27E-04	4,34E-03	1,86E-04	8,35E-04	2,96E-12	2,07E-02	1,75E-04	8,59E-04	3,68E-04	-3,00E-05	2,59E-05	-1,87E-09	1,50E-05	-1,09E-05	-1,09E-05	1,09E-05
144	3,24	1313,49	1,09E-03	1,49E-03	6,99E-04	4,17E-03	1,79E-04	8,03E-04	2,15E-12	1,99E-02	1,68E-04	8,26E-04	3,53E-04	-2,09E-05	1,85E-05	-1,06E-09	1,04E-05	-8,03E-06	-8,03E-06	8,03E-06
153	3,11	1298,06	1,06E-03	1,45E-03	6,78E-04	4,05E-03	1,74E-04	7,80E-04	1,69E-12	1,93E-02	1,63E-04	8,02E-04	3,43E-04	-1,59E-05	1,43E-05	-6,12E-10	7,93E-06	-6,38E-06	-6,38E-06	6,38E-06
162	3,02	1287,44	1,04E-03	1,42E-03	6,64E-04	3,97E-03	1,70E-04	7,64E-04	1,42E-12	1,89E-02	1,60E-04	7,86E-04	3,36E-04	-1,31E-05	1,20E-05	-3,39E-10	6,54E-06	-5,42E-06	-5,42E-06	5,42E-06
171	2,97	1281,22	1,03E-03	1,40E-03	6,56E-04	3,92E-03	1,68E-04	7,55E-04	1,28E-12	1,87E-02	1,58E-04	7,76E-04	3,32E-04	-1,17E-05	1,08E-05	-1,52E-10	5,84E-06	-4,93E-06	-4,93E-06	4,93E-06
180	2,95	1279,18	1,02E-03	1,40E-03	6,54E-04	3,90E-03	1,67E-04	7,52E-04	1,24E-12	1,86E-02	1,58E-04	7,73E-04	3,31E-04	-1,12E-05	1,04E-05	-6,81E-14	5,62E-06	-4,77E-06	-4,77E-06	4,77E-06

Teste: Razão de expansão 13, 0% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0003	0,0001	0,0004	0,0082	0,0005	0,0008	0,0061	0,0188	0,0001	0,0007	0,0001	0,036101	93,68	3120,97	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,8755	0,3070	1,0644	22,7050	1,4824	2,1259	16,8846	52,1734	0,2562	1,8833	0,2423	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	93,68	3120,97	3,16E-03	1,11E-03	3,84E-03	8,20E-02	5,35E-03	7,67E-03	6,10E-02	1,88E-01	9,25E-04	6,80E-03	8,75E-04	2,05E+07	-5,87E+06	-4,22E+07	1,08E+07	1,67E+07	-2,55E+07	2,55E+07
9	82,41	3008,71	2,88E-03	1,01E-03	3,51E-03	7,48E-02	3,20E-06	3,37E-09	2,43E-02	1,90E-01	2,59E-02	7,29E-10	7,00E-03	-5,85E-03	-8,48E-06	-5,88E-03	5,86E-03	5,87E-03	-2,16E-06	2,16E-06
18	59,69	2743,88	2,29E-03	8,03E-04	2,78E-03	5,94E-02	7,52E-07	4,72E-10	1,93E-02	1,51E-01	2,06E-02	7,92E-11	5,56E-03	-2,33E-03	-2,03E-06	-2,34E-03	2,33E-03	2,33E-03	-3,98E-07	3,98E-07
27	39,88	2445,30	1,72E-03	6,02E-04	2,09E-03	4,45E-02	1,04E-07	3,19E-11	1,45E-02	1,13E-01	1,54E-02	3,75E-12	4,17E-03	-3,91E-04	-1,67E-07	-3,91E-04	3,91E-04	3,91E-04	-2,29E-08	2,29E-08
36	26,58	2177,54	1,29E-03	4,51E-04	1,56E-03	3,33E-02	1,16E-08	1,57E-12	1,08E-02	8,46E-02	1,16E-02	1,24E-13	3,12E-03	-4,60E-05	-8,78E-09	-4,61E-05	4,61E-05	4,61E-05	-8,03E-10	8,03E-10
45	18,28	1956,82	9,84E-04	3,45E-04	1,20E-03	2,55E-02	1,24E-09	7,31E-14	8,30E-03	6,48E-02	8,85E-03	3,81E-15	2,39E-03	-4,92E-06	-4,08E-10	-4,92E-06	4,92E-06	4,92E-06	-2,46E-11	2,46E-11
54	13,12	1779,91	7,76E-04	2,72E-04	9,44E-04	2,01E-02	1,42E-10	3,70E-15	6,55E-03	5,11E-02	6,98E-03	1,29E-16	1,88E-03	-5,43E-07	-1,99E-11	-5,43E-07	5,43E-07	5,43E-07	-7,99E-13	7,99E-13
63	9,83	1638,96	6,32E-04	2,21E-04	7,68E-04	1,64E-02	1,85E-11	2,21E-16	5,33E-03	4,16E-02	5,68E-03	5,22E-18	1,53E-03	-6,62E-08	-1,12E-12	-6,62E-08	6,62E-08	6,62E-08	-3,04E-14	3,04E-14
72	7,67	1526,47	5,29E-04	1,85E-04	6,43E-04	1,37E-02	2,82E-12	1,62E-17	4,46E-03	3,48E-02	4,76E-03	2,68E-19	1,28E-03	-9,27E-09	-7,57E-14	-9,27E-09	9,27E-09	9,27E-09	-1,44E-15	1,44E-15
81	6,19	1436,34	4,54E-04	1,59E-04	5,52E-04	1,18E-02	5,08E-13	1,51E-18	3,83E-03	2,99E-02	4,08E-03	1,80E-20	1,10E-03	-1,52E-09	-6,38E-15	-1,52E-09	1,52E-09	1,52E-09	-8,75E-17	8,75E-17
90	5,17	1363,87	3,99E-04	1,40E-04	4,85E-04	1,03E-02	1,10E-13	1,79E-19	3,37E-03	2,63E-02	3,59E-03	1,59E-21	9,69E-04	-2,92E-10	-6,77E-16	-2,92E-10	2,92E-10	2,92E-10	-6,91E-18	6,91E-18
99	4,43	1305,49	3,58E-04	1,25E-04	4,35E-04	9,28E-03	2,83E-14	2,73E-20	3,02E-03	2,36E-02	3,22E-03	1,86E-22	8,68E-04	-6,63E-11	-9,07E-17	-6,63E-11	6,63E-11	6,63E-11	-7,12E-19	7,12E-19
108	3,90	1258,47	3,26E-04	1,14E-04	3,97E-04	8,46E-03	8,73E-15	5,30E-21	2,75E-03	2,15E-02	2,93E-03	2,88E-23	7,92E-04	-1,77E-11	-1,52E-17	-1,77E-11	1,77E-11	1,77E-11	-9,52E-20	9,52E-20
117	3,51	1220,72	3,02E-04	1,06E-04	3,68E-04	7,84E-03	3,18E-15	1,30E-21	2,55E-03	1,99E-02	2,72E-03	5,80E-24	7,34E-04	-5,48E-12	-3,18E-18	-5,48E-12	5,48E-12	5,48E-12	-1,63E-20	1,63E-20
126	3,21	1190,62	2,84E-04	9,96E-05	3,45E-04	7,37E-03	1,36E-15	3,99E-22	2,40E-03	1,87E-02	2,56E-03	1,51E-24	6,90E-04	-1,96E-12	-8,13E-19	-1,96E-12	1,96E-12	1,96E-12	-3,54E-21	3,54E-21
135	2,99	1166,94	2,70E-04	9,47E-05	3,28E-04	7,01E-03	6,79E-16	1,51E-22	2,28E-03	1,78E-02	2,43E-03	4,98E-25	6,56E-04	-7,90E-13	-2,49E-19	-7,90E-13	7,90E-13	7,90E-13	-9,47E-22	9,47E-22
144	2,83	1148,71	2,60E-04	9,11E-05	3,16E-04	6,74E-03	3,90E-16	6,95E-23	2,19E-03	1,71E-02	2,34E-03	2,06E-25	6,31E-04	-3,54E-13	-8,98E-20	-3,54E-13	3,54E-13	3,54E-13	-3,06E-22	3,06E-22
153	2,72	1135,21	2,52E-04	8,84E-05	3,07E-04	6,54E-03	2,55E-16	3,85E-23	2,13E-03	1,66E-02	2,27E-03	1,05E-25	6,12E-04	-1,71E-13	-3,66E-20	-1,71E-13	1,71E-13	1,71E-13	-1,15E-22	1,15E-22
162	2,64	1125,92	2,47E-04	8,66E-05	3,00E-04	6,41E-03	1,90E-16	2,55E-23	2,08E-03	1,63E-02	2,22E-03	6,56E-26	6,00E-04	-8,34E-14	-1,59E-20	-8,34E-14	8,34E-14	8,34E-14	-4,71E-23	4,71E-23
171	2,60	1120,49	2,44E-04	8,56E-05	2,97E-04	6,33E-03	1,59E-16	1,99E-23	2,06E-03	1,61E-02	2,20E-03	4,96E-26	5,93E-04	-3,47E-14	-6,18E-21	-3,47E-14	3,47E-14	3,47E-14	-1,76E-23	1,76E-23
180	2,58	1118,70	2,43E-04	8,52E-05	2,96E-04	6,31E-03	1,50E-16	1,84E-23	2,05E-03	1,60E-02	2,19E-03	4,53E-26	5,90E-04	-1,23E-18	-1,81E-23	-1,23E-18	1,23E-18	1,23E-18	-7,00E-28	7,00E-28

Teste: Razão de expansão 13, 20% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0010	0,0003	0,0003	0,0072	0,0006	0,0009	0,0030	0,0219	0,0001	0,0007	0,0001	0,036101	94,31	3141,88	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,6954	0,9431	0,9240	19,8436	1,7431	2,4149	8,4415	60,5754	0,2922	1,8871	0,2397	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	94,31	3141,88	9,73E-03	3,40E-03	3,34E-03	7,16E-02	6,29E-03	8,72E-03	3,05E-02	2,19E-01	1,05E-03	6,81E-03	8,65E-04	9,80E+06	-3,39E+06	-2,25E+07	6,37E+06	9,75E+06	-1,28E+07	1,28E+07
9	82,96	3028,87	8,88E-03	3,11E-03	3,04E-03	6,54E-02	2,39E-03	1,59E-03	3,54E-05	2,15E-01	2,29E-02	3,75E-04	6,63E-03	-8,64E-01	4,39E-01	-4,92E-02	4,57E-01	1,78E-02	-3,14E-02	3,14E-02
18	60,09	2762,26	7,05E-03	2,47E-03	2,42E-03	5,19E-02	1,46E-03	1,49E-03	1,09E-05	1,71E-01	1,82E-02	2,76E-04	5,29E-03	-9,76E-01	5,41E-01	-2,53E-02	5,01E-01	-3,97E-02	-6,50E-02	6,50E-02
27	40,15	2461,68	5,29E-03	1,85E-03	1,81E-03	3,89E-02	7,45E-04	1,32E-03	2,26E-06	1,28E-01	1,36E-02	1,77E-04	4,00E-03	-6,39E-01	3,83E-01	-6,26E-03	3,23E-01	-6,08E-02	-6,71E-02	6,71E-02
36	26,76	2192,12	3,96E-03	1,38E-03	1,36E-03	2,91E-02	3,60E-04	1,11E-03	4,04E-07	9,62E-02	1,02E-02	1,09E-04	3,01E-03	-3,08E-01	1,91E-01	-1,18E-03	1,54E-01	-3,68E-02	-3,80E-02	3,80E-02
45	18,41	1969,93	3,03E-03	1,06E-03	1,04E-03	2,23E-02	1,89E-04	9,03E-04	7,18E-08	7,37E-02	7,77E-03	7,35E-05	2,32E-03	-1,16E-01	6,93E-02	-2,07E-04	5,83E-02	-1,11E-02	-1,13E-02	1,13E-02
54	13,21	1791,83	2,39E-03	8,36E-04	8,19E-04	1,76E-02	1,19E-04	7,30E-04	1,41E-08	5,82E-02	6,13E-03	5,56E-05	1,83E-03	-3,64E-02	2,02E-02	-3,73E-05	1,82E-02	-2,05E-03	-2,08E-03	2,08E-03
63	9,90	1649,95	1,94E-03	6,80E-04	6,67E-04	1,43E-02	8,76E-05	5,99E-04	3,32E-09	4,73E-02	4,98E-03	4,48E-05	1,49E-03	-1,03E-02	5,60E-03	-7,71E-06	5,17E-03	-4,26E-04	-4,34E-04	4,34E-04
72	7,72	1536,70	1,63E-03	5,70E-04	5,58E-04	1,20E-02	7,07E-05	5,03E-04	9,39E-10	3,96E-02	4,17E-03	3,74E-05	1,25E-03	-2,97E-03	1,63E-03	-1,91E-06	1,49E-03	-1,42E-04	-1,44E-04	1,44E-04
81	6,24	1445,96	1,40E-03	4,89E-04	4,79E-04	1,03E-02	5,99E-05	4,32E-04	3,11E-10	3,40E-02	3,58E-03	3,21E-05	1,07E-03	-9,23E-04	5,21E-04	-5,56E-07	4,62E-04	-5,94E-05	-5,99E-05	5,99E-05
90	5,20	1373,01	1,23E-03	4,30E-04	4,21E-04	9,04E-03	5,24E-05	3,80E-04	1,18E-10	2,99E-02	3,15E-03	2,82E-05	9,41E-04	-3,20E-04	1,87E-04	-1,85E-07	1,60E-04	-2,69E-05	-2,71E-05	2,71E-05
99	4,46	1314,23	1,10E-03	3,85E-04	3,77E-04	8,11E-03	4,69E-05	3,41E-04	5,07E-11	2,68E-02	2,82E-03	2,52E-05	8,44E-04	-1,25E-04	7,55E-05	-6,95E-08	6,25E-05	-1,30E-05	-1,30E-05	1,30E-05
108	3,93	1266,90	1,00E-03	3,52E-04	3,44E-04	7,40E-03	4,27E-05	3,11E-04	2,45E-11	2,45E-02	2,58E-03	2,30E-05	7,70E-04	-5,52E-05	3,43E-05	-2,89E-08	2,76E-05	-6,71E-06	-6,74E-06	6,74E-06
117	3,53	1228,90	9,31E-04	3,26E-04	3,19E-04	6,85E-03	3,96E-05	2,88E-04	1,32E-11	2,27E-02	2,39E-03	2,13E-05	7,13E-04	-2,74E-05	1,75E-05	-1,32E-08	1,37E-05	-3,76E-06	-3,77E-06	3,77E-06
126	3,23	1198,60	8,75E-04	3,06E-04	3,00E-04	6,44E-03	3,72E-05	2,71E-04	7,82E-12	2,13E-02	2,24E-03	2,00E-05	6,70E-04	-1,53E-05	9,93E-06	-6,50E-09	7,64E-06	-2,29E-06	-2,30E-06	2,30E-06
135	3,01	1174,76	8,32E-04	2,91E-04	2,85E-04	6,12E-03	3,53E-05	2,57E-04	5,10E-12	2,02E-02	2,13E-03	1,91E-05	6,37E-04	-9,44E-06	6,24E-06	-3,44E-09	4,72E-06	-1,52E-06	-1,52E-06	1,52E-06
144	2,85	1156,40	8,00E-04	2,80E-04	2,74E-04	5,89E-03	3,40E-05	2,47E-04	3,64E-12	1,95E-02	2,05E-03	1,83E-05	6,13E-04	-6,44E-06	4,31E-06	-1,91E-09	3,22E-06	-1,09E-06	-1,09E-06	1,09E-06
153	2,74	1142,81	7,76E-04	2,72E-04	2,66E-04	5,72E-03	3,30E-05	2,40E-04	2,81E-12	1,89E-02	1,99E-03	1,78E-05	5,95E-04	-4,82E-06	3,26E-06	-1,09E-09	2,41E-06	-8,46E-07	-8,47E-07	8,47E-07
162	2,66	1133,46	7,61E-04	2,66E-04	2,61E-04	5,60E-03	3,23E-05	2,35E-04	2,35E-12	1,85E-02	1,95E-03	1,74E-05	5,83E-04	-3,94E-06	2,68E-06	-5,96E-10	1,97E-06	-7,08E-07	-7,09E-07	7,09E-07
171	2,61	1127,99	7,52E-04	2,63E-04	2,58E-04	5,53E-03	3,19E-05	2,32E-04	2,11E-12	1,83E-02	1,93E-03	1,72E-05	5,76E-04	-3,49E-06	2,38E-06	-2,65E-10	1,74E-06	-6,37E-07	-6,37E-07	6,37E-07
180	2,60	1126,19	7,49E-04	2,62E-04	2,57E-04	5,51E-03	3,18E-05	2,32E-04	2,04E-12	1,82E-02	1,92E-03	1,71E-05	5,73E-04	-3,35E-06	2,29E-06	-3,74E-13	1,68E-06	-6,15E-07	-6,15E-07	6,15E-07

Teste: Razão de expansão 13, 20% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0017	0,0006	0,0003	0,0061	0,0007	0,0010	0,0000	0,0250	0,0001	0,0007	0,0001	0,0362	94,97	3163,89	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	4,5892	1,6205	0,7852	16,7948	2,0235	2,7232	0,0000	69,0353	0,3301	1,8646	0,2336	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	94,97	3163,89	1,66E-02	5,85E-03	2,83E-03	6,06E-02	7,31E-03	9,83E-03	0,00E+00	2,49E-01	1,19E-03	6,73E-03	8,43E-04	-3,02E+02	1,45E+02	8,80E+02	-2,89E+02	-4,34E+02	4,46E+02	-4,46E+02
9	83,54	3050,09	1,51E-02	5,34E-03	2,59E-03	5,53E-02	6,17E-03	9,26E-03	7,27E-07	2,28E-01	1,04E-03	6,10E-03	8,13E-04	-2,39E+00	1,27E+00	-1,04E-03	1,20E+00	-7,34E-02	-7,45E-02	7,45E-02
18	60,51	2781,61	1,20E-02	4,24E-03	2,05E-03	4,39E-02	3,78E-03	7,96E-03	2,23E-07	1,81E-01	7,89E-04	4,80E-03	6,85E-04	-2,28E+00	1,23E+00	-5,31E-04	1,14E+00	-8,89E-02	-8,94E-02	8,94E-02
27	40,43	2478,93	9,00E-03	3,18E-03	1,54E-03	3,29E-02	2,13E-03	6,35E-03	4,63E-08	1,36E-01	5,64E-04	3,57E-03	5,42E-04	-1,05E+00	5,63E-01	-1,27E-04	5,26E-01	-3,67E-02	-3,69E-02	3,69E-02
36	26,94	2207,48	6,74E-03	2,38E-03	1,15E-03	2,47E-02	1,33E-03	4,89E-03	8,93E-09	1,02E-01	4,15E-04	2,67E-03	4,13E-04	-3,12E-01	1,62E-01	-2,41E-05	1,56E-01	-6,27E-03	-6,30E-03	6,30E-03
45	18,54	1983,73	5,16E-03	1,82E-03	8,82E-04	1,89E-02	9,46E-04	3,78E-03	1,87E-09	7,82E-02	3,16E-04	2,04E-03	3,17E-04	-7,31E-02	3,85E-02	-4,73E-06	3,66E-02	-1,89E-03	-1,90E-03	1,90E-03
54	13,30	1804,38	4,07E-03	1,44E-03	6,96E-04	1,49E-02	7,30E-04	2,99E-03	4,39E-10	6,18E-02	2,49E-04	1,61E-03	2,51E-04	-1,60E-02	8,95E-03	-1,04E-06	8,02E-03	-9,25E-04	-9,26E-04	9,26E-04
63	9,97	1661,50	3,31E-03	1,17E-03	5,67E-04	1,21E-02	5,90E-04	2,44E-03	1,16E-10	5,02E-02	2,02E-04	1,31E-03	2,05E-04	-3,67E-03	2,22E-03	-2,52E-07	1,84E-03	-3,84E-04	-3,84E-04	3,84E-04
72	7,77	1547,47	2,77E-03	9,79E-04	4,74E-04	1,01E-02	4,93E-04	2,04E-03	3,41E-11	4,21E-02	1,69E-04	1,10E-03	1,71E-04	-9,28E-04	6,10E-04	-6,82E-08	4,64E-04	-1,46E-04	-1,46E-04	1,46E-04
81	6,28	1456,09	2,38E-03	8,41E-04	4,07E-04	8,71E-03	4,23E-04	1,75E-03	1,13E-11	3,61E-02	1,45E-04	9,41E-04	1,47E-04	-2,66E-04	1,89E-04	-2,05E-08	1,33E-04	-5,59E-05	-5,59E-05	5,59E-05
90	5,24	1382,63	2,09E-03	7,39E-04	3,58E-04	7,65E-03	3,72E-04	1,54E-03	4,26E-12	3,17E-02	1,28E-04	8,27E-04	1,29E-04	-8,72E-05	6,64E-05	-6,84E-09	4,36E-05	-2,28E-05	-2,28E-05	2,28E-05
99	4,50	1323,44	1,87E-03	6,62E-04	3,21E-04	6,86E-03	3,33E-04	1,38E-03	1,80E-12	2,85E-02	1,14E-04	7,41E-04	1,16E-04	-3,28E-05	2,65E-05	-2,54E-09	1,64E-05	-1,01E-05	-1,01E-05	1,01E-05
108	3,95	1275,77	1,71E-03	6,04E-04	2,93E-04	6,26E-03	3,04E-04	1,26E-03	8,52E-13	2,60E-02	1,04E-04	6,76E-04	1,06E-04	-1,40E-05	1,19E-05	-1,04E-09	7,02E-06	-4,93E-06	-4,93E-06	4,93E-06
117	3,55	1237,50	1,59E-03	5,60E-04	2,71E-04	5,80E-03	2,82E-04	1,17E-03	4,51E-13	2,41E-02	9,67E-05	6,27E-04	9,80E-05	-6,81E-06	6,06E-06	-4,66E-10	3,41E-06	-2,65E-06	-2,65E-06	2,65E-06
126	3,26	1207,00	1,49E-03	5,26E-04	2,55E-04	5,45E-03	2,65E-04	1,10E-03	2,64E-13	2,26E-02	9,08E-05	5,89E-04	9,21E-05	-3,72E-06	3,43E-06	-2,27E-10	1,86E-06	-1,57E-06	-1,57E-06	1,57E-06
135	3,04	1182,99	1,42E-03	5,00E-04	2,42E-04	5,18E-03	2,52E-04	1,04E-03	1,70E-13	2,15E-02	8,64E-05	5,60E-04	8,76E-05	-2,27E-06	2,15E-06	-1,19E-10	1,13E-06	-1,02E-06	-1,02E-06	1,02E-06
144	2,87	1164,50	1,36E-03	4,81E-04	2,33E-04	4,98E-03	2,42E-04	1,00E-03	1,20E-13	2,07E-02	8,30E-05	5,38E-04	8,42E-05	-1,53E-06	1,48E-06	-6,53E-11	7,65E-07	-7,18E-07	-7,18E-07	7,18E-07
153	2,76	1150,82	1,32E-03	4,67E-04	2,26E-04	4,84E-03	2,35E-04	9,73E-04	9,21E-14	2,01E-02	8,06E-05	5,23E-04	8,18E-05	-1,14E-06	1,12E-06	-3,68E-11	5,68E-07	-5,52E-07	-5,52E-07	5,52E-07
162	2,68	1141,40	1,30E-03	4,57E-04	2,22E-04	4,74E-03	2,30E-04	9,53E-04	7,65E-14	1,97E-02	7,90E-05	5,12E-04	8,01E-05	-9,21E-07	9,19E-07	-2,01E-11	4,61E-07	-4,59E-07	-4,59E-07	4,59E-07
171	2,63	1135,89	1,28E-03	4,52E-04	2,19E-04	4,68E-03	2,27E-04	9,42E-04	6,86E-14	1,94E-02	7,80E-05	5,06E-04	7,91E-05	-8,14E-07	8,18E-07	-8,91E-12	4,07E-07	-4,11E-07	-4,11E-07	4,11E-07
180	2,62	1134,08	1,27E-03	4,50E-04	2,18E-04	4,66E-03	2,27E-04	9,38E-04	6,61E-14	1,93E-02	7,77E-05	5,04E-04	7,88E-05	-7,81E-07	7,87E-07	-6,48E-16	3,91E-07	-3,96E-07	-3,96E-07	3,96E-07

Teste: Razão de expansão 13, 20% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0019	0,0007	0,0003	0,0057	0,0008	0,0010	0,0000	0,0256	0,0001	0,0007	0,0001	0,0368	95,22	3172,18	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,2037	1,8591	0,7270	15,3967	2,0805	2,8095	0,0000	69,5233	0,3425	1,8286	0,2291	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	95,22	3172,18	1,88E-02	6,71E-03	2,62E-03	5,56E-02	7,51E-03	1,01E-02	0,0E+00	2,51E-01	1,24E-03	6,60E-03	8,27E-04	-3,05E+02	1,58E+02	9,28E+02	-3,12E+02	-4,70E+02	4,58E+02	-4,58E+02
9	83,76	3058,08	1,71E-02	6,12E-03	2,39E-03	5,07E-02	6,34E-03	9,55E-03	7,64E-07	2,29E-01	1,08E-03	5,98E-03	7,98E-04	-2,46E+00	1,31E+00	-1,09E-03	1,23E+00	-7,47E-02	-7,58E-02	7,58E-02
18	60,67	2788,90	1,36E-02	4,86E-03	1,90E-03	4,03E-02	3,88E-03	8,21E-03	2,35E-07	1,83E-01	8,21E-04	4,71E-03	6,75E-04	-2,36E+00	1,27E+00	-5,58E-04	1,18E+00	-9,20E-02	-9,26E-02	9,26E-02
27	40,54	2485,42	1,02E-02	3,65E-03	1,43E-03	3,02E-02	2,18E-03	6,55E-03	4,89E-08	1,37E-01	5,86E-04	3,50E-03	5,35E-04	-1,10E+00	5,90E-01	-1,34E-04	5,50E-01	-4,00E-02	-4,01E-02	4,01E-02
36	27,01	2213,27	7,64E-03	2,73E-03	1,07E-03	2,26E-02	1,35E-03	5,05E-03	9,45E-09	1,03E-01	4,30E-04	2,61E-03	4,09E-04	-3,29E-01	1,72E-01	-2,55E-05	1,65E-01	-7,41E-03	-7,43E-03	7,43E-03
45	18,58	1988,93	5,85E-03	2,09E-03	8,17E-04	1,73E-02	9,59E-04	3,90E-03	1,99E-09	7,88E-02	3,28E-04	2,00E-03	3,15E-04	-7,79E-02	4,11E-02	-5,01E-06	3,90E-02	-2,18E-03	-2,19E-03	2,19E-03
54	13,34	1809,11	4,61E-03	1,65E-03	6,45E-04	1,37E-02	7,39E-04	3,09E-03	4,67E-10	6,22E-02	2,58E-04	1,58E-03	2,49E-04	-1,72E-02	9,62E-03	-1,10E-06	8,60E-03	-1,02E-03	-1,02E-03	1,02E-03
63	9,99	1665,86	3,75E-03	1,34E-03	5,25E-04	1,11E-02	5,97E-04	2,52E-03	1,23E-10	5,06E-02	2,10E-04	1,28E-03	2,03E-04	-3,96E-03	2,40E-03	-2,68E-07	1,98E-03	-4,19E-04	-4,19E-04	4,19E-04
72	7,79	1551,52	3,14E-03	1,12E-03	4,39E-04	9,30E-03	4,99E-04	2,11E-03	3,65E-11	4,24E-02	1,75E-04	1,07E-03	1,70E-04	-1,01E-03	6,62E-04	-7,28E-08	5,03E-04	-1,59E-04	-1,59E-04	1,59E-04
81	6,30	1459,91	2,70E-03	9,64E-04	3,77E-04	7,99E-03	4,28E-04	1,81E-03	1,22E-11	3,64E-02	1,51E-04	9,21E-04	1,46E-04	-2,89E-04	2,06E-04	-2,19E-08	1,45E-04	-6,09E-05	-6,09E-05	6,09E-05
90	5,25	1386,25	2,37E-03	8,47E-04	3,31E-04	7,02E-03	3,76E-04	1,59E-03	4,59E-12	3,20E-02	1,32E-04	8,10E-04	1,28E-04	-9,52E-05	7,24E-05	-7,35E-09	4,76E-05	-2,48E-05	-2,49E-05	2,49E-05
99	4,51	1326,91	2,13E-03	7,60E-04	2,97E-04	6,29E-03	3,37E-04	1,43E-03	1,95E-12	2,87E-02	1,19E-04	7,26E-04	1,15E-04	-3,59E-05	2,90E-05	-2,73E-09	1,79E-05	-1,10E-05	-1,10E-05	1,10E-05
108	3,96	1279,12	1,94E-03	6,93E-04	2,71E-04	5,74E-03	3,08E-04	1,30E-03	9,24E-13	2,61E-02	1,08E-04	6,62E-04	1,05E-04	-1,54E-05	1,31E-05	-1,12E-09	7,70E-06	-5,38E-06	-5,39E-06	5,39E-06
117	3,56	1240,75	1,80E-03	6,42E-04	2,51E-04	5,32E-03	2,85E-04	1,21E-03	4,89E-13	2,42E-02	1,00E-04	6,14E-04	9,72E-05	-7,50E-06	6,65E-06	-5,04E-10	3,75E-06	-2,90E-06	-2,90E-06	2,90E-06
126	3,27	1210,16	1,69E-03	6,03E-04	2,36E-04	5,00E-03	2,68E-04	1,13E-03	2,87E-13	2,28E-02	9,41E-05	5,76E-04	9,14E-05	-4,10E-06	3,77E-06	-2,46E-10	2,05E-06	-1,71E-06	-1,72E-06	1,72E-06
135	3,04	1186,09	1,61E-03	5,74E-04	2,24E-04	4,75E-03	2,55E-04	1,08E-03	1,85E-13	2,17E-02	8,95E-05	5,48E-04	8,69E-05	-2,50E-06	2,36E-06	-1,29E-10	1,25E-06	-1,11E-06	-1,11E-06	1,11E-06
144	2,88	1167,55	1,54E-03	5,52E-04	2,16E-04	4,57E-03	2,45E-04	1,04E-03	1,31E-13	2,08E-02	8,61E-05	5,27E-04	8,35E-05	-1,69E-06	1,63E-06	-7,10E-11	8,45E-07	-7,88E-07	-7,88E-07	7,88E-07
153	2,76	1153,84	1,50E-03	5,36E-04	2,09E-04	4,44E-03	2,38E-04	1,01E-03	1,01E-13	2,02E-02	8,36E-05	5,12E-04	8,11E-05	-1,26E-06	1,23E-06	-4,01E-11	6,28E-07	-6,05E-07	-6,05E-07	6,05E-07
162	2,69	1144,40	1,47E-03	5,25E-04	2,05E-04	4,35E-03	2,33E-04	9,85E-04	8,36E-14	1,98E-02	8,19E-05	5,01E-04	7,95E-05	-1,02E-06	1,01E-06	-2,19E-11	5,10E-07	-5,03E-07	-5,03E-07	5,03E-07
171	2,64	1138,87	1,45E-03	5,18E-04	2,03E-04	4,29E-03	2,30E-04	9,73E-04	7,49E-14	1,96E-02	8,09E-05	4,95E-04	7,85E-05	-9,01E-07	9,02E-07	-9,71E-12	4,51E-07	-4,51E-07	-4,51E-07	4,51E-07
180	2,63	1137,05	1,45E-03	5,16E-04	2,02E-04	4,28E-03	2,29E-04	9,69E-04	7,23E-14	1,95E-02	8,06E-05	4,93E-04	7,82E-05	-8,65E-07	8,68E-07	-7,19E-16	4,33E-07	-4,35E-07	-4,35E-07	4,35E-07

Teste: Razão de expansão 13, 20% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0007	0,0003	0,0055	0,0008	0,0011	0,0000	0,0258	0,0001	0,0007	0,0001	0,0370	95,31	3175,33	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,4302	1,9493	0,7053	14,8780	2,1021	2,8423	0,0000	69,7042	0,3472	1,8140	0,2273	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	95,31	3175,33	1,96E-02	7,04E-03	2,55E-03	5,37E-02	7,59E-03	1,03E-02	0,0E+00	2,52E-01	1,25E-03	6,55E-03	8,21E-04	-3,05E+02	1,63E+02	9,47E+02	-3,21E+02	-4,84E+02	4,63E+02	-4,63E+02
9	83,84	3061,11	1,79E-02	6,42E-03	2,32E-03	4,90E-02	6,41E-03	9,66E-03	7,78E-07	2,30E-01	1,10E-03	5,93E-03	7,92E-04	-2,49E+00	1,32E+00	-1,11E-03	1,25E+00	-7,51E-02	-7,62E-02	7,62E-02
18	60,73	2791,67	1,42E-02	5,10E-03	1,85E-03	3,89E-02	3,92E-03	8,30E-03	2,40E-07	1,83E-01	8,33E-04	4,67E-03	6,70E-04	-2,39E+00	1,29E+00	-5,68E-04	1,20E+00	-9,32E-02	-9,37E-02	9,37E-02
27	40,58	2487,89	1,07E-02	3,82E-03	1,38E-03	2,92E-02	2,19E-03	6,63E-03	5,00E-08	1,38E-01	5,95E-04	3,47E-03	5,32E-04	-1,12E+00	6,00E-01	-1,37E-04	5,59E-01	-4,12E-02	-4,13E-02	4,13E-02
36	27,04	2215,46	7,97E-03	2,86E-03	1,04E-03	2,18E-02	1,36E-03	5,11E-03	9,66E-09	1,03E-01	4,36E-04	2,59E-03	4,07E-04	-3,36E-01	1,76E-01	-2,60E-05	1,68E-01	-7,84E-03	-7,87E-03	7,87E-03
45	18,60	1990,90	6,10E-03	2,19E-03	7,93E-04	1,67E-02	9,64E-04	3,95E-03	2,03E-09	7,90E-02	3,32E-04	1,98E-03	3,13E-04	-7,98E-02	4,22E-02	-5,11E-06	3,99E-02	-2,30E-03	-2,30E-03	2,30E-03
54	13,35	1810,91	4,82E-03	1,73E-03	6,25E-04	1,32E-02	7,42E-04	3,13E-03	4,78E-10	6,24E-02	2,61E-04	1,56E-03	2,48E-04	-1,77E-02	9,89E-03	-1,12E-06	8,83E-03	-1,06E-03	-1,06E-03	1,06E-03
63	10,00	1667,51	3,92E-03	1,41E-03	5,09E-04	1,07E-02	6,00E-04	2,55E-03	1,26E-10	5,07E-02	2,12E-04	1,27E-03	2,02E-04	-4,07E-03	2,47E-03	-2,75E-07	2,04E-03	-4,32E-04	-4,33E-04	4,33E-04
72	7,80	1553,06	3,28E-03	1,18E-03	4,26E-04	8,99E-03	5,01E-04	2,13E-03	3,75E-11	4,25E-02	1,78E-04	1,06E-03	1,69E-04	-1,04E-03	6,82E-04	-7,46E-08	5,18E-04	-1,64E-04	-1,64E-04	1,64E-04
81	6,30	1461,36	2,82E-03	1,01E-03	3,66E-04	7,72E-03	4,30E-04	1,83E-03	1,25E-11	3,65E-02	1,53E-04	9,13E-04	1,45E-04	-2,99E-04	2,12E-04	-2,25E-08	1,49E-04	-6,29E-05	-6,29E-05	6,29E-05
90	5,26	1387,63	2,47E-03	8,88E-04	3,21E-04	6,78E-03	3,78E-04	1,61E-03	4,72E-12	3,21E-02	1,34E-04	8,03E-04	1,28E-04	-9,84E-05	7,49E-05	-7,55E-09	4,92E-05	-2,57E-05	-2,57E-05	2,57E-05
99	4,51	1328,23	2,22E-03	7,96E-04	2,88E-04	6,08E-03	3,39E-04	1,44E-03	2,00E-12	2,87E-02	1,20E-04	7,19E-04	1,15E-04	-3,71E-05	2,99E-05	-2,81E-09	1,86E-05	-1,14E-05	-1,14E-05	1,14E-05
108	3,97	1280,39	2,02E-03	7,27E-04	2,63E-04	5,55E-03	3,09E-04	1,32E-03	9,52E-13	2,62E-02	1,10E-04	6,56E-04	1,05E-04	-1,60E-05	1,35E-05	-1,15E-09	7,98E-06	-5,56E-06	-5,57E-06	5,57E-06
117	3,57	1241,98	1,88E-03	6,73E-04	2,44E-04	5,14E-03	2,86E-04	1,22E-03	5,05E-13	2,43E-02	1,02E-04	6,08E-04	9,69E-05	-7,77E-06	6,88E-06	-5,19E-10	3,89E-06	-3,00E-06	-3,00E-06	3,00E-06
126	3,27	1211,36	1,76E-03	6,33E-04	2,29E-04	4,83E-03	2,69E-04	1,15E-03	2,96E-13	2,28E-02	9,54E-05	5,71E-04	9,10E-05	-4,25E-06	3,90E-06	-2,54E-10	2,13E-06	-1,77E-06	-1,77E-06	1,77E-06
135	3,05	1187,26	1,68E-03	6,02E-04	2,18E-04	4,59E-03	2,56E-04	1,09E-03	1,92E-13	2,17E-02	9,07E-05	5,43E-04	8,66E-05	-2,60E-06	2,45E-06	-1,33E-10	1,30E-06	-1,15E-06	-1,15E-06	1,15E-06
144	2,88	1168,71	1,61E-03	5,78E-04	2,09E-04	4,41E-03	2,46E-04	1,05E-03	1,35E-13	2,09E-02	8,72E-05	5,22E-04	8,32E-05	-1,76E-06	1,69E-06	-7,33E-11	8,78E-07	-8,15E-07	-8,15E-07	8,15E-07
153	2,77	1154,98	1,56E-03	5,62E-04	2,03E-04	4,29E-03	2,39E-04	1,02E-03	1,04E-13	2,03E-02	8,47E-05	5,07E-04	8,08E-05	-1,30E-06	1,28E-06	-4,14E-11	6,52E-07	-6,27E-07	-6,27E-07	6,27E-07
162	2,69	1145,53	1,53E-03	5,50E-04	1,99E-04	4,20E-03	2,34E-04	9,97E-04	8,64E-14	1,99E-02	8,30E-05	4,97E-04	7,92E-05	-1,06E-06	1,05E-06	-2,26E-11	5,30E-07	-5,21E-07	-5,21E-07	5,21E-07
171	2,64	1140,00	1,51E-03	5,43E-04	1,97E-04	4,15E-03	2,31E-04	9,85E-04	7,75E-14	1,96E-02	8,20E-05	4,91E-04	7,82E-05	-9,36E-07	9,35E-07	-1,00E-11	4,68E-07	-4,67E-07	-4,67E-07	4,67E-07
180	2,63	1138,18	1,51E-03	5,41E-04	1,96E-04	4,13E-03	2,30E-04	9,81E-04	7,47E-14	1,95E-02	8,16E-05	4,89E-04	7,79E-05	-8,99E-07	9,00E-07	-7,48E-16	4,49E-07	-4,50E-07	-4,50E-07	4,50E-07

Teste: Razão de expansão 13, 20% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0021	0,0008	0,0003	0,0054	0,0008	0,0011	0,0000	0,0260	0,0002	0,0007	0,0001	0,0372	95,39	3178,02	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,6053	2,0359	0,6917	14,4296	2,1041	2,8274	0,0000	69,8178	0,4679	1,7937	0,2265	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	95,39	3178,02	2,02E-02	7,35E-03	2,50E-03	5,21E-02	7,60E-03	1,02E-02	0,0E+00	2,52E-01	1,69E-03	6,48E-03	8,17E-04	-2,49E+02	2,21E+02	1,12E+03	-4,37E+02	-6,59E+02	4,65E+02	-4,65E+02
9	83,91	3063,71	1,85E-02	6,71E-03	2,28E-03	4,75E-02	6,45E-03	9,74E-03	9,63E-07	2,30E-01	1,35E-03	5,72E-03	9,33E-04	-2,53E+00	1,36E+00	-1,36E-03	1,27E+00	-9,10E-02	-9,24E-02	9,24E-02
18	60,78	2794,03	1,47E-02	5,33E-03	1,81E-03	3,78E-02	3,92E-03	8,39E-03	2,97E-07	1,83E-01	1,02E-03	4,49E-03	7,92E-04	-2,47E+00	1,35E+00	-7,03E-04	1,23E+00	-1,18E-01	-1,19E-01	1,19E-01
27	40,61	2490,00	1,10E-02	3,99E-03	1,36E-03	2,83E-02	2,16E-03	6,72E-03	6,16E-08	1,38E-01	7,29E-04	3,33E-03	6,33E-04	-1,19E+00	6,52E-01	-1,70E-04	5,94E-01	-5,81E-02	-5,82E-02	5,82E-02
36	27,06	2217,34	8,23E-03	2,99E-03	1,02E-03	2,12E-02	1,31E-03	5,19E-03	1,18E-08	1,03E-01	5,33E-04	2,48E-03	4,87E-04	-3,68E-01	1,97E-01	-3,20E-05	1,84E-01	-1,27E-02	-1,28E-02	1,28E-02
45	18,62	1992,59	6,30E-03	2,29E-03	7,77E-04	1,62E-02	9,21E-04	4,02E-03	2,46E-09	7,92E-02	4,05E-04	1,89E-03	3,75E-04	-8,91E-02	4,79E-02	-6,22E-06	4,46E-02	-3,37E-03	-3,37E-03	3,37E-03
54	13,36	1812,44	4,97E-03	1,81E-03	6,13E-04	1,28E-02	7,07E-04	3,18E-03	5,79E-10	6,25E-02	3,18E-04	1,49E-03	2,97E-04	-2,00E-02	1,14E-02	-1,36E-06	1,00E-02	-1,36E-03	-1,36E-03	1,36E-03
63	10,01	1668,92	4,04E-03	1,47E-03	4,99E-04	1,04E-02	5,70E-04	2,59E-03	1,53E-10	5,08E-02	2,59E-04	1,22E-03	2,42E-04	-4,65E-03	2,85E-03	-3,32E-07	2,32E-03	-5,31E-04	-5,31E-04	5,31E-04
72	7,81	1554,38	3,39E-03	1,23E-03	4,18E-04	8,71E-03	4,76E-04	2,17E-03	4,54E-11	4,26E-02	2,16E-04	1,02E-03	2,03E-04	-1,19E-03	7,92E-04	-9,02E-08	5,94E-04	-1,98E-04	-1,98E-04	1,98E-04
81	6,31	1462,60	2,91E-03	1,06E-03	3,59E-04	7,48E-03	4,09E-04	1,86E-03	1,52E-11	3,66E-02	1,86E-04	8,74E-04	1,74E-04	-3,43E-04	2,47E-04	-2,73E-08	1,72E-04	-7,55E-05	-7,55E-05	7,55E-05
90	5,26	1388,80	2,55E-03	9,28E-04	3,15E-04	6,58E-03	3,59E-04	1,64E-03	5,73E-12	3,21E-02	1,63E-04	7,67E-04	1,53E-04	-1,13E-04	8,74E-05	-9,16E-09	5,67E-05	-3,07E-05	-3,07E-05	3,07E-05
99	4,52	1329,35	2,29E-03	8,32E-04	2,83E-04	5,89E-03	3,22E-04	1,47E-03	2,43E-12	2,88E-02	1,46E-04	6,88E-04	1,37E-04	-4,28E-05	3,50E-05	-3,41E-09	2,14E-05	-1,36E-05	-1,36E-05	1,36E-05
108	3,97	1281,47	2,09E-03	7,59E-04	2,58E-04	5,38E-03	2,94E-04	1,34E-03	1,16E-12	2,63E-02	1,33E-04	6,28E-04	1,25E-04	-1,84E-05	1,58E-05	-1,40E-09	9,21E-06	-6,64E-06	-6,64E-06	6,64E-06
117	3,57	1243,03	1,94E-03	7,03E-04	2,39E-04	4,98E-03	2,72E-04	1,24E-03	6,14E-13	2,43E-02	1,24E-04	5,82E-04	1,16E-04	-8,98E-06	8,06E-06	-6,31E-10	4,49E-06	-3,57E-06	-3,57E-06	3,57E-06
126	3,27	1212,39	1,82E-03	6,61E-04	2,24E-04	4,68E-03	2,56E-04	1,17E-03	3,61E-13	2,29E-02	1,16E-04	5,46E-04	1,09E-04	-4,92E-06	4,57E-06	-3,09E-10	2,46E-06	-2,11E-06	-2,11E-06	2,11E-06
135	3,05	1188,27	1,73E-03	6,28E-04	2,13E-04	4,45E-03	2,43E-04	1,11E-03	2,33E-13	2,17E-02	1,11E-04	5,20E-04	1,04E-04	-3,01E-06	2,87E-06	-1,62E-10	1,50E-06	-1,37E-06	-1,37E-06	1,37E-06
144	2,89	1169,70	1,66E-03	6,04E-04	2,05E-04	4,28E-03	2,34E-04	1,07E-03	1,65E-13	2,09E-02	1,06E-04	5,00E-04	9,98E-05	-2,03E-06	1,99E-06	-8,92E-11	1,02E-06	-9,70E-07	-9,70E-07	9,70E-07
153	2,77	1155,96	1,61E-03	5,86E-04	1,99E-04	4,16E-03	2,27E-04	1,04E-03	1,27E-13	2,03E-02	1,03E-04	4,85E-04	9,68E-05	-1,51E-06	1,50E-06	-5,04E-11	7,56E-07	-7,45E-07	-7,46E-07	7,46E-07
162	2,69	1146,50	1,58E-03	5,75E-04	1,95E-04	4,07E-03	2,22E-04	1,01E-03	1,05E-13	1,99E-02	1,01E-04	4,75E-04	9,49E-05	-1,23E-06	1,23E-06	-2,75E-11	6,14E-07	-6,20E-07	-6,20E-07	6,20E-07
171	2,64	1140,97	1,56E-03	5,68E-04	1,93E-04	4,02E-03	2,20E-04	1,00E-03	9,45E-14	1,96E-02	9,98E-05	4,70E-04	9,37E-05	-1,09E-06	1,10E-06	-1,22E-11	5,43E-07	-5,55E-07	-5,55E-07	5,55E-07
180	2,63	1139,15	1,56E-03	5,65E-04	1,92E-04	4,01E-03	2,19E-04	9,98E-04	9,12E-14	1,96E-02	9,95E-05	4,68E-04	9,34E-05	-1,04E-06	1,06E-06	-9,96E-16	5,21E-07	-5,36E-07	-5,36E-07	5,36E-07

Teste: Razão de expansão 13, 20% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0003	0,0000	0,0001	0,0073	0,0005	0,0017	0,0055	0,0202	0,0000	0,0004	0,0000	0,036101	83,37	2777,56	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,9301	0,0623	0,1980	20,1073	1,5010	4,7771	15,2526	55,9846	0,1205	1,0293	0,0373	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,37	2777,56	3,36E-03	2,25E-04	7,15E-04	7,26E-02	5,42E-03	1,72E-02	5,51E-02	2,02E-01	4,35E-04	3,72E-03	1,35E-04	1,14E+07	-8,80E+06	-3,09E+07	9,73E+06	1,85E+07	-1,24E+07	1,24E+07
9	73,34	2677,65	3,06E-03	2,05E-04	6,52E-04	6,62E-02	3,95E-06	1,15E-08	7,05E-03	2,08E-01	4,02E-02	5,79E-10	3,51E-03	-7,89E-03	-3,23E-05	-7,96E-03	7,92E-03	7,96E-03	-1,89E-06	1,89E-06
18	53,12	2441,96	2,43E-03	1,63E-04	5,18E-04	5,26E-02	7,99E-07	1,30E-09	5,60E-03	1,66E-01	3,19E-02	4,92E-11	2,79E-03	-2,72E-03	-6,24E-06	-2,73E-03	2,73E-03	2,73E-03	-2,73E-07	2,73E-07
27	35,49	2176,23	1,82E-03	1,22E-04	3,88E-04	3,94E-02	8,98E-08	6,51E-11	4,20E-03	1,24E-01	2,39E-02	1,66E-12	2,09E-03	-3,72E-04	-3,82E-07	-3,73E-04	3,73E-04	3,73E-04	-1,12E-08	1,12E-08
36	23,65	1937,93	1,37E-03	9,14E-05	2,91E-04	2,95E-02	7,88E-09	2,29E-12	3,14E-03	9,29E-02	1,79E-02	3,72E-14	1,57E-03	-3,48E-05	-1,44E-08	-3,48E-05	3,48E-05	3,48E-05	-2,68E-10	2,68E-10
45	16,27	1741,50	1,05E-03	7,00E-05	2,22E-04	2,26E-02	6,63E-10	7,55E-14	2,40E-03	7,11E-02	1,37E-02	7,69E-16	1,20E-03	-2,93E-06	-4,73E-10	-2,93E-06	2,93E-06	2,93E-06	-5,55E-12	5,55E-12
54	11,68	1584,06	8,25E-04	5,52E-05	1,76E-04	1,78E-02	6,00E-11	2,72E-15	1,90E-03	5,61E-02	1,08E-02	1,76E-17	9,46E-04	-2,55E-07	-1,64E-11	-2,55E-07	2,55E-07	2,55E-07	-1,22E-13	1,22E-13
63	8,75	1458,62	6,71E-04	4,49E-05	1,43E-04	1,45E-02	6,22E-12	1,18E-16	1,54E-03	4,57E-02	8,81E-03	4,92E-19	7,70E-04	-2,48E-08	-6,68E-13	-2,48E-08	2,48E-08	2,48E-08	-3,21E-15	3,21E-15
72	6,82	1358,51	5,62E-04	3,76E-05	1,20E-04	1,21E-02	7,65E-13	6,42E-18	1,29E-03	3,82E-02	7,37E-03	1,79E-20	6,44E-04	-2,82E-09	-3,36E-14	-2,82E-09	2,82E-09	2,82E-09	-1,08E-16	1,08E-16
81	5,51	1278,30	4,82E-04	3,23E-05	1,03E-04	1,04E-02	1,14E-13	4,54E-19	1,11E-03	3,28E-02	6,33E-03	8,76E-22	5,53E-04	-3,80E-10	-2,16E-15	-3,80E-10	3,80E-10	3,80E-10	-4,78E-18	4,78E-18
90	4,60	1213,80	4,24E-04	2,84E-05	9,02E-05	9,16E-03	2,07E-14	4,22E-20	9,75E-04	2,88E-02	5,56E-03	5,83E-23	4,86E-04	-6,16E-11	-1,79E-16	-6,16E-11	6,16E-11	6,16E-11	-2,84E-19	2,84E-19
99	3,95	1161,84	3,80E-04	2,54E-05	8,09E-05	8,21E-03	4,58E-15	5,17E-21	8,74E-04	2,59E-02	4,99E-03	5,32E-24	4,36E-04	-1,20E-11	-1,93E-17	-1,20E-11	1,20E-11	1,20E-11	-2,28E-20	2,28E-20
108	3,47	1119,99	3,47E-04	2,32E-05	7,38E-05	7,49E-03	1,23E-15	8,30E-22	7,97E-04	2,36E-02	4,55E-03	6,59E-25	3,98E-04	-2,80E-12	-2,68E-18	-2,80E-12	2,80E-12	2,80E-12	-2,44E-21	2,44E-21
117	3,12	1086,40	3,21E-04	2,15E-05	6,84E-05	6,95E-03	4,01E-16	1,73E-22	7,39E-04	2,19E-02	4,22E-03	1,10E-25	3,68E-04	-7,73E-13	-4,75E-19	-7,73E-13	7,73E-13	7,73E-13	-3,47E-22	3,47E-22
126	2,86	1059,61	3,02E-04	2,02E-05	6,43E-05	6,52E-03	1,56E-16	4,62E-23	6,94E-04	2,05E-02	3,96E-03	2,44E-26	3,46E-04	-2,50E-13	-1,06E-19	-2,50E-13	2,50E-13	2,50E-13	-6,42E-23	6,42E-23
135	2,66	1038,54	2,87E-04	1,92E-05	6,11E-05	6,21E-03	7,16E-17	1,56E-23	6,60E-04	1,95E-02	3,77E-03	7,07E-27	3,29E-04	-9,34E-14	-2,90E-20	-9,34E-14	9,34E-14	9,34E-14	-1,51E-23	1,51E-23
144	2,52	1022,31	2,76E-04	1,85E-05	5,87E-05	5,97E-03	3,85E-17	6,54E-24	6,35E-04	1,88E-02	3,62E-03	2,63E-27	3,16E-04	-3,93E-14	-9,52E-21	-3,93E-14	3,93E-14	3,93E-14	-4,39E-24	4,39E-24
153	2,42	1010,30	2,68E-04	1,79E-05	5,70E-05	5,79E-03	2,41E-17	3,38E-24	6,16E-04	1,82E-02	3,52E-03	1,24E-27	3,07E-04	-1,80E-14	-3,62E-21	-1,80E-14	1,80E-14	1,80E-14	-1,52E-24	1,52E-24
162	2,35	1002,03	2,62E-04	1,76E-05	5,59E-05	5,67E-03	1,73E-17	2,12E-24	6,04E-04	1,79E-02	3,44E-03	7,34E-28	3,01E-04	-8,52E-15	-1,50E-21	-8,52E-15	8,52E-15	8,52E-15	-5,91E-25	5,91E-25
171	2,31	997,20	2,59E-04	1,74E-05	5,52E-05	5,61E-03	1,42E-17	1,61E-24	5,96E-04	1,76E-02	3,40E-03	5,37E-28	2,97E-04	-3,47E-15	-5,70E-22	-3,47E-15	3,47E-15	3,47E-15	-2,14E-25	2,14E-25
180	2,30	995,60	2,58E-04	1,73E-05	5,50E-05	5,58E-03	1,33E-17	1,46E-24	5,94E-04	1,76E-02	3,39E-03	4,84E-28	2,96E-04	-4,41E-19	-1,05E-23	-4,41E-19	4,41E-19	4,41E-19	-3,04E-29	3,04E-29

Teste: Razão de expansão 13, 50% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0010	0,0001	0,0001	0,0063	0,0006	0,0018	0,0030	0,0228	0,0000	0,0003	0,0000	0,036101	83,29	2774,96	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,8375	0,1817	0,1645	17,4500	1,6401	5,0963	8,4226	63,0822	0,1235	0,9678	0,0337	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,29	2774,96	1,02E-02	6,56E-04	5,94E-04	6,30E-02	5,92E-03	1,84E-02	3,04E-02	2,28E-01	4,46E-04	3,49E-03	1,22E-04	5,72E+06	-5,17E+06	-1,75E+07	5,87E+06	1,10E+07	-6,41E+06	6,41E+06
9	73,27	2675,14	9,35E-03	5,99E-04	5,42E-04	5,75E-02	3,14E-03	6,80E-03	5,92E-06	2,23E-01	2,54E-02	4,42E-04	2,86E-03	-1,55E+00	8,77E-01	-8,84E-03	7,82E-01	-9,51E-02	-1,04E-01	1,04E-01
18	53,07	2439,67	7,42E-03	4,75E-04	4,30E-04	4,57E-02	1,76E-03	5,82E-03	1,70E-06	1,77E-01	2,01E-02	2,96E-04	2,32E-03	-1,51E+00	8,81E-01	-4,27E-03	7,56E-01	-1,25E-01	-1,29E-01	1,29E-01
27	35,46	2174,20	5,57E-03	3,56E-04	3,23E-04	3,42E-02	8,30E-04	4,65E-03	3,16E-07	1,33E-01	1,50E-02	1,76E-04	1,79E-03	-7,84E-01	4,69E-01	-9,53E-04	3,93E-01	-7,66E-02	-7,75E-02	7,75E-02
36	23,63	1936,12	4,17E-03	2,67E-04	2,42E-04	2,56E-02	4,11E-04	3,61E-03	5,06E-08	9,98E-02	1,12E-02	1,12E-04	1,36E-03	-2,69E-01	1,58E-01	-1,57E-04	1,35E-01	-2,36E-02	-2,38E-02	2,38E-02
45	16,26	1739,87	3,19E-03	2,04E-04	1,85E-04	1,96E-02	2,51E-04	2,80E-03	8,70E-09	7,64E-02	8,60E-03	8,01E-05	1,05E-03	-6,73E-02	3,89E-02	-2,48E-05	3,37E-02	-5,17E-03	-5,20E-03	5,20E-03
54	11,67	1582,57	2,52E-03	1,61E-04	1,46E-04	1,55E-02	1,83E-04	2,22E-03	1,79E-09	6,03E-02	6,78E-03	6,20E-05	8,26E-04	-1,46E-02	8,57E-03	-4,55E-06	7,32E-03	-1,24E-03	-1,25E-03	1,25E-03
63	8,74	1457,26	2,05E-03	1,31E-04	1,19E-04	1,26E-02	1,46E-04	1,81E-03	4,33E-10	4,91E-02	5,52E-03	5,02E-05	6,72E-04	-3,22E-03	1,95E-03	-1,00E-06	1,61E-03	-3,36E-04	-3,37E-04	3,37E-04
72	6,82	1357,24	1,71E-03	1,10E-04	9,94E-05	1,05E-02	1,21E-04	1,51E-03	1,21E-10	4,11E-02	4,62E-03	4,19E-05	5,63E-04	-7,77E-04	4,86E-04	-2,53E-07	3,88E-04	-9,75E-05	-9,78E-05	9,78E-05
81	5,51	1277,10	1,47E-03	9,43E-05	8,53E-05	9,05E-03	1,04E-04	1,30E-03	3,83E-11	3,53E-02	3,97E-03	3,60E-05	4,84E-04	-2,12E-04	1,37E-04	-7,25E-08	1,06E-04	-3,08E-05	-3,09E-05	3,09E-05
90	4,59	1212,66	1,29E-03	8,28E-05	7,50E-05	7,95E-03	9,11E-05	1,14E-03	1,38E-11	3,10E-02	3,49E-03	3,16E-05	4,25E-04	-6,64E-05	4,39E-05	-2,32E-08	3,32E-05	-1,07E-05	-1,08E-05	1,08E-05
99	3,94	1160,75	1,16E-03	7,42E-05	6,72E-05	7,13E-03	8,17E-05	1,02E-03	5,59E-12	2,78E-02	3,12E-03	2,83E-05	3,81E-04	-2,39E-05	1,61E-05	-8,28E-09	1,19E-05	-4,19E-06	-4,20E-06	4,20E-06
108	3,47	1118,95	1,06E-03	6,77E-05	6,13E-05	6,50E-03	7,45E-05	9,33E-04	2,55E-12	2,53E-02	2,85E-03	2,58E-05	3,47E-04	-9,85E-06	6,76E-06	-3,28E-09	4,93E-06	-1,84E-06	-1,84E-06	1,84E-06
117	3,12	1085,38	9,80E-04	6,28E-05	5,68E-05	6,03E-03	6,90E-05	8,65E-04	1,31E-12	2,35E-02	2,64E-03	2,39E-05	3,22E-04	-4,62E-06	3,22E-06	-1,43E-09	2,31E-06	-9,04E-07	-9,05E-07	9,05E-07
126	2,86	1058,62	9,21E-04	5,90E-05	5,34E-05	5,66E-03	6,49E-05	8,12E-04	7,45E-13	2,21E-02	2,48E-03	2,25E-05	3,02E-04	-2,45E-06	1,72E-06	-6,78E-10	1,23E-06	-4,97E-07	-4,97E-07	4,97E-07
135	2,66	1037,56	8,76E-04	5,61E-05	5,08E-05	5,39E-03	6,17E-05	7,73E-04	4,69E-13	2,10E-02	2,36E-03	2,14E-05	2,88E-04	-1,46E-06	1,03E-06	-3,46E-10	7,29E-07	-3,03E-07	-3,04E-07	3,04E-07
144	2,52	1021,35	8,42E-04	5,39E-05	4,88E-05	5,18E-03	5,93E-05	7,43E-04	3,25E-13	2,02E-02	2,27E-03	2,06E-05	2,77E-04	-9,65E-07	6,87E-07	-1,87E-10	4,82E-07	-2,05E-07	-2,05E-07	2,05E-07
153	2,42	1009,35	8,17E-04	5,23E-05	4,74E-05	5,03E-03	5,76E-05	7,21E-04	2,46E-13	1,96E-02	2,20E-03	2,00E-05	2,69E-04	-7,05E-07	5,04E-07	-1,04E-10	3,53E-07	-1,52E-07	-1,52E-07	1,52E-07
162	2,35	1001,09	8,01E-04	5,13E-05	4,64E-05	4,92E-03	5,64E-05	7,06E-04	2,02E-13	1,92E-02	2,16E-03	1,96E-05	2,63E-04	-5,66E-07	4,06E-07	-5,63E-11	2,83E-07	-1,23E-07	-1,23E-07	1,23E-07
171	2,31	996,26	7,91E-04	5,07E-05	4,59E-05	4,87E-03	5,57E-05	6,98E-04	1,80E-13	1,90E-02	2,13E-03	1,93E-05	2,60E-04	-4,97E-07	3,57E-07	-2,48E-11	2,48E-07	-1,09E-07	-1,09E-07	1,09E-07
180	2,30	994,67	7,88E-04	5,05E-05	4,57E-05	4,85E-03	5,55E-05	6,95E-04	1,73E-13	1,89E-02	2,12E-03	1,92E-05	2,59E-04	-4,76E-07	3,42E-07	-2,05E-14	2,38E-07	-1,04E-07	-1,04E-07	1,04E-07

Teste: Razão de expansão 13, 50% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0017	0,0001	0,0000	0,0053	0,0006	0,0020	0,0005	0,0254	0,0000	0,0003	0,0000	0,036101	83,21	2772,29	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	4,8096	0,2949	0,1330	14,7173	1,7809	5,4245	1,4069	70,3801	0,1264	0,8964	0,0301	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,21	2772,29	1,74E-02	1,06E-03	4,80E-04	5,31E-02	6,43E-03	1,96E-02	5,08E-03	2,54E-01	4,56E-04	3,24E-03	1,09E-04	8,45E+05	-9,17E+05	-2,97E+06	1,06E+06	1,98E+06	-9,92E+05	9,92E+05
9	73,20	2672,57	1,58E-02	9,72E-04	4,38E-04	4,85E-02	5,09E-03	1,68E-02	6,37E-07	2,35E-01	4,23E-03	2,13E-03	9,20E-04	-2,44E+00	1,37E+00	-9,69E-04	1,22E+00	-1,53E-01	-1,54E-01	1,54E-01
18	53,02	2437,33	1,26E-02	7,72E-04	3,48E-04	3,85E-02	2,95E-03	1,39E-02	1,82E-07	1,87E-01	3,28E-03	1,61E-03	8,11E-04	-2,11E+00	1,23E+00	-4,61E-04	1,06E+00	-1,75E-01	-1,76E-01	1,76E-01
27	35,43	2172,10	9,43E-03	5,79E-04	2,61E-04	2,89E-02	1,60E-03	1,08E-02	3,43E-08	1,40E-01	2,40E-03	1,16E-03	6,62E-04	-8,41E-01	4,98E-01	-1,00E-04	4,20E-01	-7,72E-02	-7,73E-02	7,73E-02
36	23,61	1934,26	7,06E-03	4,33E-04	1,95E-04	2,16E-02	1,00E-03	8,21E-03	6,05E-09	1,05E-01	1,78E-03	8,46E-04	5,14E-04	-2,06E-01	1,23E-01	-1,73E-05	1,03E-01	-2,05E-02	-2,05E-02	2,05E-02
45	16,24	1738,20	5,40E-03	3,31E-04	1,49E-04	1,65E-02	7,23E-04	6,31E-03	1,16E-09	8,05E-02	1,36E-03	6,43E-04	3,98E-04	-3,98E-02	2,52E-02	-3,13E-06	1,99E-02	-5,26E-03	-5,26E-03	5,26E-03
54	11,66	1581,05	4,26E-03	2,62E-04	1,18E-04	1,30E-02	5,62E-04	4,98E-03	2,50E-10	6,35E-02	1,07E-03	5,06E-04	3,15E-04	-7,44E-03	5,07E-03	-6,32E-07	3,72E-03	-1,35E-03	-1,35E-03	1,35E-03
63	8,73	1455,86	3,47E-03	2,13E-04	9,60E-05	1,06E-02	4,56E-04	4,06E-03	6,00E-11	5,17E-02	8,71E-04	4,11E-04	2,57E-04	-1,49E-03	1,09E-03	-1,41E-07	7,47E-04	-3,48E-04	-3,48E-04	3,48E-04
72	6,81	1355,93	2,90E-03	1,78E-04	8,03E-05	8,89E-03	3,81E-04	3,40E-03	1,62E-11	4,33E-02	7,29E-04	3,44E-04	2,15E-04	-3,38E-04	2,64E-04	-3,51E-08	1,69E-04	-9,53E-05	-9,54E-05	9,54E-05
81	5,50	1275,87	2,49E-03	1,53E-04	6,90E-05	7,63E-03	3,27E-04	2,92E-03	4,99E-12	3,72E-02	6,26E-04	2,96E-04	1,85E-04	-8,81E-05	7,28E-05	-9,76E-09	4,41E-05	-2,87E-05	-2,87E-05	2,87E-05
90	4,59	1211,50	2,19E-03	1,34E-04	6,06E-05	6,71E-03	2,87E-04	2,56E-03	1,74E-12	3,27E-02	5,50E-04	2,60E-04	1,62E-04	-2,66E-05	2,30E-05	-3,03E-09	1,33E-05	-9,67E-06	-9,67E-06	9,67E-06
99	3,94	1159,64	1,96E-03	1,20E-04	5,43E-05	6,01E-03	2,58E-04	2,30E-03	6,89E-13	2,93E-02	4,93E-04	2,33E-04	1,46E-04	-9,32E-06	8,34E-06	-1,05E-09	4,66E-06	-3,68E-06	-3,68E-06	3,68E-06
108	3,46	1117,87	1,79E-03	1,10E-04	4,96E-05	5,49E-03	2,35E-04	2,10E-03	3,08E-13	2,67E-02	4,50E-04	2,12E-04	1,33E-04	-3,76E-06	3,46E-06	-4,08E-10	1,88E-06	-1,58E-06	-1,58E-06	1,58E-06
117	3,11	1084,34	1,66E-03	1,02E-04	4,59E-05	5,08E-03	2,18E-04	1,94E-03	1,55E-13	2,48E-02	4,17E-04	1,97E-04	1,23E-04	-1,73E-06	1,64E-06	-1,74E-10	8,68E-07	-7,69E-07	-7,69E-07	7,69E-07
126	2,85	1057,60	1,56E-03	9,57E-05	4,32E-05	4,78E-03	2,05E-04	1,82E-03	8,73E-14	2,33E-02	3,92E-04	1,85E-04	1,16E-04	-9,08E-07	8,72E-07	-8,15E-11	4,54E-07	-4,19E-07	-4,19E-07	4,19E-07
135	2,66	1036,57	1,48E-03	9,10E-05	4,10E-05	4,54E-03	1,95E-04	1,74E-03	5,44E-14	2,21E-02	3,72E-04	1,76E-04	1,10E-04	-5,34E-07	5,21E-07	-4,12E-11	2,67E-07	-2,54E-07	-2,54E-07	2,54E-07
144	2,52	1020,37	1,43E-03	8,75E-05	3,95E-05	4,37E-03	1,87E-04	1,67E-03	3,74E-14	2,13E-02	3,58E-04	1,69E-04	1,06E-04	-3,50E-07	3,46E-07	-2,21E-11	1,75E-07	-1,70E-07	-1,70E-07	1,70E-07
153	2,42	1008,38	1,39E-03	8,50E-05	3,83E-05	4,24E-03	1,82E-04	1,62E-03	2,81E-14	2,06E-02	3,48E-04	1,64E-04	1,03E-04	-2,55E-07	2,53E-07	-1,22E-11	1,27E-07	-1,26E-07	-1,26E-07	1,26E-07
162	2,35	1000,13	1,36E-03	8,32E-05	3,75E-05	4,15E-03	1,78E-04	1,59E-03	2,30E-14	2,02E-02	3,41E-04	1,61E-04	1,01E-04	-2,04E-07	2,04E-07	-6,56E-12	1,02E-07	-1,02E-07	-1,02E-07	1,02E-07
171	2,31	995,30	1,34E-03	8,22E-05	3,71E-05	4,10E-03	1,76E-04	1,57E-03	2,04E-14	2,00E-02	3,36E-04	1,59E-04	9,94E-05	-1,78E-07	1,79E-07	-2,89E-12	8,91E-08	-8,98E-08	-8,98E-08	8,98E-08
180	2,29	993,71	1,34E-03	8,19E-05	3,69E-05	4,09E-03	1,75E-04	1,56E-03	1,97E-14	1,99E-02	3,35E-04	1,58E-04	9,90E-05	-1,71E-07	1,71E-07	-4,77E-16	8,53E-08	-8,61E-08	-8,61E-08	8,61E-08

Teste: Razão de expansão 13, 50% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0001	0,0000	0,0049	0,0007	0,0020	0,0000	0,0262	0,0000	0,0003	0,0000	0,0363	83,18	2771,30	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,5094	0,3335	0,1216	13,6221	1,8149	5,5168	0,0000	72,0622	0,1270	0,8638	0,0287	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,18	2771,30	1,99E-02	1,20E-03	4,39E-04	4,92E-02	6,55E-03	1,99E-02	0,0E+00	2,60E-01	4,59E-04	3,12E-03	1,04E-04	-1,28E+01	1,73E+01	5,45E+01	-2,08E+01	-3,81E+01	1,63E+01	-1,63E+01
9	73,17	2671,62	1,81E-02	1,10E-03	4,00E-04	4,49E-02	5,70E-03	1,83E-02	5,92E-08	2,38E-01	4,11E-04	2,84E-03	1,02E-04	-1,53E+00	7,74E-01	-8,83E-05	7,67E-01	-6,67E-03	-6,76E-03	6,76E-03
18	53,00	2436,46	1,44E-02	8,73E-04	3,18E-04	3,56E-02	3,87E-03	1,49E-02	1,75E-08	1,89E-01	3,23E-04	2,25E-03	8,42E-05	-1,14E+00	5,78E-01	-4,23E-05	5,73E-01	-5,38E-03	-5,42E-03	5,42E-03
27	35,41	2171,33	1,08E-02	6,54E-04	2,38E-04	2,67E-02	2,61E-03	1,13E-02	3,64E-09	1,42E-01	2,41E-04	1,69E-03	6,47E-05	-3,33E-01	1,69E-01	-9,87E-06	1,67E-01	-2,60E-03	-2,61E-03	2,61E-03
36	23,60	1933,57	8,09E-03	4,90E-04	1,78E-04	2,00E-02	1,88E-03	8,50E-03	7,03E-10	1,06E-01	1,79E-04	1,26E-03	4,93E-05	-6,42E-02	3,38E-02	-1,92E-06	3,21E-02	-1,70E-03	-1,70E-03	1,70E-03
45	16,23	1737,58	6,19E-03	3,75E-04	1,37E-04	1,53E-02	1,43E-03	6,51E-03	1,41E-10	8,13E-02	1,37E-04	9,65E-04	3,83E-05	-1,09E-02	6,13E-03	-3,74E-07	5,46E-03	-6,71E-04	-6,71E-04	6,71E-04
54	11,65	1580,49	4,89E-03	2,96E-04	1,08E-04	1,21E-02	1,13E-03	5,14E-03	3,04E-11	6,41E-02	1,08E-04	7,61E-04	3,04E-05	-1,91E-03	1,15E-03	-7,70E-08	9,57E-04	-1,98E-04	-1,98E-04	1,98E-04
63	8,73	1455,34	3,97E-03	2,41E-04	8,77E-05	9,83E-03	9,15E-04	4,18E-03	7,27E-12	5,22E-02	8,76E-05	6,19E-04	2,48E-05	-3,72E-04	2,40E-04	-1,72E-08	1,86E-04	-5,38E-05	-5,38E-05	5,38E-05
72	6,81	1355,45	3,33E-03	2,01E-04	7,34E-05	8,23E-03	7,66E-04	3,50E-03	1,96E-12	4,37E-02	7,33E-05	5,18E-04	2,07E-05	-8,27E-05	5,65E-05	-4,26E-09	4,13E-05	-1,51E-05	-1,51E-05	1,51E-05
81	5,50	1275,41	2,86E-03	1,73E-04	6,31E-05	7,07E-03	6,58E-04	3,01E-03	5,97E-13	3,75E-02	6,30E-05	4,45E-04	1,78E-05	-2,13E-05	1,53E-05	-1,17E-09	1,07E-05	-4,62E-06	-4,62E-06	4,62E-06
90	4,59	1211,06	2,51E-03	1,52E-04	5,54E-05	6,21E-03	5,78E-04	2,64E-03	2,08E-13	3,30E-02	5,53E-05	3,91E-04	1,57E-05	-6,41E-06	4,78E-06	-3,63E-10	3,20E-06	-1,58E-06	-1,58E-06	1,58E-06
99	3,94	1159,22	2,25E-03	1,36E-04	4,97E-05	5,56E-03	5,18E-04	2,37E-03	8,19E-14	2,95E-02	4,96E-05	3,51E-04	1,40E-05	-2,23E-06	1,72E-06	-1,26E-10	1,12E-06	-6,05E-07	-6,05E-07	6,05E-07
108	3,46	1117,47	2,05E-03	1,24E-04	4,53E-05	5,08E-03	4,73E-04	2,16E-03	3,66E-14	2,70E-02	4,52E-05	3,20E-04	1,28E-05	-8,99E-07	7,12E-07	-4,85E-11	4,49E-07	-2,62E-07	-2,62E-07	2,62E-07
117	3,11	1083,95	1,90E-03	1,15E-04	4,20E-05	4,70E-03	4,38E-04	2,00E-03	1,84E-14	2,50E-02	4,19E-05	2,96E-04	1,19E-05	-4,14E-07	3,35E-07	-2,07E-11	2,07E-07	-1,28E-07	-1,28E-07	1,28E-07
126	2,85	1057,23	1,79E-03	1,08E-04	3,95E-05	4,42E-03	4,12E-04	1,88E-03	1,03E-14	2,35E-02	3,94E-05	2,78E-04	1,11E-05	-2,16E-07	1,78E-07	-9,68E-12	1,08E-07	-6,99E-08	-7,00E-08	7,00E-08
135	2,66	1036,20	1,70E-03	1,03E-04	3,75E-05	4,20E-03	3,92E-04	1,79E-03	6,44E-15	2,23E-02	3,75E-05	2,65E-04	1,06E-05	-1,27E-07	1,06E-07	-4,89E-12	6,36E-08	-4,26E-08	-4,26E-08	4,26E-08
144	2,52	1020,01	1,63E-03	9,90E-05	3,61E-05	4,04E-03	3,76E-04	1,72E-03	4,42E-15	2,15E-02	3,60E-05	2,55E-04	1,02E-05	-8,34E-08	7,03E-08	-2,62E-12	4,17E-08	-2,86E-08	-2,86E-08	2,86E-08
153	2,41	1008,02	1,59E-03	9,61E-05	3,50E-05	3,92E-03	3,65E-04	1,67E-03	3,32E-15	2,08E-02	3,50E-05	2,47E-04	9,90E-06	-6,05E-08	5,15E-08	-1,45E-12	3,03E-08	-2,12E-08	-2,12E-08	2,12E-08
162	2,35	999,77	1,55E-03	9,41E-05	3,43E-05	3,84E-03	3,58E-04	1,64E-03	2,72E-15	2,04E-02	3,43E-05	2,42E-04	9,69E-06	-4,84E-08	4,14E-08	-7,77E-13	2,42E-08	-1,72E-08	-1,72E-08	1,72E-08
171	2,31	994,95	1,54E-03	9,30E-05	3,39E-05	3,80E-03	3,54E-04	1,62E-03	2,42E-15	2,02E-02	3,38E-05	2,39E-04	9,58E-06	-4,24E-08	3,63E-08	-3,42E-13	2,12E-08	-1,51E-08	-1,51E-08	1,51E-08
180	2,29	993,36	1,53E-03	9,26E-05	3,38E-05	3,78E-03	3,52E-04	1,61E-03	2,32E-15	2,01E-02	3,37E-05	2,38E-04	9,54E-06	-4,05E-08	3,48E-08	-3,33E-17	2,03E-08	-1,45E-08	-1,45E-08	1,45E-08

Teste: Razão de expansão 13, 50% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0021	0,0001	0,0000	0,0048	0,0007	0,0020	0,0000	0,0264	0,0000	0,0003	0,0000	0,0365	83,17	2270,93	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,7562	0,3472	0,1172	13,1767	1,8198	5,5383	0,0000	72,2398	0,1271	0,8495	0,0282	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,17	2770,93	2,08E-02	1,25E-03	4,23E-04	4,76E-02	6,57E-03	2,00E-02	0,0E+00	2,61E-01	4,59E-04	3,07E-03	1,02E-04	-1,25E+01	1,73E+01	5,42E+01	-2,09E+01	-3,82E+01	1,61E+01	-1,61E+01
9	73,16	2671,26	1,90E-02	1,14E-03	3,86E-04	4,34E-02	5,72E-03	1,84E-02	5,91E-08	2,38E-01	4,11E-04	2,79E-03	1,00E-04	-1,54E+00	7,76E-01	-8,82E-05	7,69E-01	-6,58E-03	-6,67E-03	6,67E-03
18	52,99	2436,13	1,51E-02	9,08E-04	3,07E-04	3,45E-02	3,88E-03	1,49E-02	1,75E-08	1,89E-01	3,24E-04	2,21E-03	8,26E-05	-1,15E+00	5,79E-01	-4,23E-05	5,74E-01	-5,32E-03	-5,36E-03	5,36E-03
27	35,41	2171,04	1,13E-02	6,81E-04	2,30E-04	2,58E-02	2,62E-03	1,13E-02	3,63E-09	1,42E-01	2,41E-04	1,66E-03	6,35E-05	-3,34E-01	1,70E-01	-9,86E-06	1,67E-01	-2,58E-03	-2,59E-03	2,59E-03
36	23,60	1933,31	8,45E-03	5,10E-04	1,72E-04	1,93E-02	1,89E-03	8,53E-03	7,02E-10	1,06E-01	1,79E-04	1,24E-03	4,84E-05	-6,44E-02	3,39E-02	-1,92E-06	3,22E-02	-1,69E-03	-1,69E-03	1,69E-03
45	16,23	1737,35	6,47E-03	3,90E-04	1,32E-04	1,48E-02	1,43E-03	6,54E-03	1,41E-10	8,15E-02	1,37E-04	9,49E-04	3,76E-05	-1,10E-02	6,15E-03	-3,74E-07	5,48E-03	-6,66E-04	-6,66E-04	6,66E-04
54	11,65	1580,28	5,10E-03	3,08E-04	1,04E-04	1,17E-02	1,13E-03	5,16E-03	3,04E-11	6,43E-02	1,08E-04	7,48E-04	2,98E-05	-1,92E-03	1,16E-03	-7,70E-08	9,60E-04	-1,96E-04	-1,96E-04	1,96E-04
63	8,73	1455,14	4,15E-03	2,50E-04	8,45E-05	9,51E-03	9,18E-04	4,20E-03	7,28E-12	5,23E-02	8,77E-05	6,09E-04	2,43E-05	-3,73E-04	2,40E-04	-1,72E-08	1,87E-04	-5,34E-05	-5,34E-05	5,34E-05
72	6,81	1355,27	3,48E-03	2,10E-04	7,08E-05	7,96E-03	7,68E-04	3,51E-03	1,96E-12	4,38E-02	7,34E-05	5,10E-04	2,04E-05	-8,31E-05	5,65E-05	-4,26E-09	4,15E-05	-1,50E-05	-1,50E-05	1,50E-05
81	5,50	1275,24	2,99E-03	1,80E-04	6,08E-05	6,83E-03	6,60E-04	3,02E-03	5,99E-13	3,76E-02	6,30E-05	4,38E-04	1,75E-05	-2,14E-05	1,53E-05	-1,18E-09	1,07E-05	-4,59E-06	-4,59E-06	4,59E-06
90	4,59	1210,90	2,62E-03	1,58E-04	5,34E-05	6,01E-03	5,80E-04	2,65E-03	2,08E-13	3,30E-02	5,54E-05	3,85E-04	1,54E-05	-6,45E-06	4,79E-06	-3,64E-10	3,22E-06	-1,57E-06	-1,57E-06	1,57E-06
99	3,94	1159,07	2,35E-03	1,42E-04	4,79E-05	5,38E-03	5,20E-04	2,38E-03	8,22E-14	2,96E-02	4,97E-05	3,45E-04	1,38E-05	-2,25E-06	1,72E-06	-1,26E-10	1,12E-06	-6,01E-07	-6,01E-07	6,01E-07
108	3,46	1117,32	2,15E-03	1,29E-04	4,37E-05	4,91E-03	4,74E-04	2,17E-03	3,67E-14	2,70E-02	4,53E-05	3,15E-04	1,26E-05	-9,04E-07	7,13E-07	-4,87E-11	4,52E-07	-2,60E-07	-2,60E-07	2,60E-07
117	3,11	1083,80	1,99E-03	1,20E-04	4,05E-05	4,55E-03	4,39E-04	2,01E-03	1,85E-14	2,50E-02	4,20E-05	2,92E-04	1,17E-05	-4,17E-07	3,35E-07	-2,08E-11	2,08E-07	-1,27E-07	-1,27E-07	1,27E-07
126	2,85	1057,09	1,87E-03	1,13E-04	3,80E-05	4,28E-03	4,13E-04	1,89E-03	1,04E-14	2,35E-02	3,94E-05	2,74E-04	1,09E-05	-2,18E-07	1,78E-07	-9,71E-12	1,09E-07	-6,94E-08	-6,94E-08	6,94E-08
135	2,66	1036,06	1,78E-03	1,07E-04	3,62E-05	4,07E-03	3,93E-04	1,80E-03	6,47E-15	2,24E-02	3,75E-05	2,60E-04	1,04E-05	-1,28E-07	1,06E-07	-4,91E-12	6,40E-08	-4,22E-08	-4,22E-08	4,22E-08
144	2,52	1019,87	1,71E-03	1,03E-04	3,48E-05	3,91E-03	3,77E-04	1,73E-03	4,44E-15	2,15E-02	3,61E-05	2,50E-04	1,00E-05	-8,40E-08	7,04E-08	-2,63E-12	4,20E-08	-2,84E-08	-2,84E-08	2,84E-08
153	2,41	1007,89	1,66E-03	1,00E-04	3,38E-05	3,80E-03	3,66E-04	1,68E-03	3,34E-15	2,09E-02	3,50E-05	2,43E-04	9,72E-06	-6,10E-08	5,15E-08	-1,45E-12	3,05E-08	-2,10E-08	-2,10E-08	2,10E-08
162	2,35	999,64	1,62E-03	9,80E-05	3,31E-05	3,72E-03	3,59E-04	1,64E-03	2,73E-15	2,05E-02	3,43E-05	2,38E-04	9,52E-06	-4,87E-08	4,14E-08	-7,80E-13	2,44E-08	-1,70E-08	-1,70E-08	1,70E-08
171	2,31	994,81	1,60E-03	9,68E-05	3,27E-05	3,67E-03	3,55E-04	1,62E-03	2,43E-15	2,02E-02	3,39E-05	2,35E-04	9,41E-06	-4,27E-08	3,64E-08	-3,43E-13	2,13E-08	-1,50E-08	-1,50E-08	1,50E-08
180	2,29	993,23	1,60E-03	9,64E-05	3,25E-05	3,66E-03	3,53E-04	1,62E-03	2,33E-15	2,01E-02	3,38E-05	2,34E-04	9,37E-06	-4,08E-08	3,48E-08	-3,37E-17	2,04E-08	-1,44E-08	-1,44E-08	1,44E-08

Teste: Razão de expansão 13, 50% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0022	0,0001	0,0000	0,0047	0,0007	0,0020	0,0000	0,0265	0,0000	0,0003	0,0000	0,0366	83,16	2770,61	1,40	13	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,9641	0,3586	0,1135	12,8019	1,8238	5,5565	0,0000	72,3893	0,1272	0,8374	0,0277	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,16	2770,61	2,15E-02	1,29E-03	4,10E-04	4,62E-02	6,58E-03	2,01E-02	0,0E+00	2,61E-01	4,59E-04	3,02E-03	9,99E-05	-1,23E+01	1,74E+01	5,40E+01	-2,09E+01	-3,82E+01	1,58E+01	-1,58E+01
9	73,15	2670,95	1,96E-02	1,18E-03	3,74E-04	4,22E-02	5,73E-03	1,84E-02	5,91E-08	2,39E-01	4,12E-04	2,75E-03	9,85E-05	-1,54E+00	7,77E-01	-8,81E-05	7,71E-01	-6,50E-03	-6,59E-03	6,59E-03
18	52,99	2435,85	1,56E-02	9,38E-04	2,97E-04	3,35E-02	3,89E-03	1,50E-02	1,75E-08	1,90E-01	3,24E-04	2,18E-03	8,13E-05	-1,15E+00	5,80E-01	-4,22E-05	5,75E-01	-5,26E-03	-5,31E-03	5,31E-03
27	35,40	2170,79	1,17E-02	7,04E-04	2,23E-04	2,51E-02	2,62E-03	1,14E-02	3,63E-09	1,42E-01	2,41E-04	1,63E-03	6,25E-05	-3,35E-01	1,70E-01	-9,85E-06	1,67E-01	-2,56E-03	-2,57E-03	2,57E-03
36	23,59	1933,09	8,75E-03	5,26E-04	1,67E-04	1,88E-02	1,89E-03	8,56E-03	7,02E-10	1,07E-01	1,80E-04	1,22E-03	4,77E-05	-6,45E-02	3,39E-02	-1,92E-06	3,23E-02	-1,68E-03	-1,68E-03	1,68E-03
45	16,23	1737,14	6,70E-03	4,03E-04	1,28E-04	1,44E-02	1,44E-03	6,56E-03	1,41E-10	8,17E-02	1,37E-04	9,35E-04	3,70E-05	-1,10E-02	6,16E-03	-3,74E-07	5,49E-03	-6,62E-04	-6,62E-04	6,62E-04
54	11,65	1580,09	5,29E-03	3,18E-04	1,01E-04	1,14E-02	1,13E-03	5,17E-03	3,04E-11	6,44E-02	1,08E-04	7,38E-04	2,94E-05	-1,93E-03	1,16E-03	-7,71E-08	9,63E-04	-1,95E-04	-1,95E-04	1,95E-04
63	8,73	1454,97	4,30E-03	2,59E-04	8,19E-05	9,24E-03	9,20E-04	4,21E-03	7,28E-12	5,24E-02	8,78E-05	6,00E-04	2,39E-05	-3,74E-04	2,40E-04	-1,73E-08	1,87E-04	-5,31E-05	-5,31E-05	5,31E-05
72	6,80	1355,11	3,60E-03	2,17E-04	6,86E-05	7,73E-03	7,70E-04	3,52E-03	1,96E-12	4,39E-02	7,35E-05	5,02E-04	2,00E-05	-8,34E-05	5,66E-05	-4,27E-09	4,17E-05	-1,49E-05	-1,49E-05	1,49E-05
81	5,50	1275,10	3,09E-03	1,86E-04	5,89E-05	6,64E-03	6,61E-04	3,03E-03	6,00E-13	3,77E-02	6,31E-05	4,31E-04	1,72E-05	-2,15E-05	1,53E-05	-1,18E-09	1,08E-05	-4,56E-06	-4,56E-06	4,56E-06
90	4,59	1210,76	2,72E-03	1,63E-04	5,17E-05	5,83E-03	5,81E-04	2,66E-03	2,09E-13	3,31E-02	5,55E-05	3,79E-04	1,51E-05	-6,48E-06	4,79E-06	-3,65E-10	3,24E-06	-1,55E-06	-1,56E-06	1,56E-06
99	3,94	1158,93	2,44E-03	1,47E-04	4,64E-05	5,23E-03	5,21E-04	2,38E-03	8,24E-14	2,97E-02	4,97E-05	3,40E-04	1,36E-05	-2,26E-06	1,73E-06	-1,26E-10	1,13E-06	-5,97E-07	-5,97E-07	5,97E-07
108	3,46	1117,19	2,22E-03	1,34E-04	4,23E-05	4,77E-03	4,75E-04	2,18E-03	3,69E-14	2,71E-02	4,54E-05	3,10E-04	1,24E-05	-9,09E-07	7,13E-07	-4,88E-11	4,55E-07	-2,59E-07	-2,59E-07	2,59E-07
117	3,11	1083,68	2,06E-03	1,24E-04	3,92E-05	4,42E-03	4,40E-04	2,02E-03	1,85E-14	2,51E-02	4,20E-05	2,87E-04	1,15E-05	-4,19E-07	3,36E-07	-2,08E-11	2,09E-07	-1,26E-07	-1,26E-07	1,26E-07
126	2,85	1056,96	1,94E-03	1,16E-04	3,68E-05	4,15E-03	4,14E-04	1,89E-03	1,04E-14	2,36E-02	3,95E-05	2,70E-04	1,08E-05	-2,19E-07	1,78E-07	-9,74E-12	1,09E-07	-6,90E-08	-6,90E-08	6,90E-08
135	2,66	1035,94	1,84E-03	1,11E-04	3,50E-05	3,95E-03	3,93E-04	1,80E-03	6,49E-15	2,24E-02	3,76E-05	2,57E-04	1,02E-05	-1,29E-07	1,06E-07	-4,92E-12	6,44E-08	-4,20E-08	-4,20E-08	4,20E-08
144	2,52	1019,75	1,77E-03	1,06E-04	3,37E-05	3,80E-03	3,78E-04	1,73E-03	4,46E-15	2,16E-02	3,61E-05	2,47E-04	9,85E-06	-8,44E-08	7,05E-08	-2,64E-12	4,22E-08	-2,82E-08	-2,82E-08	2,82E-08
153	2,41	1007,77	1,72E-03	1,03E-04	3,27E-05	3,69E-03	3,67E-04	1,68E-03	3,35E-15	2,09E-02	3,51E-05	2,40E-04	9,57E-06	-6,13E-08	5,16E-08	-1,46E-12	3,07E-08	-2,09E-08	-2,09E-08	2,09E-08
162	2,35	999,53	1,68E-03	1,01E-04	3,20E-05	3,61E-03	3,60E-04	1,65E-03	2,74E-15	2,05E-02	3,43E-05	2,35E-04	9,37E-06	-4,90E-08	4,14E-08	-7,83E-13	2,45E-08	-1,69E-08	-1,69E-08	1,69E-08
171	2,31	994,70	1,66E-03	1,00E-04	3,16E-05	3,57E-03	3,55E-04	1,63E-03	2,44E-15	2,03E-02	3,39E-05	2,32E-04	9,26E-06	-4,29E-08	3,64E-08	-3,44E-13	2,15E-08	-1,49E-08	-1,49E-08	1,49E-08
180	2,29	993,11	1,66E-03	9,96E-05	3,15E-05	3,55E-03	3,54E-04	1,62E-03	2,34E-15	2,02E-02	3,38E-05	2,31E-04	9,22E-06	-4,11E-08	3,49E-08	-3,40E-17	2,05E-08	-1,43E-08	-1,43E-08	1,43E-08

Teste: Razão de expansão 13, 50% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0002	0,0003	0,0013	0,0083	0,0005	0,0003	0,0056	0,0181	0,0001	0,0010	0,0003	0,036101	103,01	3431,69	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,5922	0,7635	3,7148	22,9456	1,3297	0,9511	15,4587	50,2263	0,3996	2,6561	0,9625	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	103,01	3431,69	2,14E-03	2,76E-03	1,34E-02	8,28E-02	4,80E-03	3,43E-03	5,58E-02	1,81E-01	1,44E-03	9,59E-03	3,47E-03	2,74E+07	-3,03E+06	-4,53E+07	8,99E+06	1,20E+07	-3,33E+07	3,33E+07
9	88,80	3289,15	1,92E-03	2,48E-03	1,21E-02	7,45E-02	7,53E-06	1,07E-08	2,25E-02	1,79E-01	2,04E-02	6,18E-09	1,17E-02	-1,45E-02	-2,83E-05	-1,46E-02	1,45E-02	1,45E-02	-1,92E-05	1,92E-05
18	61,64	2963,41	1,48E-03	1,91E-03	9,29E-03	5,74E-02	1,63E-06	1,35E-09	1,73E-02	1,38E-01	1,57E-02	5,99E-10	9,05E-03	-5,21E-03	-5,99E-06	-5,23E-03	5,22E-03	5,23E-03	-3,10E-06	3,10E-06
27	39,58	2611,01	1,08E-03	1,39E-03	6,77E-03	4,18E-02	2,11E-07	8,39E-11	1,26E-02	1,01E-01	1,15E-02	2,59E-11	6,60E-03	-8,03E-04	-4,46E-07	-8,04E-04	8,03E-04	8,04E-04	-1,60E-07	1,60E-07
36	25,61	2305,69	7,91E-04	1,02E-03	4,96E-03	3,07E-02	2,26E-08	3,96E-12	9,24E-03	7,37E-02	8,40E-03	8,15E-13	4,83E-03	-9,01E-05	-2,22E-08	-9,01E-05	9,01E-05	9,01E-05	-5,28E-09	5,28E-09
45	17,27	2060,12	5,97E-04	7,70E-04	3,74E-03	2,31E-02	2,40E-09	1,82E-13	6,97E-03	5,56E-02	6,34E-03	2,49E-14	3,65E-03	-9,44E-06	-1,01E-09	-9,45E-06	9,45E-06	9,45E-06	-1,60E-10	1,60E-10
54	12,22	1866,56	4,67E-04	6,01E-04	2,93E-03	1,81E-02	2,78E-10	9,37E-15	5,45E-03	4,35E-02	4,95E-03	8,55E-16	2,85E-03	-1,04E-06	-4,98E-11	-1,04E-06	1,04E-06	1,04E-06	-5,24E-12	5,24E-12
63	9,07	1714,12	3,77E-04	4,86E-04	2,36E-03	1,46E-02	3,68E-11	5,76E-16	4,40E-03	3,51E-02	4,00E-03	3,59E-17	2,30E-03	-1,29E-07	-2,86E-12	-1,29E-07	1,29E-07	1,29E-07	-2,06E-13	2,06E-13
72	7,03	1593,42	3,14E-04	4,05E-04	1,97E-03	1,22E-02	5,73E-12	4,39E-17	3,67E-03	2,93E-02	3,33E-03	1,93E-18	1,92E-03	-1,85E-08	-2,01E-13	-1,85E-08	1,85E-08	1,85E-08	-1,02E-14	1,02E-14
81	5,65	1497,27	2,69E-04	3,47E-04	1,69E-03	1,04E-02	1,06E-12	4,25E-18	3,14E-03	2,50E-02	2,85E-03	1,35E-19	1,64E-03	-3,10E-09	-1,76E-14	-3,10E-09	3,10E-09	3,10E-09	-6,45E-16	6,45E-16
90	4,70	1420,28	2,36E-04	3,04E-04	1,48E-03	9,13E-03	2,36E-13	5,26E-19	2,75E-03	2,19E-02	2,50E-03	1,25E-20	1,44E-03	-6,13E-10	-1,94E-15	-6,13E-10	6,13E-10	6,13E-10	-5,33E-17	5,33E-17
99	4,02	1358,45	2,11E-04	2,72E-04	1,32E-03	8,17E-03	6,26E-14	8,32E-20	2,46E-03	1,96E-02	2,24E-03	1,54E-21	1,29E-03	-1,43E-10	-2,70E-16	-1,43E-10	1,43E-10	1,43E-10	-5,73E-18	5,73E-18
108	3,53	1308,77	1,92E-04	2,48E-04	1,20E-03	7,44E-03	1,97E-14	1,67E-20	2,24E-03	1,79E-02	2,04E-03	2,47E-22	1,17E-03	-3,90E-11	-4,69E-17	-3,90E-11	3,90E-11	3,90E-11	-7,97E-19	7,97E-19
117	3,17	1268,95	1,78E-04	2,29E-04	1,12E-03	6,89E-03	7,36E-15	4,24E-21	2,08E-03	1,66E-02	1,89E-03	5,17E-23	1,09E-03	-1,23E-11	-1,01E-17	-1,23E-11	1,23E-11	1,23E-11	-1,42E-19	1,42E-19
126	2,90	1237,25	1,67E-04	2,15E-04	1,05E-03	6,47E-03	3,21E-15	1,33E-21	1,95E-03	1,55E-02	1,77E-03	1,39E-23	1,02E-03	-4,49E-12	-2,65E-18	-4,49E-12	4,49E-12	4,49E-12	-3,16E-20	3,16E-20
135	2,70	1212,33	1,59E-04	2,04E-04	9,95E-04	6,14E-03	1,62E-15	5,16E-22	1,85E-03	1,48E-02	1,68E-03	4,70E-24	9,69E-04	-1,84E-12	-8,32E-19	-1,84E-12	1,84E-12	1,84E-12	-8,70E-21	8,70E-21
144	2,55	1193,16	1,52E-04	1,96E-04	9,56E-04	5,90E-03	9,44E-16	2,42E-22	1,78E-03	1,42E-02	1,62E-03	1,98E-24	9,31E-04	-8,36E-13	-3,05E-19	-8,36E-13	8,36E-13	8,36E-13	-2,87E-21	2,87E-21
153	2,45	1178,98	1,48E-04	1,91E-04	9,28E-04	5,73E-03	6,25E-16	1,36E-22	1,73E-03	1,38E-02	1,57E-03	1,03E-24	9,04E-04	-4,07E-13	-1,26E-19	-4,07E-13	4,07E-13	4,07E-13	-1,09E-21	1,09E-21
162	2,38	1169,23	1,45E-04	1,87E-04	9,09E-04	5,61E-03	4,68E-16	9,09E-23	1,69E-03	1,35E-02	1,54E-03	6,50E-25	8,85E-04	-2,00E-13	-5,54E-20	-2,00E-13	2,00E-13	2,00E-13	-4,54E-22	4,54E-22
171	2,34	1163,52	1,43E-04	1,84E-04	8,98E-04	5,54E-03	3,94E-16	7,16E-23	1,67E-03	1,33E-02	1,52E-03	4,95E-25	8,74E-04	-8,35E-14	-2,16E-20	-8,35E-14	8,35E-14	8,35E-14	-1,71E-22	1,71E-22
180	2,32	1161,64	1,43E-04	1,84E-04	8,94E-04	5,52E-03	3,72E-16	6,61E-23	1,66E-03	1,33E-02	1,51E-03	4,52E-25	8,71E-04	-3,60E-18	-6,47E-23	-3,60E-18	3,60E-18	3,60E-18	-8,26E-27	8,26E-27

Teste: Razão de expansão 15, 0% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0007	0,0009	0,0012	0,0073	0,0006	0,0004	0,0019	0,0216	0,0002	0,0010	0,0004	0,036101	104,49	3481,01	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	1,8392	2,3757	3,2390	20,1205	1,7227	1,2249	5,1601	59,9499	0,5087	2,8631	0,9963	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	104,49	3481,01	6,64E-03	8,58E-03	1,17E-02	7,26E-02	6,22E-03	4,42E-03	1,86E-02	2,16E-01	1,84E-03	1,03E-02	3,60E-03	9,46E+06	-1,35E+06	-1,73E+07	3,90E+06	5,24E+06	-1,20E+07	1,20E+07
9	90,07	3336,42	5,97E-03	7,71E-03	1,05E-02	6,53E-02	4,40E-03	2,92E-03	2,94E-05	2,04E-01	1,17E-02	2,59E-03	9,94E-03	-1,61E+00	9,09E-01	-4,38E-02	8,25E-01	-8,38E-02	-1,28E-01	1,28E-01
18	62,53	3006,00	4,60E-03	5,94E-03	8,10E-03	5,03E-02	2,61E-03	2,72E-03	8,38E-06	1,57E-01	8,91E-03	1,90E-03	7,75E-03	-1,72E+00	1,13E+00	-2,05E-02	8,71E-01	-2,58E-01	-2,78E-01	2,78E-01
27	40,14	2648,54	3,35E-03	4,33E-03	5,90E-03	3,67E-02	1,31E-03	2,41E-03	1,60E-06	1,15E-01	6,37E-03	1,26E-03	5,78E-03	-1,07E+00	8,27E-01	-4,61E-03	5,39E-01	-2,88E-01	-2,93E-01	2,93E-01
36	25,98	2338,83	2,46E-03	3,17E-03	4,33E-03	2,69E-02	6,36E-04	2,02E-03	2,71E-07	8,44E-02	4,57E-03	8,23E-04	4,33E-03	-4,93E-01	4,03E-01	-8,08E-04	2,47E-01	-1,56E-01	-1,57E-01	1,57E-01
45	17,52	2089,73	1,85E-03	2,39E-03	3,27E-03	2,03E-02	3,45E-04	1,63E-03	4,71E-08	6,37E-02	3,41E-03	5,82E-04	3,31E-03	-1,79E-01	1,32E-01	-1,34E-04	8,97E-02	-4,26E-02	-4,27E-02	4,27E-02
54	12,40	1893,39	1,45E-03	1,87E-03	2,55E-03	1,58E-02	2,24E-04	1,31E-03	9,55E-09	4,98E-02	2,66E-03	4,46E-04	2,59E-03	-5,45E-02	3,58E-02	-2,43E-05	2,72E-02	-8,55E-03	-8,57E-03	8,57E-03
63	9,20	1738,75	1,17E-03	1,51E-03	2,06E-03	1,28E-02	1,67E-04	1,07E-03	2,34E-09	4,03E-02	2,14E-03	3,58E-04	2,10E-03	-1,52E-02	9,67E-03	-5,25E-06	7,59E-03	-2,08E-03	-2,09E-03	2,09E-03
72	7,13	1616,33	9,75E-04	1,26E-03	1,72E-03	1,07E-02	1,36E-04	8,91E-04	6,76E-10	3,36E-02	1,79E-03	2,98E-04	1,75E-03	-4,29E-03	2,82E-03	-1,35E-06	2,15E-03	-6,72E-04	-6,73E-04	6,73E-04
81	5,73	1518,79	8,35E-04	1,08E-03	1,47E-03	9,13E-03	1,15E-04	7,63E-04	2,25E-10	2,87E-02	1,53E-03	2,55E-04	1,50E-03	-1,32E-03	9,13E-04	-4,01E-07	6,59E-04	-2,54E-04	-2,55E-04	2,55E-04
90	4,77	1440,69	7,32E-04	9,45E-04	1,29E-03	8,00E-03	1,00E-04	6,69E-04	8,53E-11	2,52E-02	1,34E-03	2,23E-04	1,31E-03	-4,51E-04	3,32E-04	-1,34E-07	2,26E-04	-1,06E-04	-1,06E-04	1,06E-04
99	4,08	1377,97	6,55E-04	8,46E-04	1,15E-03	7,16E-03	8,96E-05	5,99E-04	3,65E-11	2,25E-02	1,20E-03	2,00E-04	1,17E-03	-1,75E-04	1,36E-04	-5,03E-08	8,75E-05	-4,86E-05	-4,87E-05	4,87E-05
108	3,58	1327,58	5,96E-04	7,70E-04	1,05E-03	6,52E-03	8,16E-05	5,46E-04	1,75E-11	2,05E-02	1,09E-03	1,82E-04	1,07E-03	-7,67E-05	6,27E-05	-2,08E-08	3,84E-05	-2,44E-05	-2,44E-05	2,44E-05
117	3,21	1287,19	5,52E-04	7,13E-04	9,72E-04	6,04E-03	7,55E-05	5,05E-04	9,39E-12	1,90E-02	1,01E-03	1,68E-04	9,90E-04	-3,79E-05	3,24E-05	-9,46E-09	1,90E-05	-1,34E-05	-1,34E-05	1,34E-05
126	2,94	1255,04	5,18E-04	6,69E-04	9,13E-04	5,67E-03	7,09E-05	4,74E-04	5,56E-12	1,78E-02	9,49E-04	1,58E-04	9,29E-04	-2,10E-05	1,86E-05	-4,66E-09	1,05E-05	-8,08E-06	-8,08E-06	8,08E-06
135	2,74	1229,76	4,93E-04	6,36E-04	8,67E-04	5,39E-03	6,73E-05	4,51E-04	3,62E-12	1,69E-02	9,02E-04	1,50E-04	8,83E-04	-1,29E-05	1,18E-05	-2,46E-09	6,48E-06	-5,32E-06	-5,32E-06	5,32E-06
144	2,59	1210,31	4,73E-04	6,11E-04	8,34E-04	5,18E-03	6,47E-05	4,33E-04	2,57E-12	1,63E-02	8,66E-04	1,44E-04	8,49E-04	-8,81E-06	8,21E-06	-1,36E-09	4,41E-06	-3,81E-06	-3,81E-06	3,81E-06
153	2,48	1195,93	4,59E-04	5,93E-04	8,09E-04	5,03E-03	6,28E-05	4,20E-04	1,98E-12	1,58E-02	8,41E-04	1,40E-04	8,24E-04	-6,58E-06	6,24E-06	-7,72E-10	3,29E-06	-2,95E-06	-2,95E-06	2,95E-06
162	2,41	1186,03	4,50E-04	5,81E-04	7,92E-04	4,92E-03	6,15E-05	4,12E-04	1,66E-12	1,55E-02	8,24E-04	1,37E-04	8,07E-04	-5,37E-06	5,15E-06	-4,23E-10	2,68E-06	-2,47E-06	-2,47E-06	2,47E-06
171	2,37	1180,24	4,44E-04	5,74E-04	7,83E-04	4,86E-03	6,08E-05	4,07E-04	1,49E-12	1,53E-02	8,14E-04	1,36E-04	7,97E-04	-4,75E-06	4,59E-06	-1,88E-10	2,38E-06	-2,22E-06	-2,22E-06	2,22E-06
180	2,36	1178,33	4,43E-04	5,72E-04	7,80E-04	4,84E-03	6,05E-05	4,05E-04	1,43E-12	1,52E-02	8,10E-04	1,35E-04	7,94E-04	-4,57E-06	4,42E-06	-1,12E-13	2,28E-06	-2,14E-06	-2,14E-06	2,14E-06

Teste: Razão de expansão 15, 0% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0011	0,0015	0,0010	0,0061	0,0008	0,0006	0,0000	0,0243	0,0002	0,0011	0,0004	0,037197	106,08	3534,03	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,0434	4,0315	2,7039	16,5303	2,0962	1,5132	0,0000	65,4563	0,6440	2,9595	1,0217	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	106,08	3534,03	1,10E-02	1,46E-02	9,76E-03	5,97E-02	7,57E-03	5,46E-03	0,0E+00	2,36E-01	2,32E-03	1,07E-02	3,69E-03	-3,30E+03	6,53E+02	7,11E+03	-1,90E+03	-2,56E+03	4,55E+03	-4,55E+03
9	91,44	3387,24	9,88E-03	1,31E-02	8,78E-03	5,37E-02	6,33E-03	5,23E-03	4,37E-06	2,13E-01	2,01E-03	9,53E-03	3,39E-03	-2,40E+00	1,32E+00	-6,67E-03	1,20E+00	-1,21E-01	-1,28E-01	1,28E-01
18	63,48	3051,78	7,61E-03	1,01E-02	6,76E-03	4,14E-02	3,74E-03	4,67E-03	1,23E-06	1,65E-01	1,47E-03	7,27E-03	2,69E-03	-2,46E+00	1,44E+00	-3,11E-03	1,23E+00	-2,11E-01	-2,14E-01	2,14E-01
27	40,76	2688,88	5,55E-03	7,35E-03	4,93E-03	3,01E-02	1,92E-03	3,89E-03	2,30E-07	1,20E-01	9,92E-04	5,21E-03	2,04E-03	-1,35E+00	8,22E-01	-6,77E-04	6,74E-01	-1,48E-01	-1,48E-01	1,48E-01
36	26,37	2374,45	4,07E-03	5,39E-03	3,61E-03	2,21E-02	1,04E-03	3,07E-03	3,94E-08	8,83E-02	6,90E-04	3,78E-03	1,53E-03	-4,93E-01	2,85E-01	-1,14E-04	2,47E-01	-3,82E-02	-3,83E-02	3,83E-02
45	17,78	2121,55	3,07E-03	4,06E-03	2,73E-03	1,67E-02	6,63E-04	2,39E-03	7,56E-09	6,67E-02	5,14E-04	2,85E-03	1,17E-03	-1,39E-01	7,44E-02	-1,99E-05	6,95E-02	-4,87E-03	-4,89E-03	4,89E-03
54	12,59	1922,22	2,40E-03	3,18E-03	2,13E-03	1,30E-02	4,85E-04	1,88E-03	1,71E-09	5,21E-02	4,01E-04	2,22E-03	9,11E-04	-3,44E-02	1,83E-02	-4,07E-06	1,72E-02	-1,14E-03	-1,14E-03	1,14E-03
63	9,34	1765,24	1,94E-03	2,57E-03	1,72E-03	1,05E-02	3,84E-04	1,52E-03	4,47E-10	4,21E-02	3,23E-04	1,80E-03	7,37E-04	-8,46E-03	4,76E-03	-9,69E-07	4,23E-03	-5,30E-04	-5,31E-04	5,31E-04
72	7,24	1640,94	1,61E-03	2,14E-03	1,43E-03	8,77E-03	3,18E-04	1,27E-03	1,33E-10	3,51E-02	2,69E-04	1,50E-03	6,14E-04	-2,24E-03	1,36E-03	-2,62E-07	1,12E-03	-2,42E-04	-2,42E-04	2,42E-04
81	5,82	1541,92	1,38E-03	1,83E-03	1,23E-03	7,50E-03	2,71E-04	1,09E-03	4,47E-11	3,01E-02	2,30E-04	1,28E-03	5,26E-04	-6,61E-04	4,36E-04	-7,94E-08	3,31E-04	-1,05E-04	-1,06E-04	1,06E-04
90	4,84	1462,64	1,21E-03	1,60E-03	1,08E-03	6,58E-03	2,38E-04	9,54E-04	1,70E-11	2,63E-02	2,02E-04	1,12E-03	4,61E-04	-2,22E-04	1,58E-04	-2,68E-08	1,11E-04	-4,71E-05	-4,71E-05	4,71E-05
99	4,14	1398,96	1,08E-03	1,43E-03	9,62E-04	5,88E-03	2,13E-04	8,54E-04	7,27E-12	2,36E-02	1,81E-04	1,00E-03	4,12E-04	-8,48E-05	6,47E-05	-1,01E-08	4,24E-05	-2,23E-05	-2,23E-05	2,23E-05
108	3,63	1347,80	9,87E-04	1,31E-03	8,77E-04	5,36E-03	1,94E-04	7,78E-04	3,49E-12	2,15E-02	1,65E-04	9,15E-04	3,76E-04	-3,69E-05	2,99E-05	-4,16E-09	1,84E-05	-1,14E-05	-1,14E-05	1,14E-05
117	3,26	1306,80	9,14E-04	1,21E-03	8,12E-04	4,96E-03	1,79E-04	7,20E-04	1,86E-12	1,99E-02	1,52E-04	8,47E-04	3,48E-04	-1,81E-05	1,55E-05	-1,89E-09	9,06E-06	-6,40E-06	-6,40E-06	6,40E-06
126	2,99	1274,15	8,58E-04	1,14E-03	7,62E-04	4,66E-03	1,68E-04	6,76E-04	1,10E-12	1,87E-02	1,43E-04	7,95E-04	3,26E-04	-9,99E-06	8,90E-06	-9,28E-10	5,00E-06	-3,90E-06	-3,90E-06	3,90E-06
135	2,78	1248,49	8,15E-04	1,08E-03	7,24E-04	4,43E-03	1,60E-04	6,43E-04	7,14E-13	1,77E-02	1,36E-04	7,56E-04	3,10E-04	-6,13E-06	5,66E-06	-4,88E-10	3,07E-06	-2,59E-06	-2,59E-06	2,59E-06
144	2,63	1228,75	7,83E-04	1,04E-03	6,96E-04	4,25E-03	1,54E-04	6,17E-04	5,07E-13	1,70E-02	1,31E-04	7,26E-04	2,98E-04	-4,16E-06	3,95E-06	-2,70E-10	2,08E-06	-1,87E-06	-1,87E-06	1,87E-06
153	2,52	1214,14	7,60E-04	1,01E-03	6,75E-04	4,13E-03	1,49E-04	5,99E-04	3,90E-13	1,65E-02	1,27E-04	7,05E-04	2,89E-04	-3,10E-06	3,01E-06	-1,53E-10	1,55E-06	-1,45E-06	-1,45E-06	1,45E-06
162	2,45	1204,09	7,44E-04	9,86E-04	6,61E-04	4,04E-03	1,46E-04	5,87E-04	3,25E-13	1,62E-02	1,24E-04	6,91E-04	2,83E-04	-2,53E-06	2,48E-06	-8,37E-11	1,26E-06	-1,22E-06	-1,22E-06	1,22E-06
171	2,41	1198,22	7,35E-04	9,74E-04	6,53E-04	3,99E-03	1,44E-04	5,80E-04	2,92E-13	1,60E-02	1,23E-04	6,82E-04	2,80E-04	-2,24E-06	2,22E-06	-3,72E-11	1,12E-06	-1,10E-06	-1,10E-06	1,10E-06
180	2,39	1196,28	7,32E-04	9,70E-04	6,51E-04	3,98E-03	1,44E-04	5,77E-04	2,82E-13	1,59E-02	1,22E-04	6,79E-04	2,79E-04	-2,15E-06	2,14E-06	-4,99E-15	1,07E-06	-1,06E-06	-1,06E-06	1,06E-06

Teste: Razão de expansão 15, 0% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0013	0,0018	0,0009	0,0057	0,0008	0,0006	0,0000	0,0250	0,0003	0,0011	0,0004	0,0380	106,69	3554,31	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,4314	4,6158	2,4936	15,0593	2,2119	1,6164	0,0000	65,8929	0,6979	2,9570	1,0235	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	106,69	3454,31	1,27E-02	1,71E-02	9,26E-03	5,59E-02	8,22E-03	6,00E-03	0,0E+00	2,45E-01	2,59E-03	1,10E-02	3,80E-03	-3,30E+03	6,74E+02	6,73E+03	-1,71E+03	-2,39E+03	4,34E+03	-4,34E+03
9	91,97	3310,83	1,15E-02	1,54E-02	8,33E-03	5,03E-02	6,42E-03	6,00E-03	3,81E-06	2,21E-01	2,22E-03	9,77E-03	3,53E-03	-2,54E+00	1,43E+00	-5,96E-03	1,27E+00	-1,56E-01	-1,62E-01	1,62E-01
18	63,84	2982,94	8,83E-03	1,19E-02	6,42E-03	3,88E-02	3,75E-03	5,31E-03	1,05E-06	1,71E-01	1,62E-03	7,43E-03	2,81E-03	-2,55E+00	1,52E+00	-2,71E-03	1,28E+00	-2,48E-01	-2,51E-01	2,51E-01
27	40,99	2628,22	6,44E-03	8,66E-03	4,68E-03	2,82E-02	1,91E-03	4,38E-03	1,91E-07	1,25E-01	1,09E-03	5,32E-03	2,14E-03	-1,34E+00	8,31E-01	-5,73E-04	6,71E-01	-1,59E-01	-1,60E-01	1,60E-01
36	26,52	2320,89	4,72E-03	6,34E-03	3,43E-03	2,07E-02	1,04E-03	3,42E-03	3,21E-08	9,16E-02	7,57E-04	3,86E-03	1,61E-03	-4,67E-01	2,72E-01	-9,40E-05	2,34E-01	-3,84E-02	-3,85E-02	3,85E-02
45	17,88	2073,70	3,56E-03	4,79E-03	2,59E-03	1,56E-02	6,74E-04	2,65E-03	6,08E-09	6,92E-02	5,64E-04	2,91E-03	1,22E-03	-1,24E-01	6,79E-02	-1,62E-05	6,22E-02	-5,65E-03	-5,67E-03	5,67E-03
54	12,66	1878,86	2,78E-03	3,74E-03	2,02E-03	1,22E-02	4,98E-04	2,08E-03	1,35E-09	5,41E-02	4,40E-04	2,27E-03	9,55E-04	-2,93E-02	1,62E-02	-3,27E-06	1,47E-02	-1,54E-03	-1,54E-03	1,54E-03
63	9,40	1725,42	2,25E-03	3,02E-03	1,63E-03	9,86E-03	3,96E-04	1,69E-03	3,47E-10	4,37E-02	3,55E-04	1,83E-03	7,73E-04	-6,93E-03	4,09E-03	-7,67E-07	3,46E-03	-6,23E-04	-6,24E-04	6,24E-04
72	7,28	1603,93	1,87E-03	2,52E-03	1,36E-03	8,22E-03	3,28E-04	1,41E-03	1,01E-10	3,64E-02	2,96E-04	1,53E-03	6,44E-04	-1,78E-03	1,14E-03	-2,04E-07	8,88E-04	-2,52E-04	-2,52E-04	2,52E-04
81	5,85	1507,14	1,60E-03	2,16E-03	1,16E-03	7,03E-03	2,80E-04	1,20E-03	3,34E-11	3,12E-02	2,53E-04	1,31E-03	5,51E-04	-5,12E-04	3,58E-04	-6,05E-08	2,56E-04	-1,02E-04	-1,02E-04	1,02E-04
90	4,87	1429,64	1,40E-03	1,89E-03	1,02E-03	6,16E-03	2,46E-04	1,06E-03	1,25E-11	2,73E-02	2,22E-04	1,15E-03	4,83E-04	-1,68E-04	1,27E-04	-2,01E-08	8,40E-05	-4,31E-05	-4,31E-05	4,31E-05
99	4,16	1367,40	1,26E-03	1,69E-03	9,13E-04	5,52E-03	2,20E-04	9,45E-04	5,25E-12	2,44E-02	1,98E-04	1,03E-03	4,32E-04	-6,31E-05	5,12E-05	-7,42E-09	3,16E-05	-1,97E-05	-1,97E-05	1,97E-05
108	3,65	1317,40	1,14E-03	1,54E-03	8,32E-04	5,02E-03	2,00E-04	8,61E-04	2,48E-12	2,23E-02	1,81E-04	9,34E-04	3,94E-04	-2,70E-05	2,33E-05	-3,03E-09	1,35E-05	-9,81E-06	-9,81E-06	9,81E-06
117	3,28	1277,32	1,06E-03	1,43E-03	7,70E-04	4,65E-03	1,85E-04	7,97E-04	1,31E-12	2,06E-02	1,67E-04	8,65E-04	3,65E-04	-1,31E-05	1,19E-05	-1,36E-09	6,55E-06	-5,36E-06	-5,36E-06	5,36E-06
126	3,00	1245,41	9,95E-04	1,34E-03	7,23E-04	4,37E-03	1,74E-04	7,48E-04	7,66E-13	1,93E-02	1,57E-04	8,12E-04	3,42E-04	-7,15E-06	6,79E-06	-6,60E-10	3,58E-06	-3,22E-06	-3,22E-06	3,22E-06
135	2,80	1220,32	9,46E-04	1,27E-03	6,87E-04	4,15E-03	1,65E-04	7,11E-04	4,94E-13	1,84E-02	1,49E-04	7,72E-04	3,25E-04	-4,35E-06	4,28E-06	-3,45E-10	2,18E-06	-2,11E-06	-2,11E-06	2,11E-06
144	2,64	1201,03	9,09E-04	1,22E-03	6,60E-04	3,99E-03	1,59E-04	6,83E-04	3,48E-13	1,77E-02	1,43E-04	7,42E-04	3,13E-04	-2,93E-06	2,97E-06	-1,90E-10	1,47E-06	-1,50E-06	-1,50E-06	1,50E-06
153	2,54	1186,75	8,82E-04	1,19E-03	6,41E-04	3,87E-03	1,54E-04	6,63E-04	2,67E-13	1,71E-02	1,39E-04	7,20E-04	3,03E-04	-2,18E-06	2,25E-06	-1,07E-10	1,09E-06	-1,16E-06	-1,16E-06	1,16E-06
162	2,46	1176,93	8,64E-04	1,16E-03	6,28E-04	3,79E-03	1,51E-04	6,49E-04	2,22E-13	1,68E-02	1,36E-04	7,05E-04	2,97E-04	-1,76E-06	1,85E-06	-5,83E-11	8,83E-07	-9,70E-07	-9,70E-07	9,70E-07
171	2,42	1171,19	8,53E-04	1,15E-03	6,20E-04	3,74E-03	1,49E-04	6,41E-04	1,98E-13	1,66E-02	1,35E-04	6,96E-04	2,93E-04	-1,56E-06	1,65E-06	-2,58E-11	7,80E-07	-8,71E-07	-8,71E-07	8,71E-07
180	2,41	1169,30	8,50E-04	1,14E-03	6,18E-04	3,73E-03	1,48E-04	6,39E-04	1,91E-13	1,65E-02	1,34E-04	6,94E-04	2,92E-04	-1,50E-06	1,59E-06	-2,69E-15	7,48E-07	-8,41E-07	-8,41E-07	8,41E-07

Teste: Razão de expansão 15, 0% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0014	0,0019	0,0009	0,0056	0,0009	0,0006	0,0000	0,0253	0,0003	0,0011	0,0004	0,0383	106,92	3562,06	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,5712	4,8369	2,4185	14,5101	2,2567	1,6569	0,0000	66,0520	0,7186	2,9558	1,0234	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	106,92	3562,06	1,29E-02	1,75E-02	8,73E-03	5,24E-02	8,15E-03	5,98E-03	0,0E+00	2,38E-01	2,59E-03	1,07E-02	3,69E-03	-3,67E+03	8,28E+02	8,35E+03	-2,34E+03	-3,16E+03	5,18E+03	-5,18E+03
9	92,17	3414,10	1,16E-02	1,57E-02	7,85E-03	4,71E-02	6,82E-03	5,71E-03	5,00E-06	2,15E-01	2,25E-03	9,52E-03	3,40E-03	-2,57E+00	1,42E+00	-7,57E-03	1,29E+00	-1,32E-01	-1,39E-01	1,39E-01
18	63,98	3075,99	8,93E-03	1,21E-02	6,05E-03	3,63E-02	4,03E-03	5,10E-03	1,42E-06	1,66E-01	1,65E-03	7,25E-03	2,71E-03	-2,66E+00	1,56E+00	-3,56E-03	1,33E+00	-2,32E-01	-2,36E-01	2,36E-01
27	41,08	2710,20	6,51E-03	8,82E-03	4,41E-03	2,65E-02	2,06E-03	4,25E-03	2,69E-07	1,21E-01	1,11E-03	5,19E-03	2,07E-03	-1,48E+00	9,14E-01	-7,87E-04	7,40E-01	-1,74E-01	-1,75E-01	1,75E-01
36	26,58	2393,28	4,77E-03	6,46E-03	3,23E-03	1,94E-02	1,10E-03	3,36E-03	4,63E-08	8,92E-02	7,68E-04	3,76E-03	1,56E-03	-5,56E-01	3,30E-01	-1,34E-04	2,78E-01	-5,20E-02	-5,22E-02	5,22E-02
45	17,92	2138,38	3,60E-03	4,88E-03	2,44E-03	1,46E-02	6,92E-04	2,62E-03	8,89E-09	6,74E-02	5,69E-04	2,82E-03	1,19E-03	-1,61E-01	8,88E-02	-2,34E-05	8,05E-02	-8,33E-03	-8,35E-03	8,35E-03
54	12,69	1937,47	2,81E-03	3,81E-03	1,90E-03	1,14E-02	5,03E-04	2,07E-03	2,02E-09	5,27E-02	4,43E-04	2,21E-03	9,29E-04	-4,08E-02	2,23E-02	-4,77E-06	2,04E-02	-1,94E-03	-1,94E-03	1,94E-03
63	9,42	1779,24	2,27E-03	3,08E-03	1,54E-03	9,24E-03	3,97E-04	1,67E-03	5,30E-10	4,26E-02	3,57E-04	1,78E-03	7,52E-04	-1,02E-02	5,89E-03	-1,14E-06	5,11E-03	-7,75E-04	-7,76E-04	7,76E-04
72	7,29	1653,96	1,89E-03	2,57E-03	1,28E-03	7,70E-03	3,28E-04	1,40E-03	1,59E-10	3,55E-02	2,98E-04	1,48E-03	6,26E-04	-2,74E-03	1,70E-03	-3,11E-07	1,37E-03	-3,31E-04	-3,31E-04	3,31E-04
81	5,87	1554,15	1,62E-03	2,20E-03	1,10E-03	6,59E-03	2,80E-04	1,20E-03	5,39E-11	3,04E-02	2,55E-04	1,27E-03	5,36E-04	-8,20E-04	5,51E-04	-9,49E-08	4,10E-04	-1,41E-04	-1,41E-04	1,41E-04
90	4,88	1474,24	1,42E-03	1,92E-03	9,62E-04	5,77E-03	2,45E-04	1,05E-03	2,06E-11	2,66E-02	2,23E-04	1,11E-03	4,70E-04	-2,78E-04	2,01E-04	-3,23E-08	1,39E-04	-6,24E-05	-6,25E-05	6,25E-05
99	4,17	1410,06	1,27E-03	1,72E-03	8,61E-04	5,16E-03	2,19E-04	9,38E-04	8,89E-12	2,38E-02	2,00E-04	9,96E-04	4,21E-04	-1,07E-04	8,30E-05	-1,22E-08	5,35E-05	-2,95E-05	-2,95E-05	2,95E-05
108	3,66	1358,49	1,16E-03	1,57E-03	7,84E-04	4,71E-03	2,00E-04	8,55E-04	4,29E-12	2,17E-02	1,82E-04	9,07E-04	3,83E-04	-4,68E-05	3,85E-05	-5,07E-09	2,34E-05	-1,51E-05	-1,51E-05	1,51E-05
117	3,29	1317,16	1,07E-03	1,45E-03	7,26E-04	4,36E-03	1,85E-04	7,91E-04	2,30E-12	2,01E-02	1,68E-04	8,40E-04	3,55E-04	-2,31E-05	2,00E-05	-2,31E-09	1,16E-05	-8,46E-06	-8,46E-06	8,46E-06
126	3,01	1284,26	1,01E-03	1,36E-03	6,81E-04	4,09E-03	1,74E-04	7,43E-04	1,36E-12	1,88E-02	1,58E-04	7,88E-04	3,33E-04	-1,28E-05	1,16E-05	-1,14E-09	6,40E-06	-5,16E-06	-5,16E-06	5,16E-06
135	2,80	1258,39	9,56E-04	1,30E-03	6,48E-04	3,89E-03	1,65E-04	7,06E-04	8,89E-13	1,79E-02	1,50E-04	7,49E-04	3,16E-04	-7,89E-06	7,38E-06	-6,02E-10	3,95E-06	-3,43E-06	-3,43E-06	3,43E-06
144	2,65	1238,49	9,19E-04	1,24E-03	6,22E-04	3,73E-03	1,58E-04	6,78E-04	6,32E-13	1,72E-02	1,44E-04	7,20E-04	3,04E-04	-5,37E-06	5,16E-06	-3,34E-10	2,69E-06	-2,48E-06	-2,48E-06	2,48E-06
153	2,54	1223,77	8,92E-04	1,21E-03	6,04E-04	3,62E-03	1,54E-04	6,58E-04	4,88E-13	1,67E-02	1,40E-04	6,99E-04	2,95E-04	-4,01E-06	3,94E-06	-1,90E-10	2,01E-06	-1,93E-06	-1,93E-06	1,93E-06
162	2,47	1213,64	8,74E-04	1,18E-03	5,92E-04	3,55E-03	1,51E-04	6,45E-04	4,07E-13	1,64E-02	1,37E-04	6,84E-04	2,89E-04	-3,27E-06	3,26E-06	-1,04E-10	1,64E-06	-1,62E-06	-1,62E-06	1,62E-06
171	2,43	1207,72	8,63E-04	1,17E-03	5,84E-04	3,51E-03	1,49E-04	6,37E-04	3,66E-13	1,62E-02	1,35E-04	6,76E-04	2,86E-04	-2,90E-06	2,91E-06	-4,63E-11	1,45E-06	-1,46E-06	-1,46E-06	1,46E-06
180	2,41	1205,77	8,59E-04	1,16E-03	5,82E-04	3,49E-03	1,48E-04	6,34E-04	3,53E-13	1,61E-02	1,35E-04	6,73E-04	2,84E-04	-2,78E-06	2,80E-06	-7,14E-15	1,39E-06	-1,41E-06	-1,41E-06	1,41E-06

Teste: Razão de expansão 15, 0% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0014	0,0019	0,0009	0,0054	0,0009	0,0007	0,0000	0,0255	0,0003	0,0011	0,0004	0,0385	107,12	3568,68	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	3,6866	5,0253	2,3542	14,0499	2,2950	1,6915	0,0000	66,1859	0,7362	2,9528	1,0224	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	107,12	3568,68	1,33E-02	1,81E-02	8,50E-03	5,07E-02	8,29E-03	6,11E-03	0,0E+00	2,39E-01	2,66E-03	1,07E-02	3,69E-03	-3,76E+03	8,74E+02	8,65E+03	-2,45E+03	-3,32E+03	5,33E+03	-5,33E+03
9	92,34	3420,45	1,20E-02	1,63E-02	7,64E-03	4,56E-02	6,94E-03	5,83E-03	5,16E-06	2,15E-01	2,31E-03	9,51E-03	3,40E-03	-2,62E+00	1,45E+00	-7,79E-03	1,31E+00	-1,34E-01	-1,42E-01	1,42E-01
18	64,10	3081,70	9,22E-03	1,26E-02	5,89E-03	3,51E-02	4,10E-03	5,20E-03	1,47E-06	1,66E-01	1,69E-03	7,24E-03	2,71E-03	-2,70E+00	1,59E+00	-3,67E-03	1,35E+00	-2,37E-01	-2,40E-01	2,40E-01
27	41,16	2715,24	6,72E-03	9,16E-03	4,29E-03	2,56E-02	2,09E-03	4,33E-03	2,79E-07	1,22E-01	1,14E-03	5,18E-03	2,07E-03	-1,51E+00	9,36E-01	-8,14E-04	7,56E-01	-1,80E-01	-1,81E-01	1,81E-01
36	26,63	2397,73	4,92E-03	6,71E-03	3,14E-03	1,88E-02	1,11E-03	3,43E-03	4,81E-08	8,94E-02	7,86E-04	3,75E-03	1,56E-03	-5,71E-01	3,41E-01	-1,39E-04	2,86E-01	-5,55E-02	-5,56E-02	5,56E-02
45	17,96	2142,36	3,72E-03	5,07E-03	2,37E-03	1,42E-02	6,99E-04	2,67E-03	9,23E-09	6,75E-02	5,82E-04	2,82E-03	1,19E-03	-1,66E-01	9,25E-02	-2,43E-05	8,32E-02	-9,25E-03	-9,27E-03	9,27E-03
54	12,71	1941,07	2,90E-03	3,96E-03	1,85E-03	1,11E-02	5,07E-04	2,11E-03	2,09E-09	5,28E-02	4,53E-04	2,20E-03	9,32E-04	-4,24E-02	2,34E-02	-4,96E-06	2,12E-02	-2,15E-03	-2,16E-03	2,16E-03
63	9,43	1782,55	2,35E-03	3,20E-03	1,50E-03	8,94E-03	4,00E-04	1,71E-03	5,51E-10	4,27E-02	3,65E-04	1,78E-03	7,54E-04	-1,07E-02	6,18E-03	-1,19E-06	5,34E-03	-8,41E-04	-8,42E-04	8,42E-04
72	7,31	1657,03	1,96E-03	2,67E-03	1,25E-03	7,45E-03	3,30E-04	1,43E-03	1,66E-10	3,55E-02	3,04E-04	1,48E-03	6,29E-04	-2,87E-03	1,79E-03	-3,23E-07	1,44E-03	-3,55E-04	-3,55E-04	3,55E-04
81	5,88	1557,04	1,67E-03	2,28E-03	1,07E-03	6,38E-03	2,82E-04	1,22E-03	5,63E-11	3,04E-02	2,60E-04	1,27E-03	5,38E-04	-8,61E-04	5,82E-04	-9,89E-08	4,31E-04	-1,51E-04	-1,51E-04	1,51E-04
90	4,89	1476,98	1,47E-03	2,00E-03	9,37E-04	5,59E-03	2,47E-04	1,07E-03	2,16E-11	2,67E-02	2,28E-04	1,11E-03	4,72E-04	-2,92E-04	2,13E-04	-3,37E-08	1,46E-04	-6,66E-05	-6,66E-05	6,66E-05
99	4,18	1412,68	1,31E-03	1,79E-03	8,38E-04	5,00E-03	2,21E-04	9,58E-04	9,31E-12	2,39E-02	2,04E-04	9,93E-04	4,22E-04	-1,13E-04	8,79E-05	-1,27E-08	5,64E-05	-3,14E-05	-3,15E-05	3,15E-05
108	3,67	1361,01	1,20E-03	1,63E-03	7,63E-04	4,56E-03	2,01E-04	8,73E-04	4,49E-12	2,17E-02	1,86E-04	9,05E-04	3,84E-04	-4,94E-05	4,08E-05	-5,31E-09	2,47E-05	-1,61E-05	-1,61E-05	1,61E-05
117	3,29	1319,61	1,11E-03	1,51E-03	7,07E-04	4,22E-03	1,86E-04	8,08E-04	2,41E-12	2,01E-02	1,72E-04	8,37E-04	3,56E-04	-2,45E-05	2,12E-05	-2,42E-09	1,22E-05	-9,01E-06	-9,02E-06	9,02E-06
126	3,01	1286,64	1,04E-03	1,42E-03	6,63E-04	3,96E-03	1,75E-04	7,59E-04	1,43E-12	1,89E-02	1,61E-04	7,86E-04	3,34E-04	-1,36E-05	1,23E-05	-1,20E-09	6,78E-06	-5,50E-06	-5,51E-06	5,51E-06
135	2,81	1260,73	9,87E-04	1,35E-03	6,30E-04	3,76E-03	1,66E-04	7,21E-04	9,35E-13	1,79E-02	1,53E-04	7,47E-04	3,17E-04	-8,36E-06	7,84E-06	-6,32E-10	4,18E-06	-3,66E-06	-3,66E-06	3,66E-06
144	2,65	1240,79	9,49E-04	1,29E-03	6,06E-04	3,62E-03	1,60E-04	6,93E-04	6,66E-13	1,72E-02	1,47E-04	7,18E-04	3,05E-04	-5,70E-06	5,49E-06	-3,51E-10	2,85E-06	-2,64E-06	-2,64E-06	2,64E-06
153	2,55	1226,05	9,21E-04	1,26E-03	5,88E-04	3,51E-03	1,55E-04	6,72E-04	5,14E-13	1,67E-02	1,43E-04	6,97E-04	2,96E-04	-4,26E-06	4,19E-06	-1,99E-10	2,13E-06	-2,06E-06	-2,06E-06	2,06E-06
162	2,47	1215,90	9,02E-04	1,23E-03	5,76E-04	3,44E-03	1,52E-04	6,59E-04	4,29E-13	1,64E-02	1,40E-04	6,82E-04	2,90E-04	-3,47E-06	3,46E-06	-1,09E-10	1,74E-06	-1,73E-06	-1,73E-06	1,73E-06
171	2,43	1209,97	8,91E-04	1,21E-03	5,69E-04	3,40E-03	1,50E-04	6,51E-04	3,86E-13	1,62E-02	1,38E-04	6,74E-04	2,86E-04	-3,08E-06	3,10E-06	-4,86E-11	1,54E-06	-1,56E-06	-1,56E-06	1,56E-06
180	2,42	1208,01	8,87E-04	1,21E-03	5,67E-04	3,38E-03	1,49E-04	6,48E-04	3,72E-13	1,61E-02	1,38E-04	6,71E-04	2,85E-04	-2,96E-06	2,98E-06	-7,77E-15	1,48E-06	-1,51E-06	-1,51E-06	1,51E-06

Teste: Razão de expansão 15, 0% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0003	0,0001	0,0004	0,0082	0,0005	0,0008	0,0061	0,0188	0,0001	0,0007	0,0001	0,036101	93,68	3120,97	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,8755	0,3070	1,0644	22,7050	1,4824	2,1259	16,8846	52,1734	0,2562	1,8833	0,2423	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	93,68	3120,97	3,16E-03	1,11E-03	3,84E-03	8,20E-02	5,35E-03	7,67E-03	6,10E-02	1,88E-01	9,25E-04	6,80E-03	8,75E-04	2,05E+07	-5,87E+06	-4,22E+07	1,08E+07	1,67E+07	-2,55E+07	2,55E+07
9	80,75	2991,33	2,84E-03	9,97E-04	3,46E-03	7,37E-02	2,93E-06	2,99E-09	2,40E-02	1,87E-01	2,56E-02	6,38E-10	6,90E-03	-6,20E-03	-8,71E-06	-6,22E-03	6,21E-03	6,22E-03	-2,18E-06	2,18E-06
18	56,06	2695,09	2,19E-03	7,68E-04	2,66E-03	5,68E-02	5,60E-07	3,16E-10	1,85E-02	1,44E-01	1,97E-02	5,03E-11	5,32E-03	-1,97E-03	-1,54E-06	-1,97E-03	1,97E-03	1,97E-03	-2,86E-07	2,86E-07
27	35,99	2374,60	1,60E-03	5,60E-04	1,94E-03	4,14E-02	6,10E-08	1,53E-11	1,35E-02	1,05E-01	1,44E-02	1,64E-12	3,87E-03	-2,55E-04	-8,96E-08	-2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	-1,11E-08	1,11E-08
36	23,29	2096,92	1,17E-03	4,10E-04	1,42E-03	3,03E-02	5,39E-09	5,51E-13	9,86E-03	7,70E-02	1,05E-02	3,77E-14	2,84E-03	-2,36E-05	-3,39E-09	-2,36E-05	2,36E-05	2,36E-05	-2,69E-10	2,69E-10
45	15,70	1873,59	8,83E-04	3,09E-04	1,07E-03	2,29E-02	4,70E-10	1,92E-14	7,44E-03	5,81E-02	7,94E-03	8,36E-16	2,14E-03	-2,04E-06	-1,17E-10	-2,04E-06	2,04E-06	2,04E-06	-5,90E-12	5,90E-12
54	11,12	1697,55	6,90E-04	2,42E-04	8,38E-04	1,79E-02	4,50E-11	7,52E-16	5,82E-03	4,54E-02	6,20E-03	2,10E-17	1,67E-03	-1,86E-07	-4,40E-12	-1,86E-07	1,86E-07	1,86E-07	-1,42E-13	1,42E-13
63	8,25	1558,92	5,57E-04	1,95E-04	6,78E-04	1,45E-02	4,98E-12	3,58E-17	4,70E-03	3,67E-02	5,01E-03	6,59E-19	1,35E-03	-1,92E-08	-1,96E-13	-1,92E-08	1,92E-08	1,92E-08	-4,16E-15	4,16E-15
72	6,39	1449,15	4,64E-04	1,63E-04	5,65E-04	1,20E-02	6,56E-13	2,15E-18	3,92E-03	3,06E-02	4,18E-03	2,69E-20	1,13E-03	-2,33E-09	-1,08E-14	-2,33E-09	2,33E-09	2,33E-09	-1,56E-16	1,56E-16
81	5,14	1361,70	3,97E-04	1,39E-04	4,83E-04	1,03E-02	1,05E-13	1,68E-19	3,35E-03	2,62E-02	3,57E-03	1,47E-21	9,65E-04	-3,35E-10	-7,64E-16	-3,35E-10	3,35E-10	3,35E-10	-7,72E-18	7,72E-18
90	4,27	1291,68	3,48E-04	1,22E-04	4,23E-04	9,03E-03	2,02E-14	1,71E-20	2,94E-03	2,29E-02	3,13E-03	1,09E-22	8,46E-04	-5,78E-11	-6,93E-17	-5,78E-11	5,78E-11	5,78E-11	-5,10E-19	5,10E-19
99	3,66	1235,45	3,12E-04	1,09E-04	3,79E-04	8,08E-03	4,75E-15	2,27E-21	2,63E-03	2,05E-02	2,80E-03	1,10E-23	7,57E-04	-1,19E-11	-8,11E-18	-1,19E-11	1,19E-11	1,19E-11	-4,50E-20	4,50E-20
108	3,21	1190,27	2,84E-04	9,95E-05	3,45E-04	7,36E-03	1,35E-15	3,93E-22	2,39E-03	1,87E-02	2,55E-03	1,48E-24	6,89E-04	-2,93E-12	-1,21E-18	-2,93E-12	2,93E-12	2,93E-12	-5,26E-21	5,26E-21
117	2,88	1154,06	2,63E-04	9,21E-05	3,20E-04	6,82E-03	4,59E-16	8,76E-23	2,22E-03	1,73E-02	2,36E-03	2,68E-25	6,38E-04	-8,48E-13	-2,30E-19	-8,48E-13	8,48E-13	8,48E-13	-8,07E-22	8,07E-22
126	2,64	1125,23	2,47E-04	8,65E-05	3,00E-04	6,40E-03	1,86E-16	2,47E-23	2,08E-03	1,62E-02	2,22E-03	6,34E-26	5,99E-04	-2,85E-13	-5,40E-20	-2,85E-13	2,85E-13	2,85E-13	-1,59E-22	1,59E-22
135	2,45	1102,56	2,34E-04	8,22E-05	2,85E-04	6,08E-03	8,83E-17	8,75E-24	1,98E-03	1,54E-02	2,11E-03	1,94E-26	5,69E-04	-1,10E-13	-1,55E-20	-1,10E-13	1,10E-13	1,10E-13	-3,95E-23	3,95E-23
144	2,32	1085,13	2,25E-04	7,90E-05	2,74E-04	5,84E-03	4,88E-17	3,82E-24	1,90E-03	1,48E-02	2,03E-03	7,54E-27	5,47E-04	-4,75E-14	-5,29E-21	-4,75E-14	4,75E-14	4,75E-14	-1,20E-23	1,20E-23
153	2,23	1072,23	2,19E-04	7,67E-05	2,66E-04	5,67E-03	3,11E-17	2,04E-24	1,84E-03	1,44E-02	1,97E-03	3,68E-27	5,31E-04	-2,23E-14	-2,07E-21	-2,23E-14	2,23E-14	2,23E-14	-4,30E-24	4,30E-24
162	2,16	1063,36	2,14E-04	7,51E-05	2,60E-04	5,55E-03	2,27E-17	1,31E-24	1,81E-03	1,41E-02	1,93E-03	2,22E-27	5,20E-04	-1,07E-14	-8,76E-22	-1,07E-14	1,07E-14	1,07E-14	-1,71E-24	1,71E-24
171	2,13	1058,17	2,12E-04	7,42E-05	2,57E-04	5,49E-03	1,88E-17	1,01E-24	1,78E-03	1,39E-02	1,90E-03	1,65E-27	5,14E-04	-4,38E-15	-3,35E-22	-4,38E-15	4,38E-15	4,38E-15	-6,28E-25	6,28E-25
180	2,11	1056,46	2,11E-04	7,39E-05	2,56E-04	5,46E-03	1,77E-17	9,22E-25	1,78E-03	1,39E-02	1,89E-03	1,49E-27	5,12E-04	-1,82E-19	-1,52E-24	-1,82E-19	1,82E-19	1,82E-19	-2,92E-29	2,92E-29

Teste: Razão de expansão 15, 20% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0010	0,0003	0,0003	0,0072	0,0006	0,0009	0,0030	0,0219	0,0001	0,0007	0,0001	0,036101	94,31	3141,88	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,6954	0,9431	0,9240	19,8436	1,7431	2,4149	8,4415	60,5754	0,2922	1,8871	0,2397	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	94,31	3141,88	9,73E-03	3,40E-03	3,34E-03	7,16E-02	6,29E-03	8,72E-03	3,05E-02	2,19E-01	1,05E-03	6,81E-03	8,65E-04	9,80E+06	-3,39E+06	-2,25E+07	6,37E+06	9,75E+06	-1,28E+07	1,28E+07
9	81,30	3011,37	8,75E-03	3,06E-03	3,00E-03	6,44E-02	2,32E-03	1,58E-03	3,29E-05	2,12E-01	2,26E-02	3,68E-04	6,54E-03	-9,76E-01	4,99E-01	-5,29E-02	5,14E-01	1,57E-02	-3,72E-02	3,72E-02
18	56,43	2713,14	6,74E-03	2,36E-03	2,31E-03	4,96E-02	1,32E-03	1,47E-03	8,59E-06	1,64E-01	1,74E-02	2,58E-04	5,06E-03	-1,01E+00	5,69E-01	-2,26E-02	5,18E-01	-5,10E-02	-7,36E-02	7,36E-02
27	36,23	2390,51	4,91E-03	1,72E-03	1,68E-03	3,62E-02	6,22E-04	1,27E-03	1,48E-06	1,19E-01	1,26E-02	1,57E-04	3,72E-03	-5,92E-01	3,60E-01	-4,57E-03	2,98E-01	-6,16E-02	-6,61E-02	6,61E-02
36	23,45	2110,97	3,60E-03	1,26E-03	1,23E-03	2,65E-02	2,86E-04	1,03E-03	2,23E-07	8,76E-02	9,24E-03	9,48E-05	2,75E-03	-2,45E-01	1,50E-01	-7,18E-04	1,23E-01	-2,74E-02	-2,82E-02	2,82E-02
45	15,81	1886,14	2,72E-03	9,51E-04	9,31E-04	2,00E-02	1,53E-04	8,18E-04	3,43E-08	6,61E-02	6,97E-03	6,54E-05	2,08E-03	-7,60E-02	4,34E-02	-1,06E-04	3,81E-02	-5,31E-03	-5,42E-03	5,42E-03
54	11,19	1708,93	2,12E-03	7,43E-04	7,28E-04	1,56E-02	1,02E-04	6,50E-04	6,18E-09	5,17E-02	5,44E-03	5,01E-05	1,63E-03	-1,93E-02	1,04E-02	-1,70E-05	9,65E-03	-7,56E-04	-7,73E-04	7,73E-04
63	8,31	1569,36	1,72E-03	6,00E-04	5,88E-04	1,26E-02	7,77E-05	5,27E-04	1,38E-09	4,18E-02	4,40E-03	4,03E-05	1,31E-03	-4,61E-03	2,49E-03	-3,32E-06	2,30E-03	-1,83E-04	-1,87E-04	1,87E-04
72	6,43	1458,86	1,43E-03	5,00E-04	4,90E-04	1,05E-02	6,36E-05	4,40E-04	3,69E-10	3,48E-02	3,66E-03	3,35E-05	1,09E-03	-1,16E-03	6,47E-04	-7,88E-07	5,80E-04	-6,67E-05	-6,74E-05	6,74E-05
81	5,17	1370,82	1,22E-03	4,28E-04	4,19E-04	9,01E-03	5,41E-05	3,77E-04	1,16E-10	2,98E-02	3,14E-03	2,87E-05	9,37E-04	-3,25E-04	1,89E-04	-2,19E-07	1,63E-04	-2,63E-05	-2,65E-05	2,65E-05
90	4,30	1300,34	1,07E-03	3,75E-04	3,68E-04	7,89E-03	4,74E-05	3,30E-04	4,15E-11	2,61E-02	2,75E-03	2,51E-05	8,21E-04	-1,04E-04	6,28E-05	-6,95E-08	5,19E-05	-1,09E-05	-1,09E-05	1,09E-05
99	3,68	1243,73	9,59E-04	3,36E-04	3,29E-04	7,06E-03	4,23E-05	2,95E-04	1,70E-11	2,34E-02	2,46E-03	2,25E-05	7,35E-04	-3,80E-05	2,38E-05	-2,48E-08	1,90E-05	-4,81E-06	-4,83E-06	4,83E-06
108	3,23	1198,24	8,74E-04	3,06E-04	3,00E-04	6,43E-03	3,86E-05	2,69E-04	7,84E-12	2,13E-02	2,24E-03	2,05E-05	6,69E-04	-1,59E-05	1,03E-05	-9,88E-09	7,96E-06	-2,32E-06	-2,33E-06	2,33E-06
117	2,90	1161,79	8,09E-04	2,83E-04	2,77E-04	5,96E-03	3,57E-05	2,49E-04	4,06E-12	1,97E-02	2,07E-03	1,89E-05	6,19E-04	-7,57E-06	5,01E-06	-4,34E-09	3,79E-06	-1,23E-06	-1,23E-06	1,23E-06
126	2,65	1132,77	7,59E-04	2,66E-04	2,60E-04	5,59E-03	3,35E-05	2,34E-04	2,34E-12	1,85E-02	1,95E-03	1,78E-05	5,82E-04	-4,06E-06	2,75E-06	-2,08E-09	2,03E-06	-7,12E-07	-7,14E-07	7,14E-07
135	2,47	1109,95	7,22E-04	2,53E-04	2,47E-04	5,31E-03	3,18E-05	2,22E-04	1,49E-12	1,76E-02	1,85E-03	1,69E-05	5,53E-04	-2,44E-06	1,68E-06	-1,07E-09	1,22E-06	-4,55E-07	-4,56E-07	4,56E-07
144	2,34	1092,40	6,94E-04	2,43E-04	2,38E-04	5,11E-03	3,06E-05	2,14E-04	1,04E-12	1,69E-02	1,78E-03	1,62E-05	5,31E-04	-1,63E-06	1,13E-06	-5,83E-10	8,15E-07	-3,17E-07	-3,18E-07	3,18E-07
153	2,24	1079,42	6,73E-04	2,36E-04	2,31E-04	4,96E-03	2,97E-05	2,07E-04	7,91E-13	1,64E-02	1,73E-03	1,58E-05	5,15E-04	-1,20E-06	8,41E-07	-3,26E-10	6,00E-07	-2,41E-07	-2,41E-07	2,41E-07
162	2,18	1070,48	6,59E-04	2,31E-04	2,26E-04	4,85E-03	2,91E-05	2,03E-04	6,53E-13	1,60E-02	1,69E-03	1,54E-05	5,05E-04	-9,68E-07	6,83E-07	-1,77E-10	4,84E-07	-1,99E-07	-1,99E-07	1,99E-07
171	2,14	1065,26	6,51E-04	2,28E-04	2,23E-04	4,80E-03	2,87E-05	2,01E-04	5,83E-13	1,59E-02	1,67E-03	1,52E-05	4,99E-04	-8,52E-07	6,03E-07	-7,82E-11	4,26E-07	-1,77E-07	-1,77E-07	1,77E-07
180	2,13	1063,54	6,49E-04	2,27E-04	2,22E-04	4,78E-03	2,86E-05	2,00E-04	5,62E-13	1,58E-02	1,66E-03	1,52E-05	4,97E-04	-8,17E-07	5,79E-07	-1,06E-13	4,08E-07	-1,71E-07	-1,71E-07	1,71E-07

Teste: Razão de expansão 15, 20% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0017	0,0006	0,0003	0,0061	0,0007	0,0010	0,0000	0,0250	0,0001	0,0007	0,0001	0,0362	94,97	3163,89	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	4,5893	1,6205	0,7853	16,7953	2,0236	2,7233	-0,0028	69,0372	0,3301	1,8647	0,2336	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	94,97	3163,89	1,66E-02	5,85E-03	2,83E-03	6,06E-02	7,31E-03	9,83E-03	0,0E+00	2,49E-01	1,19E-03	6,73E-03	8,43E-04	-3,02E+02	1,45E+02	8,80E+02	-2,89E+02	-4,34E+02	4,46E+02	-4,46E+02
9	81,87	3032,47	1,49E-02	5,26E-03	2,55E-03	5,45E-02	5,99E-03	9,18E-03	6,76E-07	2,24E-01	1,03E-03	6,01E-03	8,04E-04	-2,66E+00	1,41E+00	-1,12E-03	1,33E+00	-8,26E-02	-8,38E-02	8,38E-02
18	56,83	2732,15	1,15E-02	4,05E-03	1,96E-03	4,20E-02	3,46E-03	7,69E-03	1,76E-07	1,74E-01	7,49E-04	4,59E-03	6,61E-04	-2,24E+00	1,20E+00	-4,71E-04	1,12E+00	-8,60E-02	-8,65E-02	8,65E-02
27	36,49	2407,25	8,37E-03	2,95E-03	1,43E-03	3,06E-02	1,89E-03	5,94E-03	3,08E-08	1,27E-01	5,23E-04	3,32E-03	5,04E-04	-8,52E-01	4,50E-01	-9,24E-05	4,26E-01	-2,42E-02	-2,42E-02	2,42E-02
36	23,61	2125,76	6,13E-03	2,16E-03	1,05E-03	2,24E-02	1,19E-03	4,46E-03	5,23E-09	9,30E-02	3,79E-04	2,43E-03	3,74E-04	-2,03E-01	1,05E-01	-1,51E-05	1,02E-01	-3,26E-03	-3,27E-03	3,27E-03
45	15,92	1899,35	4,63E-03	1,63E-03	7,92E-04	1,69E-02	8,56E-04	3,38E-03	9,85E-10	7,02E-02	2,85E-04	1,83E-03	2,83E-04	-3,91E-02	2,09E-02	-2,67E-06	1,96E-02	-1,37E-03	-1,37E-03	1,37E-03
54	11,27	1720,90	3,62E-03	1,28E-03	6,19E-04	1,32E-02	6,61E-04	2,65E-03	2,09E-10	5,48E-02	2,23E-04	1,43E-03	2,21E-04	-7,29E-03	4,23E-03	-5,30E-07	3,65E-03	-5,83E-04	-5,84E-04	5,84E-04
63	8,36	1580,35	2,92E-03	1,03E-03	5,00E-04	1,07E-02	5,33E-04	2,14E-03	5,00E-11	4,43E-02	1,80E-04	1,16E-03	1,79E-04	-1,47E-03	9,34E-04	-1,18E-07	7,33E-04	-2,01E-04	-2,01E-04	2,01E-04
72	6,48	1469,08	2,43E-03	8,60E-04	4,16E-04	8,91E-03	4,43E-04	1,78E-03	1,36E-11	3,69E-02	1,50E-04	9,64E-04	1,49E-04	-3,34E-04	2,33E-04	-2,92E-08	1,67E-04	-6,61E-05	-6,62E-05	6,62E-05
81	5,21	1380,43	2,08E-03	7,36E-04	3,56E-04	7,62E-03	3,79E-04	1,53E-03	4,19E-12	3,16E-02	1,28E-04	8,25E-04	1,28E-04	-8,77E-05	6,65E-05	-8,13E-09	4,38E-05	-2,26E-05	-2,27E-05	2,27E-05
90	4,33	1309,45	1,83E-03	6,45E-04	3,12E-04	6,68E-03	3,33E-04	1,34E-03	1,48E-12	2,77E-02	1,12E-04	7,23E-04	1,12E-04	-2,67E-05	2,18E-05	-2,54E-09	1,34E-05	-8,43E-06	-8,43E-06	8,43E-06
99	3,71	1252,44	1,63E-03	5,77E-04	2,80E-04	5,98E-03	2,97E-04	1,20E-03	5,90E-13	2,48E-02	1,00E-04	6,47E-04	1,00E-04	-9,45E-06	8,20E-06	-8,90E-10	4,73E-06	-3,47E-06	-3,47E-06	3,47E-06
108	3,25	1206,64	1,49E-03	5,26E-04	2,55E-04	5,45E-03	2,71E-04	1,09E-03	2,67E-13	2,26E-02	9,15E-05	5,89E-04	9,13E-05	-3,85E-06	3,52E-06	-3,47E-10	1,92E-06	-1,59E-06	-1,59E-06	1,59E-06
117	2,92	1169,93	1,38E-03	4,86E-04	2,36E-04	5,04E-03	2,51E-04	1,01E-03	1,35E-13	2,09E-02	8,47E-05	5,45E-04	8,45E-05	-1,79E-06	1,71E-06	-1,50E-10	8,96E-07	-8,16E-07	-8,16E-07	8,16E-07
126	2,67	1140,70	1,29E-03	4,57E-04	2,21E-04	4,73E-03	2,36E-04	9,48E-04	7,68E-14	1,96E-02	7,95E-05	5,12E-04	7,93E-05	-9,45E-07	9,36E-07	-7,05E-11	4,73E-07	-4,64E-07	-4,64E-07	4,64E-07
135	2,49	1117,73	1,23E-03	4,34E-04	2,10E-04	4,50E-03	2,24E-04	9,01E-04	4,82E-14	1,86E-02	7,56E-05	4,87E-04	7,54E-05	-5,60E-07	5,71E-07	-3,58E-11	2,80E-07	-2,91E-07	-2,91E-07	2,91E-07
144	2,35	1100,05	1,18E-03	4,17E-04	2,02E-04	4,32E-03	2,15E-04	8,66E-04	3,33E-14	1,79E-02	7,26E-05	4,68E-04	7,24E-05	-3,69E-07	3,86E-07	-1,93E-11	1,85E-07	-2,01E-07	-2,01E-07	2,01E-07
153	2,26	1086,98	1,15E-03	4,05E-04	1,96E-04	4,19E-03	2,09E-04	8,40E-04	2,51E-14	1,74E-02	7,05E-05	4,54E-04	7,03E-05	-2,70E-07	2,86E-07	-1,07E-11	1,35E-07	-1,51E-07	-1,51E-07	1,51E-07
162	2,19	1077,98	1,12E-03	3,96E-04	1,92E-04	4,11E-03	2,04E-04	8,23E-04	2,07E-14	1,70E-02	6,90E-05	4,44E-04	6,89E-05	-2,16E-07	2,32E-07	-5,78E-12	1,08E-07	-1,24E-07	-1,24E-07	1,24E-07
171	2,16	1072,72	1,11E-03	3,92E-04	1,90E-04	4,06E-03	2,02E-04	8,13E-04	1,84E-14	1,68E-02	6,82E-05	4,39E-04	6,80E-05	-1,90E-07	2,05E-07	-2,55E-12	9,49E-08	-1,10E-07	-1,10E-07	1,10E-07
180	2,14	1070,99	1,10E-03	3,90E-04	1,89E-04	4,04E-03	2,01E-04	8,10E-04	1,77E-14	1,68E-02	6,79E-05	4,37E-04	6,78E-05	-1,82E-07	1,97E-07	-1,96E-16	9,09E-08	-1,06E-07	-1,06E-07	1,06E-07

Teste: Razão de expansão 15, 20% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0019	0,0007	0,0003	0,0057	0,0008	0,0010	0,0000	0,0256	0,0001	0,0007	0,0001	0,036793	95,22	3172,18	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,2037	1,8591	0,7270	15,3967	2,0805	2,8095	0,0000	69,5233	0,3425	1,8286	0,2291	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	95,22	3172,18	1,88E-02	6,71E-03	2,62E-03	5,56E-02	7,51E-03	1,01E-02	0,0E+00	2,51E-01	1,24E-03	6,60E-03	8,27E-04	-3,05E+02	1,58E+02	9,28E+02	-3,12E+02	-4,70E+02	4,58E+02	-4,58E+02
9	82,08	3040,42	1,69E-02	6,04E-03	2,36E-03	5,00E-02	6,16E-03	9,47E-03	7,11E-07	2,26E-01	1,07E-03	5,89E-03	7,90E-04	-2,74E+00	1,46E+00	-1,17E-03	1,37E+00	-8,42E-02	-8,53E-02	8,53E-02
18	56,98	2739,31	1,30E-02	4,65E-03	1,82E-03	3,85E-02	3,55E-03	7,94E-03	1,85E-07	1,75E-01	7,79E-04	4,50E-03	6,51E-04	-2,32E+00	1,25E+00	-4,96E-04	1,16E+00	-8,98E-02	-9,03E-02	9,03E-02
27	36,58	2413,56	9,49E-03	3,39E-03	1,33E-03	2,81E-02	1,93E-03	6,13E-03	3,26E-08	1,28E-01	5,43E-04	3,25E-03	4,99E-04	-8,93E-01	4,74E-01	-9,77E-05	4,47E-01	-2,70E-02	-2,71E-02	2,71E-02
36	23,67	2131,33	6,95E-03	2,48E-03	9,71E-04	2,06E-02	1,21E-03	4,60E-03	5,54E-09	9,37E-02	3,93E-04	2,38E-03	3,70E-04	-2,16E-01	1,12E-01	-1,60E-05	1,08E-01	-3,97E-03	-3,98E-03	3,98E-03
45	15,96	1904,33	5,25E-03	1,87E-03	7,33E-04	1,55E-02	8,68E-04	3,50E-03	1,05E-09	7,07E-02	2,96E-04	1,79E-03	2,80E-04	-4,18E-02	2,24E-02	-2,83E-06	2,09E-02	-1,54E-03	-1,55E-03	1,55E-03
54	11,30	1725,41	4,10E-03	1,46E-03	5,73E-04	1,21E-02	6,69E-04	2,74E-03	2,23E-10	5,52E-02	2,31E-04	1,40E-03	2,20E-04	-7,85E-03	4,56E-03	-5,63E-07	3,92E-03	-6,39E-04	-6,40E-04	6,40E-04
63	8,39	1584,50	3,31E-03	1,18E-03	4,63E-04	9,80E-03	5,39E-04	2,21E-03	5,35E-11	4,47E-02	1,86E-04	1,13E-03	1,78E-04	-1,59E-03	1,01E-03	-1,25E-07	7,93E-04	-2,19E-04	-2,19E-04	2,19E-04
72	6,50	1472,93	2,76E-03	9,86E-04	3,86E-04	8,17E-03	4,49E-04	1,84E-03	1,46E-11	3,72E-02	1,55E-04	9,43E-04	1,48E-04	-3,63E-04	2,53E-04	-3,12E-08	1,81E-04	-7,20E-05	-7,21E-05	7,21E-05
81	5,22	1384,04	2,36E-03	8,44E-04	3,30E-04	6,99E-03	3,84E-04	1,58E-03	4,52E-12	3,18E-02	1,33E-04	8,07E-04	1,27E-04	-9,57E-05	7,26E-05	-8,73E-09	4,79E-05	-2,47E-05	-2,47E-05	2,47E-05
90	4,34	1312,88	2,07E-03	7,40E-04	2,89E-04	6,13E-03	3,37E-04	1,38E-03	1,60E-12	2,79E-02	1,16E-04	7,08E-04	1,11E-04	-2,93E-05	2,39E-05	-2,74E-09	1,47E-05	-9,20E-06	-9,20E-06	9,20E-06
99	3,72	1255,72	1,85E-03	6,62E-04	2,59E-04	5,48E-03	3,01E-04	1,24E-03	6,40E-13	2,50E-02	1,04E-04	6,33E-04	9,94E-05	-1,04E-05	8,99E-06	-9,62E-10	5,20E-06	-3,80E-06	-3,80E-06	3,80E-06
108	3,26	1209,80	1,69E-03	6,03E-04	2,36E-04	4,99E-03	2,74E-04	1,13E-03	2,90E-13	2,27E-02	9,48E-05	5,77E-04	9,05E-05	-4,24E-06	3,87E-06	-3,76E-10	2,12E-06	-1,75E-06	-1,75E-06	1,75E-06
117	2,93	1172,99	1,56E-03	5,58E-04	2,18E-04	4,62E-03	2,54E-04	1,04E-03	1,48E-13	2,11E-02	8,78E-05	5,34E-04	8,38E-05	-1,98E-06	1,88E-06	-1,62E-10	9,90E-07	-8,94E-07	-8,94E-07	8,94E-07
135	2,50	1120,65	1,39E-03	4,98E-04	1,95E-04	4,12E-03	2,27E-04	9,31E-04	5,27E-14	1,88E-02	7,83E-05	4,76E-04	7,48E-05	-6,21E-07	6,30E-07	-3,91E-11	3,10E-07	-3,20E-07	-3,20E-07	3,20E-07
144	2,36	1102,94	1,34E-03	4,78E-04	1,87E-04	3,96E-03	2,18E-04	8,95E-04	3,65E-14	1,81E-02	7,53E-05	4,58E-04	7,18E-05	-4,10E-07	4,26E-07	-2,11E-11	2,05E-07	-2,21E-07	-2,21E-07	2,21E-07
153	2,26	1089,83	1,30E-03	4,64E-04	1,82E-04	3,85E-03	2,11E-04	8,68E-04	2,76E-14	1,75E-02	7,30E-05	4,44E-04	6,97E-05	-3,00E-07	3,16E-07	-1,17E-11	1,50E-07	-1,67E-07	-1,67E-07	1,67E-07
162	2,20	1080,81	1,27E-03	4,55E-04	1,78E-04	3,77E-03	2,07E-04	8,51E-04	2,27E-14	1,72E-02	7,15E-05	4,35E-04	6,83E-05	-2,40E-07	2,57E-07	-6,31E-12	1,20E-07	-1,37E-07	-1,37E-07	1,37E-07
171	2,16	1075,53	1,26E-03	4,49E-04	1,76E-04	3,72E-03	2,04E-04	8,40E-04	2,02E-14	1,69E-02	7,07E-05	4,30E-04	6,75E-05	-2,11E-07	2,27E-07	-2,78E-12	1,06E-07	-1,22E-07	-1,22E-07	1,22E-07
180	2,15	1073,79	1,25E-03	4,47E-04	1,75E-04	3,71E-03	2,04E-04	8,37E-04	1,94E-14	1,69E-02	7,04E-05	4,28E-04	6,72E-05	-2,02E-07	2,18E-07	-2,18E-16	1,01E-07	-1,17E-07	-1,17E-07	1,17E-07

Teste: Razão de expansão 15, 20% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0007	0,0003	0,0055	0,0008	0,0011	0,0000	0,0258	0,0001	0,0007	0,0001	0,0370	95,31	3175,33	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,4302	1,9493	0,7053	14,8780	2,1021	2,8423	0,0000	69,7042	0,3472	1,8140	0,2273	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	95,31	3175,33	1,96E-02	7,04E-03	2,55E-03	5,37E-02	7,59E-03	1,03E-02	0,0E+00	2,52E-01	1,25E-03	6,55E-03	8,21E-04	-3,05E+02	1,63E+02	9,47E+02	-3,21E+02	-4,84E+02	4,63E+02	-4,63E+02
9	82,16	3043,43	1,76E-02	6,33E-03	2,29E-03	4,83E-02	6,22E-03	9,58E-03	7,25E-07	2,27E-01	1,08E-03	5,84E-03	7,84E-04	-2,78E+00	1,47E+00	-1,19E-03	1,39E+00	-8,47E-02	-8,59E-02	8,59E-02
18	57,03	2742,03	1,36E-02	4,88E-03	1,76E-03	3,72E-02	3,58E-03	8,03E-03	1,89E-07	1,75E-01	7,90E-04	4,46E-03	6,47E-04	-2,35E+00	1,27E+00	-5,06E-04	1,18E+00	-9,11E-02	-9,16E-02	9,16E-02
27	36,62	2415,96	9,90E-03	3,55E-03	1,29E-03	2,71E-02	1,94E-03	6,21E-03	3,33E-08	1,28E-01	5,51E-04	3,23E-03	4,96E-04	-9,09E-01	4,83E-01	-9,97E-05	4,54E-01	-2,80E-02	-2,81E-02	2,81E-02
36	23,70	2133,45	7,25E-03	2,60E-03	9,42E-04	1,99E-02	1,22E-03	4,66E-03	5,66E-09	9,39E-02	3,99E-04	2,36E-03	3,69E-04	-2,20E-01	1,14E-01	-1,63E-05	1,10E-01	-4,24E-03	-4,26E-03	4,26E-03
45	15,98	1906,22	5,47E-03	1,96E-03	7,11E-04	1,50E-02	8,72E-04	3,54E-03	1,07E-09	7,09E-02	3,00E-04	1,78E-03	2,79E-04	-4,28E-02	2,30E-02	-2,89E-06	2,14E-02	-1,61E-03	-1,61E-03	1,61E-03
54	11,31	1727,12	4,28E-03	1,54E-03	5,56E-04	1,17E-02	6,72E-04	2,77E-03	2,28E-10	5,54E-02	2,34E-04	1,39E-03	2,19E-04	-8,07E-03	4,69E-03	-5,76E-07	4,03E-03	-6,61E-04	-6,62E-04	6,62E-04
63	8,39	1586,07	3,46E-03	1,24E-03	4,49E-04	9,47E-03	5,42E-04	2,24E-03	5,49E-11	4,48E-02	1,89E-04	1,12E-03	1,77E-04	-1,63E-03	1,04E-03	-1,28E-07	8,17E-04	-2,26E-04	-2,26E-04	2,26E-04
72	6,50	1474,39	2,88E-03	1,03E-03	3,74E-04	7,89E-03	4,51E-04	1,87E-03	1,50E-11	3,73E-02	1,57E-04	9,35E-04	1,47E-04	-3,74E-04	2,62E-04	-3,20E-08	1,87E-04	-7,43E-05	-7,44E-05	7,44E-05
81	5,23	1385,42	2,46E-03	8,85E-04	3,20E-04	6,75E-03	3,86E-04	1,60E-03	4,65E-12	3,19E-02	1,35E-04	8,00E-04	1,26E-04	-9,89E-05	7,50E-05	-8,97E-09	4,95E-05	-2,55E-05	-2,55E-05	2,55E-05
90	4,35	1314,18	2,16E-03	7,75E-04	2,81E-04	5,92E-03	3,38E-04	1,40E-03	1,64E-12	2,80E-02	1,18E-04	7,01E-04	1,11E-04	-3,03E-05	2,47E-05	-2,82E-09	1,52E-05	-9,51E-06	-9,51E-06	9,51E-06
99	3,72	1256,97	1,93E-03	6,94E-04	2,51E-04	5,30E-03	3,02E-04	1,25E-03	6,60E-13	2,50E-02	1,05E-04	6,28E-04	9,90E-05	-1,08E-05	9,31E-06	-9,91E-10	5,38E-06	-3,92E-06	-3,93E-06	3,93E-06
108	3,26	1211,00	1,76E-03	6,32E-04	2,29E-04	4,82E-03	2,76E-04	1,14E-03	2,99E-13	2,28E-02	9,61E-05	5,72E-04	9,02E-05	-4,40E-06	4,01E-06	-3,88E-10	2,20E-06	-1,81E-06	-1,81E-06	1,81E-06
117	2,93	1174,16	1,63E-03	5,85E-04	2,12E-04	4,47E-03	2,55E-04	1,06E-03	1,53E-13	2,11E-02	8,90E-05	5,29E-04	8,35E-05	-2,05E-06	1,95E-06	-1,68E-10	1,03E-06	-9,25E-07	-9,26E-07	9,26E-07
126	2,68	1144,83	1,53E-03	5,49E-04	1,99E-04	4,19E-03	2,39E-04	9,92E-04	8,67E-14	1,98E-02	8,35E-05	4,97E-04	7,84E-05	-1,09E-06	1,07E-06	-7,92E-11	5,43E-07	-5,27E-07	-5,27E-07	5,27E-07
135	2,50	1121,77	1,45E-03	5,22E-04	1,89E-04	3,98E-03	2,28E-04	9,42E-04	5,46E-14	1,88E-02	7,94E-05	4,72E-04	7,45E-05	-6,45E-07	6,54E-07	-4,04E-11	3,23E-07	-3,31E-07	-3,31E-07	3,31E-07
144	2,36	1104,03	1,40E-03	5,02E-04	1,82E-04	3,83E-03	2,19E-04	9,06E-04	3,78E-14	1,81E-02	7,63E-05	4,54E-04	7,16E-05	-4,27E-07	4,42E-07	-2,18E-11	2,13E-07	-2,29E-07	-2,29E-07	2,29E-07
153	2,27	1090,91	1,36E-03	4,87E-04	1,76E-04	3,72E-03	2,12E-04	8,79E-04	2,86E-14	1,76E-02	7,40E-05	4,40E-04	6,95E-05	-3,12E-07	3,28E-07	-1,21E-11	1,56E-07	-1,73E-07	-1,73E-07	1,73E-07
162	2,20	1081,88	1,33E-03	4,77E-04	1,73E-04	3,64E-03	2,08E-04	8,61E-04	2,35E-14	1,72E-02	7,25E-05	4,31E-04	6,80E-05	-2,50E-07	2,67E-07	-6,53E-12	1,25E-07	-1,42E-07	-1,42E-07	1,42E-07
171	2,16	1076,60	1,31E-03	4,71E-04	1,70E-04	3,60E-03	2,05E-04	8,50E-04	2,09E-14	1,70E-02	7,16E-05	4,26E-04	6,72E-05	-2,20E-07	2,36E-07	-2,88E-12	1,10E-07	-1,26E-07	-1,26E-07	1,26E-07
180	2,15	1074,86	1,31E-03	4,69E-04	1,70E-04	3,58E-03	2,05E-04	8,47E-04	2,01E-14	1,69E-02	7,13E-05	4,24E-04	6,69E-05	-2,10E-07	2,26E-07	-2,27E-16	1,05E-07	-1,21E-07	-1,21E-07	1,21E-07

Teste: Razão de expansão 15, 20% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0021	0,0008	0,0003	0,0054	0,0008	0,0011	0,0000	0,0260	0,0002	0,0007	0,0001	0,0372	95,39	3178,02	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,6053	2,0359	0,6917	14,4296	2,1041	2,8274	0,0000	69,8178	0,4679	1,7937	0,2265	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	95,39	3178,02	2,02E-02	7,35E-03	2,50E-03	5,21E-02	7,60E-03	1,02E-02	0,0E+00	2,52E-01	1,69E-03	6,48E-03	8,17E-04	-2,49E+02	2,21E+02	1,12E+03	-4,37E+02	-6,59E+02	4,65E+02	-4,65E+02
9	82,23	3046,01	1,82E-02	6,61E-03	2,25E-03	4,68E-02	6,26E-03	9,66E-03	8,96E-07	2,27E-01	1,33E-03	5,64E-03	9,23E-04	-2,83E+00	1,52E+00	-1,47E-03	1,42E+00	-1,03E-01	-1,05E-01	1,05E-01
18	57,08	2744,35	1,40E-02	5,09E-03	1,73E-03	3,61E-02	3,58E-03	8,12E-03	2,34E-07	1,75E-01	9,72E-04	4,29E-03	7,65E-04	-2,44E+00	1,34E+00	-6,26E-04	1,22E+00	-1,17E-01	-1,18E-01	1,18E-01
27	36,65	2418,01	1,02E-02	3,71E-03	1,26E-03	2,63E-02	1,90E-03	6,30E-03	4,10E-08	1,28E-01	6,75E-04	3,09E-03	5,91E-04	-9,74E-01	5,29E-01	-1,23E-04	4,87E-01	-4,18E-02	-4,19E-02	4,19E-02
36	23,72	2135,25	7,49E-03	2,72E-03	9,24E-04	1,93E-02	1,17E-03	4,74E-03	6,89E-09	9,41E-02	4,86E-04	2,26E-03	4,41E-04	-2,43E-01	1,29E-01	-2,00E-05	1,22E-01	-7,12E-03	-7,14E-03	7,14E-03
45	15,99	1907,83	5,65E-03	2,05E-03	6,97E-04	1,45E-02	8,31E-04	3,60E-03	1,29E-09	7,10E-02	3,65E-04	1,70E-03	3,35E-04	-4,83E-02	2,63E-02	-3,50E-06	2,41E-02	-2,20E-03	-2,20E-03	2,20E-03
54	11,32	1728,58	4,42E-03	1,60E-03	5,45E-04	1,14E-02	6,40E-04	2,82E-03	2,76E-10	5,55E-02	2,85E-04	1,33E-03	2,62E-04	-9,18E-03	5,42E-03	-6,96E-07	4,59E-03	-8,23E-04	-8,24E-04	8,24E-04
63	8,40	1587,41	3,57E-03	1,30E-03	4,40E-04	9,19E-03	5,15E-04	2,28E-03	6,65E-11	4,49E-02	2,30E-04	1,07E-03	2,12E-04	-1,87E-03	1,21E-03	-1,55E-07	9,36E-04	-2,75E-04	-2,75E-04	2,75E-04
72	6,51	1475,64	2,97E-03	1,08E-03	3,67E-04	7,65E-03	4,29E-04	1,90E-03	1,82E-11	3,74E-02	1,91E-04	8,95E-04	1,77E-04	-4,30E-04	3,05E-04	-3,88E-08	2,15E-04	-8,93E-05	-8,94E-05	8,94E-05
81	5,23	1386,59	2,54E-03	9,24E-04	3,14E-04	6,55E-03	3,67E-04	1,63E-03	5,65E-12	3,20E-02	1,64E-04	7,66E-04	1,51E-04	-1,14E-04	8,75E-05	-1,09E-08	5,70E-05	-3,05E-05	-3,05E-05	3,05E-05
90	4,35	1315,29	2,23E-03	8,10E-04	2,75E-04	5,74E-03	3,21E-04	1,43E-03	2,00E-12	2,80E-02	1,44E-04	6,71E-04	1,33E-04	-3,50E-05	2,89E-05	-3,42E-09	1,75E-05	-1,13E-05	-1,14E-05	1,14E-05
99	3,72	1258,03	2,00E-03	7,25E-04	2,46E-04	5,14E-03	2,87E-04	1,28E-03	8,03E-13	2,51E-02	1,28E-04	6,00E-04	1,19E-04	-1,25E-05	1,09E-05	-1,20E-09	6,23E-06	-4,68E-06	-4,68E-06	4,68E-06
108	3,27	1212,03	1,82E-03	6,60E-04	2,24E-04	4,68E-03	2,62E-04	1,16E-03	3,65E-13	2,28E-02	1,17E-04	5,47E-04	1,08E-04	-5,10E-06	4,70E-06	-4,72E-10	2,55E-06	-2,15E-06	-2,15E-06	2,15E-06
117	2,93	1175,15	1,68E-03	6,11E-04	2,08E-04	4,33E-03	2,42E-04	1,08E-03	1,86E-13	2,12E-02	1,08E-04	5,06E-04	1,00E-04	-2,38E-06	2,29E-06	-2,04E-10	1,19E-06	-1,10E-06	-1,10E-06	1,10E-06
126	2,68	1145,80	1,58E-03	5,74E-04	1,95E-04	4,07E-03	2,28E-04	1,01E-03	1,06E-13	1,99E-02	1,02E-04	4,75E-04	9,39E-05	-1,26E-06	1,26E-06	-9,65E-11	6,30E-07	-6,26E-07	-6,27E-07	6,27E-07
135	2,50	1122,72	1,50E-03	5,45E-04	1,85E-04	3,86E-03	2,16E-04	9,59E-04	6,66E-14	1,89E-02	9,67E-05	4,52E-04	8,93E-05	-7,49E-07	7,68E-07	-4,92E-11	3,74E-07	-3,94E-07	-3,94E-07	3,94E-07
144	2,36	1104,97	1,44E-03	5,24E-04	1,78E-04	3,71E-03	2,08E-04	9,22E-04	4,61E-14	1,81E-02	9,29E-05	4,34E-04	8,58E-05	-4,95E-07	5,20E-07	-2,66E-11	2,48E-07	-2,72E-07	-2,72E-07	2,72E-07
153	2,27	1091,83	1,40E-03	5,08E-04	1,73E-04	3,60E-03	2,02E-04	8,95E-04	3,49E-14	1,76E-02	9,01E-05	4,21E-04	8,33E-05	-3,62E-07	3,86E-07	-1,48E-11	1,81E-07	-2,05E-07	-2,05E-07	2,05E-07
162	2,20	1082,80	1,37E-03	4,98E-04	1,69E-04	3,53E-03	1,98E-04	8,76E-04	2,87E-14	1,72E-02	8,83E-05	4,13E-04	8,16E-05	-2,91E-07	3,14E-07	-7,97E-12	1,45E-07	-1,68E-07	-1,68E-07	1,68E-07
171	2,16	1077,51	1,35E-03	4,92E-04	1,67E-04	3,49E-03	1,95E-04	8,66E-04	2,55E-14	1,70E-02	8,72E-05	4,08E-04	8,06E-05	-2,55E-07	2,77E-07	-3,52E-12	1,28E-07	-1,50E-07	-1,50E-07	1,50E-07
180	2,15	1075,77	1,35E-03	4,90E-04	1,66E-04	3,47E-03	1,94E-04	8,62E-04	2,46E-14	1,70E-02	8,69E-05	4,06E-04	8,02E-05	-2,45E-07	2,66E-07	-2,92E-16	1,22E-07	-1,44E-07	-1,44E-07	1,44E-07

Teste: Razão de expansão 15, 20% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0003	0,0000	0,0001	0,0073	0,0005	0,0017	0,0055	0,0202	0,0000	0,0004	0,0000	0,036101	83,37	2777,56	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	0,9301	0,0623	0,1980	20,1073	1,5010	4,7771	15,2526	55,9846	0,1205	1,0293	0,0373	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,37	2777,56	3,36E-03	2,25E-04	7,15E-04	7,26E-02	5,42E-03	1,72E-02	5,51E-02	2,02E-01	4,35E-04	3,72E-03	1,35E-04	1,14E+07	-8,80E+06	-3,09E+07	9,73E+06	1,85E+07	-1,24E+07	1,24E+07
9	71,87	2662,19	3,02E-03	2,02E-04	6,43E-04	6,53E-02	3,58E-06	1,00E-08	6,95E-03	2,05E-01	3,96E-02	4,99E-10	3,46E-03	-8,28E-03	-3,27E-05	-8,35E-03	8,32E-03	8,35E-03	-1,88E-06	1,88E-06
18	49,89	2398,54	2,33E-03	1,56E-04	4,95E-04	5,03E-02	5,77E-07	8,31E-10	5,35E-03	1,58E-01	3,05E-02	2,97E-11	2,67E-03	-2,23E-03	-4,54E-06	-2,24E-03	2,23E-03	2,24E-03	-1,87E-07	1,87E-07
27	32,03	2113,31	1,70E-03	1,13E-04	3,61E-04	3,67E-02	4,97E-08	2,89E-11	3,90E-03	1,15E-01	2,22E-02	6,58E-13	1,94E-03	-2,30E-04	-1,89E-07	-2,30E-04	2,30E-04	2,30E-04	-4,97E-09	4,97E-09
36	20,73	1866,19	1,24E-03	8,32E-05	2,64E-04	2,69E-02	3,38E-09	7,14E-13	2,86E-03	8,45E-02	1,63E-02	9,88E-15	1,42E-03	-1,64E-05	-4,94E-09	-1,65E-05	1,65E-05	1,65E-05	-7,86E-11	7,86E-11
45	13,98	1667,43	9,38E-04	6,28E-05	2,00E-04	2,03E-02	2,26E-10	1,70E-14	2,16E-03	6,38E-02	1,23E-02	1,42E-16	1,08E-03	-1,09E-06	-1,17E-10	-1,09E-06	1,09E-06	1,09E-06	-1,12E-12	1,12E-12
54	9,89	1510,77	7,33E-04	4,90E-05	1,56E-04	1,58E-02	1,67E-11	4,62E-16	1,68E-03	4,99E-02	9,61E-03	2,33E-18	8,40E-04	-7,70E-08	-3,03E-12	-7,70E-08	7,70E-08	7,70E-08	-1,76E-14	1,76E-14
63	7,34	1387,38	5,92E-04	3,96E-05	1,26E-04	1,28E-02	1,44E-12	1,55E-17	1,36E-03	4,03E-02	7,77E-03	4,89E-20	6,79E-04	-6,24E-09	-9,52E-14	-6,24E-09	6,24E-09	6,24E-09	-3,45E-16	3,45E-16
72	5,69	1289,69	4,93E-04	3,30E-05	1,05E-04	1,07E-02	1,51E-13	6,75E-19	1,13E-03	3,36E-02	6,47E-03	1,38E-21	5,66E-04	-6,01E-10	-3,81E-15	-6,01E-10	6,01E-10	6,01E-10	-8,93E-18	8,93E-18
81	4,57	1211,87	4,22E-04	2,83E-05	8,99E-05	9,13E-03	1,96E-14	3,93E-20	9,71E-04	2,87E-02	5,54E-03	5,36E-23	4,84E-04	-7,04E-11	-2,01E-16	-7,04E-11	7,04E-11	7,04E-11	-3,15E-19	3,15E-19
90	3,80	1149,55	3,70E-04	2,48E-05	7,88E-05	8,00E-03	3,14E-15	3,07E-21	8,51E-04	2,52E-02	4,86E-03	2,92E-24	4,24E-04	-1,01E-11	-1,40E-17	-1,01E-11	1,01E-11	1,01E-11	-1,53E-20	1,53E-20
99	3,25	1099,51	3,31E-04	2,22E-05	7,05E-05	7,16E-03	6,26E-16	3,24E-22	7,61E-04	2,25E-02	4,34E-03	2,24E-25	3,80E-04	-1,76E-12	-1,30E-18	-1,76E-12	1,76E-12	1,76E-12	-1,03E-21	1,03E-21
108	2,86	1059,30	3,02E-04	2,02E-05	6,42E-05	6,52E-03	1,54E-16	4,58E-23	6,93E-04	2,05E-02	3,96E-03	2,40E-26	3,46E-04	-3,75E-13	-1,58E-19	-3,75E-13	3,75E-13	3,75E-13	-9,54E-23	9,54E-23
117	2,56	1027,07	2,79E-04	1,87E-05	5,94E-05	6,04E-03	4,63E-17	8,56E-24	6,42E-04	1,90E-02	3,66E-03	3,53E-27	3,20E-04	-9,58E-14	-2,52E-20	-9,58E-14	9,58E-14	9,58E-14	-1,19E-23	1,19E-23
126	2,35	1001,42	2,62E-04	1,75E-05	5,58E-05	5,67E-03	1,69E-17	2,09E-24	6,03E-04	1,78E-02	3,44E-03	7,05E-28	3,01E-04	-2,91E-14	-5,12E-21	-2,91E-14	2,91E-14	2,91E-14	-1,99E-24	1,99E-24
135	2,18	981,24	2,49E-04	1,67E-05	5,30E-05	5,38E-03	7,36E-18	6,52E-25	5,73E-04	1,69E-02	3,27E-03	1,87E-28	2,86E-04	-1,03E-14	-1,30E-21	-1,03E-14	1,03E-14	1,03E-14	-4,29E-25	4,29E-25
144	2,07	965,73	2,39E-04	1,60E-05	5,10E-05	5,17E-03	3,80E-18	2,58E-25	5,50E-04	1,63E-02	3,14E-03	6,52E-29	2,74E-04	-4,15E-15	-4,03E-22	-4,15E-15	4,15E-15	4,15E-15	-1,16E-25	1,16E-25
153	1,98	954,25	2,32E-04	1,55E-05	4,95E-05	5,02E-03	2,30E-18	1,27E-25	5,34E-04	1,58E-02	3,05E-03	2,92E-29	2,66E-04	-1,85E-15	-1,46E-22	-1,85E-15	1,85E-15	1,85E-15	-3,84E-26	3,84E-26
162	1,92	946,35	2,28E-04	1,52E-05	4,84E-05	4,92E-03	1,62E-18	7,72E-26	5,23E-04	1,55E-02	2,99E-03	1,66E-29	2,61E-04	-8,52E-16	-5,88E-23	-8,52E-16	8,52E-16	8,52E-16	-1,43E-26	1,43E-26
171	1,89	941,73	2,25E-04	1,50E-05	4,78E-05	4,86E-03	1,31E-18	5,73E-26	5,17E-04	1,53E-02	2,95E-03	1,19E-29	2,58E-04	-3,42E-16	-2,20E-23	-3,42E-16	3,42E-16	3,42E-16	-5,09E-27	5,09E-27
180	1,88	940,21	2,24E-04	1,50E-05	4,77E-05	4,84E-03	1,22E-18	5,17E-26	5,15E-04	1,52E-02	2,94E-03	1,07E-29	2,57E-04	-5,12E-20	-6,41E-25	-5,12E-20	5,12E-20	5,12E-20	-8,48E-31	8,48E-31

Teste: Razão de expansão 15, 50% de excesso de ar, 5%CH_4/95%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0010	0,0001	0,0001	0,0063	0,0006	0,0018	0,0030	0,0228	0,0000	0,0003	0,0000	0,036101	83,29	2774,96	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	2,8375	0,1817	0,1645	17,4500	1,6401	5,0963	8,4226	63,0822	0,1235	0,9678	0,0337	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,29	2774,96	1,02E-02	6,56E-04	5,94E-04	6,30E-02	5,92E-03	1,84E-02	3,04E-02	2,28E-01	4,46E-04	3,49E-03	1,22E-04	5,72E+06	-5,17E+06	-1,75E+07	5,87E+06	1,10E+07	-6,41E+06	6,41E+06
9	71,80	2659,69	9,21E-03	5,90E-04	5,34E-04	5,67E-02	3,03E-03	6,73E-03	5,48E-06	2,20E-01	2,50E-02	4,32E-04	2,82E-03	-1,74E+00	9,82E-01	-9,46E-03	8,74E-01	-1,09E-01	-1,18E-01	1,18E-01
18	49,84	2396,29	7,10E-03	4,55E-04	4,12E-04	4,37E-02	1,57E-03	5,63E-03	1,32E-06	1,70E-01	1,92E-02	2,73E-04	2,23E-03	-1,51E+00	8,89E-01	-3,76E-03	7,59E-01	-1,30E-01	-1,33E-01	1,33E-01
27	32,00	2111,34	5,17E-03	3,31E-04	3,00E-04	3,18E-02	6,91E-04	4,37E-03	2,01E-07	1,24E-01	1,40E-02	1,56E-04	1,67E-03	-6,71E-01	4,00E-01	-6,74E-04	3,36E-01	-6,39E-02	-6,46E-02	6,46E-02
36	20,71	1864,45	3,79E-03	2,43E-04	2,20E-04	2,33E-02	3,44E-04	3,30E-03	2,73E-08	9,08E-02	1,02E-02	9,99E-05	1,24E-03	-1,84E-01	1,06E-01	-9,08E-05	9,19E-02	-1,46E-02	-1,47E-02	1,47E-02
45	13,96	1665,87	2,86E-03	1,83E-04	1,66E-04	1,76E-02	2,21E-04	2,51E-03	4,25E-09	6,85E-02	7,71E-03	7,24E-05	9,37E-04	-3,64E-02	2,10E-02	-1,27E-05	1,82E-02	-2,77E-03	-2,78E-03	2,78E-03
54	9,88	1509,35	2,23E-03	1,43E-04	1,30E-04	1,37E-02	1,65E-04	1,97E-03	8,05E-10	5,36E-02	6,03E-03	5,60E-05	7,33E-04	-6,56E-03	3,89E-03	-2,17E-06	3,28E-03	-6,10E-04	-6,12E-04	6,12E-04
63	7,34	1386,08	1,81E-03	1,16E-04	1,05E-04	1,11E-02	1,32E-04	1,59E-03	1,79E-10	4,33E-02	4,87E-03	4,51E-05	5,92E-04	-1,25E-03	7,71E-04	-4,42E-07	6,25E-04	-1,46E-04	-1,47E-04	1,47E-04
72	5,68	1288,49	1,50E-03	9,64E-05	8,73E-05	9,25E-03	1,10E-04	1,33E-03	4,59E-11	3,61E-02	4,06E-03	3,75E-05	4,94E-04	-2,69E-04	1,72E-04	-1,03E-07	1,34E-04	-3,76E-05	-3,77E-05	3,77E-05
81	4,57	1210,73	1,29E-03	8,25E-05	7,47E-05	7,92E-03	9,38E-05	1,13E-03	1,34E-11	3,09E-02	3,47E-03	3,21E-05	4,22E-04	-6,67E-05	4,40E-05	-2,73E-08	3,34E-05	-1,07E-05	-1,07E-05	1,07E-05
90	3,80	1148,48	1,13E-03	7,23E-05	6,55E-05	6,94E-03	8,22E-05	9,94E-04	4,50E-12	2,71E-02	3,04E-03	2,82E-05	3,70E-04	-1,93E-05	1,31E-05	-8,16E-09	9,66E-06	-3,40E-06	-3,40E-06	3,40E-06
99	3,25	1098,48	1,01E-03	6,47E-05	5,86E-05	6,21E-03	7,35E-05	8,89E-04	1,72E-12	2,42E-02	2,72E-03	2,52E-05	3,31E-04	-6,50E-06	4,48E-06	-2,74E-09	3,25E-06	-1,23E-06	-1,23E-06	1,23E-06
108	2,85	1058,31	9,20E-04	5,89E-05	5,34E-05	5,66E-03	6,70E-05	8,10E-04	7,45E-13	2,21E-02	2,48E-03	2,29E-05	3,02E-04	-2,53E-06	1,77E-06	-1,03E-09	1,27E-06	-5,05E-07	-5,06E-07	5,06E-07
117	2,56	1026,11	8,52E-04	5,45E-05	4,94E-05	5,24E-03	6,20E-05	7,50E-04	3,65E-13	2,04E-02	2,30E-03	2,12E-05	2,79E-04	-1,13E-06	8,03E-07	-4,27E-10	5,68E-07	-2,36E-07	-2,36E-07	2,36E-07
126	2,34	1000,48	7,99E-04	5,12E-05	4,64E-05	4,92E-03	5,82E-05	7,04E-04	2,00E-13	1,92E-02	2,16E-03	1,99E-05	2,62E-04	-5,79E-07	4,14E-07	-1,95E-10	2,90E-07	-1,24E-07	-1,24E-07	1,24E-07
135	2,18	980,33	7,60E-04	4,87E-05	4,41E-05	4,67E-03	5,53E-05	6,69E-04	1,23E-13	1,82E-02	2,05E-03	1,89E-05	2,49E-04	-3,34E-07	2,40E-07	-9,69E-11	1,67E-07	-7,32E-08	-7,33E-08	7,33E-08
144	2,06	964,83	7,30E-04	4,68E-05	4,23E-05	4,49E-03	5,32E-05	6,43E-04	8,29E-14	1,75E-02	1,97E-03	1,82E-05	2,40E-04	-2,15E-07	1,56E-07	-5,11E-11	1,08E-07	-4,81E-08	-4,81E-08	4,81E-08
153	1,98	953,36	7,09E-04	4,54E-05	4,11E-05	4,36E-03	5,16E-05	6,24E-04	6,16E-14	1,70E-02	1,91E-03	1,77E-05	2,32E-04	-1,55E-07	1,12E-07	-2,79E-11	7,73E-08	-3,49E-08	-3,50E-08	3,50E-08
162	1,92	945,47	6,94E-04	4,44E-05	4,02E-05	4,27E-03	5,05E-05	6,11E-04	5,00E-14	1,66E-02	1,87E-03	1,73E-05	2,28E-04	-1,22E-07	8,91E-08	-1,49E-11	6,12E-08	-2,79E-08	-2,79E-08	2,79E-08
171	1,89	940,85	6,86E-04	4,39E-05	3,98E-05	4,22E-03	4,99E-05	6,04E-04	4,42E-14	1,64E-02	1,85E-03	1,71E-05	2,25E-04	-1,07E-07	7,78E-08	-6,52E-12	5,33E-08	-2,44E-08	-2,45E-08	2,45E-08
180	1,88	939,33	6,83E-04	4,37E-05	3,96E-05	4,20E-03	4,97E-05	6,01E-04	4,24E-14	1,64E-02	1,84E-03	1,70E-05	2,24E-04	-1,02E-07	7,43E-08	-6,19E-15	5,10E-08	-2,34E-08	-2,34E-08	2,34E-08

Teste: Razão de expansão 15, 50% de excesso de ar, 20%CH_4/80%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0017	0,0001	0,0000	0,0053	0,0006	0,0020	0,0005	0,0254	0,0000	0,0003	0,0000	0,036101	83,21	2772,29	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	4,8096	0,2949	0,1330	14,7173	1,7809	5,4245	1,4069	70,3801	0,1264	0,8964	0,0301	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,21	2772,29	1,74E-02	1,06E-03	4,80E-04	5,31E-02	6,43E-03	1,96E-02	5,08E-03	2,54E-01	4,56E-04	3,24E-03	1,09E-04	8,45E+05	-9,17E+05	-2,97E+06	1,06E+06	1,98E+06	-9,92E+05	9,92E+05
9	71,73	2657,14	1,56E-02	9,58E-04	4,32E-04	4,78E-02	4,93E-03	1,66E-02	5,90E-07	2,31E-01	4,16E-03	2,10E-03	9,12E-04	-2,70E+00	1,52E+00	-1,04E-03	1,35E+00	-1,72E-01	-1,73E-01	1,73E-01
18	49,79	2393,99	1,20E-02	7,38E-04	3,33E-04	3,68E-02	2,68E-03	1,34E-02	1,41E-07	1,79E-01	3,12E-03	1,53E-03	7,86E-04	-2,03E+00	1,19E+00	-4,04E-04	1,02E+00	-1,70E-01	-1,71E-01	1,71E-01
27	31,97	2109,30	8,77E-03	5,38E-04	2,42E-04	2,68E-02	1,42E-03	1,01E-02	2,23E-08	1,30E-01	2,23E-03	1,07E-03	6,19E-04	-6,49E-01	3,82E-01	-7,10E-05	3,25E-01	-5,77E-02	-5,78E-02	5,78E-02
36	20,69	1862,65	6,42E-03	3,94E-04	1,78E-04	1,97E-02	9,05E-04	7,47E-03	3,44E-09	9,57E-02	1,62E-03	7,71E-04	4,66E-04	-1,25E-01	7,55E-02	-1,05E-05	6,24E-02	-1,31E-02	-1,31E-02	1,31E-02
45	13,95	1664,27	4,85E-03	2,97E-04	1,34E-04	1,48E-02	6,59E-04	5,65E-03	5,88E-10	7,22E-02	1,22E-03	5,79E-04	3,55E-04	-1,97E-02	1,28E-02	-1,70E-06	9,85E-03	-2,94E-03	-2,94E-03	2,94E-03
54	9,88	1507,90	3,79E-03	2,32E-04	1,05E-04	1,16E-02	5,11E-04	4,42E-03	1,13E-10	5,64E-02	9,53E-04	4,52E-04	2,78E-04	-3,13E-03	2,21E-03	-3,08E-07	1,56E-03	-6,44E-04	-6,44E-04	6,44E-04
63	7,33	1384,75	3,06E-03	1,88E-04	8,47E-05	9,37E-03	4,12E-04	3,57E-03	2,44E-11	4,56E-02	7,70E-04	3,65E-04	2,25E-04	-5,51E-04	4,20E-04	-6,20E-08	2,75E-04	-1,44E-04	-1,44E-04	1,44E-04
72	5,68	1287,25	2,55E-03	1,56E-04	7,05E-05	7,81E-03	3,43E-04	2,98E-03	6,02E-12	3,80E-02	6,42E-04	3,04E-04	1,87E-04	-1,12E-04	9,10E-05	-1,40E-08	5,60E-05	-3,50E-05	-3,51E-05	3,51E-05
81	4,57	1209,57	2,18E-03	1,34E-04	6,04E-05	6,68E-03	2,94E-04	2,55E-03	1,70E-12	3,25E-02	5,49E-04	2,60E-04	1,60E-04	-2,67E-05	2,29E-05	-3,58E-09	1,33E-05	-9,53E-06	-9,53E-06	9,53E-06
90	3,79	1147,37	1,91E-03	1,17E-04	5,29E-05	5,85E-03	2,58E-04	2,23E-03	5,54E-13	2,85E-02	4,81E-04	2,28E-04	1,40E-04	-7,47E-06	6,68E-06	-1,03E-09	3,74E-06	-2,95E-06	-2,95E-06	2,95E-06
99	3,25	1097,42	1,71E-03	1,05E-04	4,73E-05	5,24E-03	2,30E-04	2,00E-03	2,06E-13	2,55E-02	4,31E-04	2,04E-04	1,26E-04	-2,45E-06	2,27E-06	-3,38E-10	1,23E-06	-1,05E-06	-1,05E-06	1,05E-06
108	2,85	1057,29	1,56E-03	9,56E-05	4,31E-05	4,77E-03	2,10E-04	1,82E-03	8,78E-14	2,32E-02	3,92E-04	1,86E-04	1,14E-04	-9,37E-07	8,92E-07	-1,24E-10	4,68E-07	-4,24E-07	-4,24E-07	4,24E-07
117	2,56	1025,12	1,44E-03	8,85E-05	3,99E-05	4,42E-03	1,94E-04	1,68E-03	4,23E-14	2,15E-02	3,63E-04	1,72E-04	1,06E-04	-4,13E-07	4,02E-07	-5,08E-11	2,06E-07	-1,96E-07	-1,96E-07	1,96E-07
126	2,34	999,52	1,36E-03	8,31E-05	3,75E-05	4,15E-03	1,82E-04	1,58E-03	2,30E-14	2,02E-02	3,41E-04	1,62E-04	9,95E-05	-2,08E-07	2,06E-07	-2,29E-11	1,04E-07	-1,02E-07	-1,02E-07	1,02E-07
135	2,18	979,38	1,29E-03	7,90E-05	3,56E-05	3,94E-03	1,73E-04	1,50E-03	1,39E-14	1,92E-02	3,24E-04	1,54E-04	9,46E-05	-1,19E-07	1,19E-07	-1,12E-11	5,94E-08	-6,00E-08	-6,00E-08	6,00E-08
144	2,06	963,90	1,24E-03	7,59E-05	3,42E-05	3,79E-03	1,67E-04	1,44E-03	9,34E-15	1,84E-02	3,11E-04	1,48E-04	9,09E-05	-7,61E-08	7,73E-08	-5,89E-12	3,80E-08	-3,92E-08	-3,92E-08	3,92E-08
153	1,98	952,44	1,20E-03	7,37E-05	3,32E-05	3,68E-03	1,62E-04	1,40E-03	6,90E-15	1,79E-02	3,02E-04	1,43E-04	8,82E-05	-5,43E-08	5,56E-08	-3,19E-12	2,71E-08	-2,84E-08	-2,84E-08	2,84E-08
162	1,92	944,56	1,18E-03	7,21E-05	3,25E-05	3,60E-03	1,58E-04	1,37E-03	5,58E-15	1,75E-02	2,96E-04	1,40E-04	8,64E-05	-4,28E-08	4,41E-08	-1,70E-12	2,14E-08	-2,27E-08	-2,27E-08	2,27E-08
171	1,89	939,95	1,16E-03	7,13E-05	3,21E-05	3,56E-03	1,56E-04	1,36E-03	4,92E-15	1,73E-02	2,92E-04	1,39E-04	8,53E-05	-3,73E-08	3,84E-08	-7,41E-13	1,86E-08	-1,98E-08	-1,98E-08	1,98E-08
180	1,88	938,43	1,16E-03	7,10E-05	3,20E-05	3,54E-03	1,56E-04	1,35E-03	4,72E-15	1,72E-02	2,91E-04	1,38E-04	8,50E-05	-3,56E-08	3,67E-08	-1,42E-16	1,78E-08	-1,90E-08	-1,90E-08	1,90E-08

Teste: Razão de expansão 15, 50% de excesso de ar, 50%CH_4/50%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0020	0,0001	0,0000	0,0049	0,0007	0,0020	0,0000	0,0262	0,0000	0,0003	0,0000	0,0363	83,18	2771,30	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,5094	0,3335	0,1216	13,6221	1,8149	5,5168	0,0000	72,0622	0,1270	0,8638	0,0287	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,18	2771,30	1,99E-02	1,20E-03	4,39E-04	4,92E-02	6,55E-03	1,99E-02	0,00E+00	2,60E-01	4,59E-04	3,12E-03	1,04E-04	-1,28E+01	1,73E+01	5,45E+01	-2,08E+01	-3,81E+01	1,63E+01	-1,63E+01
9	71,70	2656,19	1,79E-02	1,08E-03	3,95E-04	4,42E-02	5,58E-03	1,81E-02	5,49E-08	2,34E-01	4,05E-04	2,80E-03	1,01E-04	-1,65E+00	8,34E-01	-9,44E-05	8,27E-01	-6,81E-03	-6,90E-03	6,90E-03
18	49,77	2393,13	1,38E-02	8,34E-04	3,04E-04	3,41E-02	3,65E-03	1,43E-02	1,38E-08	1,81E-01	3,09E-04	2,15E-03	8,03E-05	-1,02E+00	5,14E-01	-3,73E-05	5,09E-01	-4,27E-03	-4,31E-03	4,31E-03
27	31,96	2108,55	1,00E-02	6,08E-04	2,22E-04	2,48E-02	2,43E-03	1,05E-02	2,43E-09	1,32E-01	2,24E-04	1,57E-03	5,98E-05	-2,34E-01	1,20E-01	-7,22E-06	1,17E-01	-2,40E-03	-2,41E-03	2,41E-03
36	20,68	1861,99	7,36E-03	4,46E-04	1,62E-04	1,82E-02	1,74E-03	7,72E-03	4,06E-10	9,66E-02	1,63E-04	1,15E-03	4,46E-05	-3,63E-02	1,95E-02	-1,21E-06	1,81E-02	-1,33E-03	-1,33E-03	1,33E-03
45	13,94	1663,67	5,55E-03	3,36E-04	1,23E-04	1,37E-02	1,30E-03	5,83E-03	7,11E-11	7,29E-02	1,23E-04	8,66E-04	3,40E-05	-5,15E-03	2,98E-03	-2,06E-07	2,57E-03	-4,06E-04	-4,06E-04	4,06E-04
54	9,87	1507,36	4,34E-03	2,63E-04	9,58E-05	1,07E-02	1,02E-03	4,55E-03	1,36E-11	5,70E-02	9,60E-05	6,76E-04	2,67E-05	-7,78E-04	4,86E-04	-3,74E-08	3,89E-04	-9,74E-05	-9,74E-05	9,74E-05
63	7,33	1384,26	3,51E-03	2,12E-04	7,74E-05	8,67E-03	8,23E-04	3,68E-03	2,93E-12	4,60E-02	7,75E-05	5,47E-04	2,16E-05	-1,34E-04	8,94E-05	-7,49E-09	6,68E-05	-2,26E-05	-2,26E-05	2,26E-05
72	5,67	1286,79	2,92E-03	1,77E-04	6,45E-05	7,22E-03	6,85E-04	3,07E-03	7,19E-13	3,84E-02	6,46E-05	4,55E-04	1,80E-05	-2,68E-05	1,90E-05	-1,68E-09	1,34E-05	-5,60E-06	-5,60E-06	5,60E-06
81	4,56	1209,14	2,50E-03	1,51E-04	5,52E-05	6,18E-03	5,87E-04	2,63E-03	2,03E-13	3,28E-02	5,53E-05	3,90E-04	1,54E-05	-6,34E-06	4,72E-06	-4,27E-10	3,17E-06	-1,54E-06	-1,54E-06	1,54E-06
90	3,79	1146,96	2,19E-03	1,33E-04	4,84E-05	5,42E-03	5,14E-04	2,30E-03	6,56E-14	2,88E-02	4,85E-05	3,42E-04	1,35E-05	-1,77E-06	1,37E-06	-1,23E-10	8,84E-07	-4,83E-07	-4,83E-07	4,83E-07
99	3,25	1097,03	1,96E-03	1,19E-04	4,33E-05	4,85E-03	4,60E-04	2,06E-03	2,44E-14	2,57E-02	4,33E-05	3,06E-04	1,21E-05	-5,79E-07	4,62E-07	-4,01E-11	2,89E-07	-1,72E-07	-1,73E-07	1,73E-07
108	2,85	1056,91	1,79E-03	1,08E-04	3,94E-05	4,42E-03	4,19E-04	1,88E-03	1,04E-14	2,35E-02	3,95E-05	2,78E-04	1,10E-05	-2,21E-07	1,81E-07	-1,47E-11	1,10E-07	-7,04E-08	-7,04E-08	7,04E-08
117	2,56	1024,76	1,65E-03	1,00E-04	3,65E-05	4,09E-03	3,88E-04	1,74E-03	4,99E-15	2,17E-02	3,66E-05	2,58E-04	1,02E-05	-9,72E-08	8,12E-08	-6,00E-12	4,86E-08	-3,26E-08	-3,27E-08	3,27E-08
126	2,34	999,16	1,55E-03	9,40E-05	3,43E-05	3,84E-03	3,64E-04	1,63E-03	2,71E-15	2,04E-02	3,43E-05	2,42E-04	9,56E-06	-4,89E-08	4,16E-08	-2,70E-12	2,45E-08	-1,71E-08	-1,71E-08	1,71E-08
135	2,18	979,03	1,48E-03	8,93E-05	3,26E-05	3,65E-03	3,46E-04	1,55E-03	1,64E-15	1,94E-02	3,26E-05	2,30E-04	9,09E-06	-2,79E-08	2,40E-08	-1,33E-12	1,40E-08	-1,01E-08	-1,01E-08	1,01E-08
144	2,06	963,55	1,42E-03	8,58E-05	3,13E-05	3,51E-03	3,33E-04	1,49E-03	1,10E-15	1,86E-02	3,13E-05	2,21E-04	8,73E-06	-1,79E-08	1,55E-08	-6,94E-13	8,94E-09	-6,60E-09	-6,61E-09	6,61E-09
153	1,98	952,10	1,38E-03	8,33E-05	3,04E-05	3,40E-03	3,23E-04	1,44E-03	8,12E-16	1,81E-02	3,04E-05	2,14E-04	8,48E-06	-1,27E-08	1,12E-08	-3,76E-13	6,37E-09	-4,79E-09	-4,79E-09	4,79E-09
162	1,92	944,22	1,35E-03	8,16E-05	2,97E-05	3,33E-03	3,16E-04	1,41E-03	6,57E-16	1,77E-02	2,98E-05	2,10E-04	8,30E-06	-1,01E-08	8,86E-09	-2,00E-13	5,03E-09	-3,83E-09	-3,83E-09	3,83E-09
171	1,89	939,61	1,33E-03	8,06E-05	2,94E-05	3,29E-03	3,12E-04	1,40E-03	5,79E-16	1,75E-02	2,94E-05	2,07E-04	8,20E-06	-8,75E-09	7,72E-09	-8,73E-14	4,37E-09	-3,35E-09	-3,35E-09	3,35E-09
180	1,88	938,10	1,33E-03	8,03E-05	2,93E-05	3,28E-03	3,11E-04	1,39E-03	5,56E-16	1,74E-02	2,93E-05	2,07E-04	8,17E-06	-8,35E-09	7,38E-09	-9,98E-18	4,18E-09	-3,20E-09	-3,20E-09	3,20E-09

Teste: Razão de expansão 15, 50% de excesso de ar, 70%CH_4/30%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0021	0,0001	0,0000	0,0048	0,0007	0,0020	0,0000	0,0264	0,0000	0,0003	0,0000	0,0365	83,17	2770,93	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,7562	0,3472	0,1172	13,1767	1,8198	5,5383	0,0000	72,2398	0,1271	0,8495	0,0282	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	kmol/m^3											kmol/(m^3.s)						
0	83,17	2770,93	2,08E-02	1,25E-03	4,23E-04	4,76E-02	6,57E-03	2,00E-02	0,0E+00	2,61E-01	4,59E-04	3,07E-03	1,02E-04	-1,25E+01	1,73E+01	5,42E+01	-2,09E+01	-3,82E+01	1,61E+01	-1,61E+01
9	71,69	2655,83	1,87E-02	1,13E-03	3,80E-04	4,28E-02	5,59E-03	1,81E-02	5,49E-08	2,35E-01	4,05E-04	2,75E-03	9,87E-05	-1,66E+00	8,36E-01	-9,43E-05	8,29E-01	-6,72E-03	-6,81E-03	6,81E-03
18	49,77	2392,81	1,44E-02	8,69E-04	2,93E-04	3,30E-02	3,66E-03	1,43E-02	1,38E-08	1,81E-01	3,10E-04	2,12E-03	7,88E-05	-1,02E+00	5,15E-01	-3,73E-05	5,11E-01	-4,23E-03	-4,27E-03	4,27E-03
27	31,95	2108,27	1,05E-02	6,33E-04	2,14E-04	2,40E-02	2,44E-03	1,05E-02	2,43E-09	1,32E-01	2,24E-04	1,54E-03	5,87E-05	-2,35E-01	1,20E-01	-7,21E-06	1,17E-01	-2,39E-03	-2,39E-03	2,39E-03
36	20,68	1861,74	7,69E-03	4,64E-04	1,57E-04	1,76E-02	1,74E-03	7,75E-03	4,06E-10	9,68E-02	1,64E-04	1,13E-03	4,38E-05	-3,64E-02	1,95E-02	-1,21E-06	1,82E-02	-1,32E-03	-1,32E-03	1,32E-03
45	13,94	1663,45	5,80E-03	3,50E-04	1,18E-04	1,33E-02	1,31E-03	5,85E-03	7,11E-11	7,31E-02	1,23E-04	8,51E-04	3,34E-05	-5,16E-03	2,98E-03	-2,05E-07	2,58E-03	-4,03E-04	-4,03E-04	4,03E-04
54	9,87	1507,16	4,53E-03	2,73E-04	9,23E-05	1,04E-02	1,02E-03	4,57E-03	1,36E-11	5,71E-02	9,61E-05	6,65E-04	2,62E-05	-7,81E-04	4,87E-04	-3,74E-08	3,90E-04	-9,67E-05	-9,67E-05	9,67E-05
63	7,33	1384,07	3,66E-03	2,21E-04	7,46E-05	8,39E-03	8,25E-04	3,70E-03	2,94E-12	4,62E-02	7,76E-05	5,38E-04	2,12E-05	-1,34E-04	8,96E-05	-7,50E-09	6,71E-05	-2,25E-05	-2,25E-05	2,25E-05
72	5,67	1286,62	3,05E-03	1,84E-04	6,22E-05	6,99E-03	6,87E-04	3,08E-03	7,21E-13	3,85E-02	6,47E-05	4,48E-04	1,77E-05	-2,70E-05	1,90E-05	-1,69E-09	1,35E-05	-5,56E-06	-5,56E-06	5,56E-06
81	4,56	1208,98	2,61E-03	1,58E-04	5,32E-05	5,98E-03	5,88E-04	2,64E-03	2,03E-13	3,29E-02	5,54E-05	3,83E-04	1,51E-05	-6,38E-06	4,72E-06	-4,29E-10	3,19E-06	-1,53E-06	-1,53E-06	1,53E-06
90	3,79	1146,81	2,29E-03	1,38E-04	4,66E-05	5,24E-03	5,16E-04	2,31E-03	6,58E-14	2,88E-02	4,85E-05	3,36E-04	1,33E-05	-1,78E-06	1,37E-06	-1,23E-10	8,90E-07	-4,79E-07	-4,79E-07	4,79E-07
99	3,25	1096,89	2,05E-03	1,24E-04	4,17E-05	4,69E-03	4,61E-04	2,07E-03	2,45E-14	2,58E-02	4,34E-05	3,01E-04	1,19E-05	-5,83E-07	4,63E-07	-4,02E-11	2,91E-07	-1,71E-07	-1,71E-07	1,71E-07
108	2,85	1056,77	1,87E-03	1,13E-04	3,80E-05	4,27E-03	4,20E-04	1,88E-03	1,04E-14	2,35E-02	3,95E-05	2,74E-04	1,08E-05	-2,22E-07	1,81E-07	-1,47E-11	1,11E-07	-6,98E-08	-6,99E-08	6,99E-08
117	2,56	1024,62	1,73E-03	1,04E-04	3,52E-05	3,96E-03	3,89E-04	1,74E-03	5,01E-15	2,18E-02	3,66E-05	2,53E-04	1,00E-05	-9,79E-08	8,13E-08	-6,02E-12	4,89E-08	-3,24E-08	-3,24E-08	3,24E-08
126	2,34	999,03	1,62E-03	9,78E-05	3,30E-05	3,71E-03	3,65E-04	1,64E-03	2,72E-15	2,04E-02	3,44E-05	2,38E-04	9,39E-06	-4,93E-08	4,16E-08	-2,71E-12	2,46E-08	-1,70E-08	-1,70E-08	1,70E-08
135	2,18	978,90	1,54E-03	9,30E-05	3,14E-05	3,53E-03	3,47E-04	1,55E-03	1,65E-15	1,94E-02	3,27E-05	2,26E-04	8,92E-06	-2,81E-08	2,41E-08	-1,33E-12	1,41E-08	-1,00E-08	-1,00E-08	1,00E-08
144	2,06	963,43	1,48E-03	8,93E-05	3,02E-05	3,39E-03	3,33E-04	1,49E-03	1,10E-15	1,87E-02	3,14E-05	2,17E-04	8,57E-06	-1,80E-08	1,56E-08	-6,97E-13	9,00E-09	-6,55E-09	-6,55E-09	6,55E-09
153	1,98	951,97	1,44E-03	8,67E-05	2,93E-05	3,29E-03	3,24E-04	1,45E-03	8,16E-16	1,81E-02	3,05E-05	2,11E-04	8,32E-06	-1,28E-08	1,12E-08	-3,78E-13	6,42E-09	-4,75E-09	-4,76E-09	4,76E-09
162	1,92	944,10	1,41E-03	8,49E-05	2,87E-05	3,22E-03	3,17E-04	1,42E-03	6,60E-16	1,77E-02	2,98E-05	2,07E-04	8,15E-06	-1,01E-08	8,87E-09	-2,01E-13	5,07E-09	-3,80E-09	-3,80E-09	3,80E-09
171	1,89	939,49	1,39E-03	8,39E-05	2,83E-05	3,18E-03	3,13E-04	1,40E-03	5,82E-16	1,75E-02	2,95E-05	2,04E-04	8,05E-06	-8,81E-09	7,73E-09	-8,77E-14	4,41E-09	-3,32E-09	-3,32E-09	3,32E-09
180	1,88	937,97	1,39E-03	8,36E-05	2,82E-05	3,17E-03	3,12E-04	1,40E-03	5,58E-16	1,74E-02	2,94E-05	2,03E-04	8,02E-06	-8,41E-09	7,39E-09	-1,01E-17	4,21E-09	-3,18E-09	-3,18E-09	3,18E-09

Teste: Razão de expansão 15, 50% de excesso de ar, 80%CH_4/20%H_2

	Especíes presentes nos fumos após se atingir o equilíbrio químico												Dados Iniciais							
	CO2	CO	H2	H2O	NO	O2	N	N2	O	OH	H	Total	P	T	γ	ρ_{expan}	n	t	Maniv\Biel	Δt
kmol	0,0022	0,0001	0,0000	0,0047	0,0007	0,0020	0,0000	0,0265	0,0000	0,0003	0,0000	0,0366	83,16	2770,61	1,40	15	3000	0,01	0,3	1,00E-10
x (%)	5,9641	0,3586	0,1135	12,8019	1,8238	5,5565	0,0000	72,3893	0,1272	0,8374	0,0277	100	bar	K	-	-	rpm	s	-	s

α	P	T	[CO2]	[CO]	[H2]	[H2O]	[NO]	[O2]	[N]	[N2]	[O]	[OH]	[H]	$P_{[NO]}$	$P_{[O2]}$	$P_{[N]}$	$P_{[N2]}$	$P_{[O]}$	$P_{[OH]}$	$P_{[H]}$
º	bar	K	$kmol/m^3$											$kmol/(m^3.s)$						
0	83,16	2770,61	2,15E-02	1,29E-03	4,10E-04	4,62E-02	6,58E-03	2,01E-02	0,0E+00	2,61E-01	4,59E-04	3,02E-03	9,99E-05	-1,23E+01	1,74E+01	5,40E+01	-2,09E+01	-3,82E+01	1,58E+01	-1,58E+01
9	71,68	2655,53	1,94E-02	1,16E-03	3,69E-04	4,16E-02	5,60E-03	1,82E-02	5,48E-08	2,35E-01	4,06E-04	2,71E-03	9,71E-05	-1,66E+00	8,38E-01	-9,42E-05	8,31E-01	-6,64E-03	-6,73E-03	6,73E-03
18	49,76	2392,54	1,49E-02	8,97E-04	2,84E-04	3,20E-02	3,67E-03	1,44E-02	1,38E-08	1,82E-01	3,10E-04	2,09E-03	7,76E-05	-1,02E+00	5,16E-01	-3,72E-05	5,12E-01	-4,19E-03	-4,23E-03	4,23E-03
27	31,95	2108,03	1,09E-02	6,54E-04	2,07E-04	2,33E-02	2,44E-03	1,06E-02	2,43E-09	1,32E-01	2,25E-04	1,52E-03	5,78E-05	-2,35E-01	1,20E-01	-7,21E-06	1,18E-01	-2,37E-03	-2,38E-03	2,38E-03
36	20,67	1861,52	7,97E-03	4,79E-04	1,52E-04	1,71E-02	1,75E-03	7,77E-03	4,06E-10	9,70E-02	1,64E-04	1,11E-03	4,31E-05	-3,65E-02	1,95E-02	-1,21E-06	1,82E-02	-1,31E-03	-1,31E-03	1,31E-03
45	13,94	1663,26	6,01E-03	3,62E-04	1,14E-04	1,29E-02	1,31E-03	5,87E-03	7,11E-11	7,32E-02	1,23E-04	8,39E-04	3,29E-05	-5,18E-03	2,99E-03	-2,05E-07	2,59E-03	-4,00E-04	-4,00E-04	4,00E-04
54	9,87	1506,99	4,70E-03	2,82E-04	8,94E-05	1,01E-02	1,02E-03	4,59E-03	1,36E-11	5,72E-02	9,62E-05	6,56E-04	2,58E-05	-7,83E-04	4,88E-04	-3,74E-08	3,92E-04	-9,61E-05	-9,61E-05	9,61E-05
63	7,32	1383,91	3,80E-03	2,28E-04	7,23E-05	8,15E-03	8,27E-04	3,71E-03	2,94E-12	4,62E-02	7,77E-05	5,30E-04	2,09E-05	-1,35E-04	8,97E-05	-7,51E-09	6,74E-05	-2,23E-05	-2,23E-05	2,23E-05
72	5,67	1286,47	3,16E-03	1,90E-04	6,02E-05	6,79E-03	6,89E-04	3,09E-03	7,22E-13	3,85E-02	6,48E-05	4,41E-04	1,74E-05	-2,71E-05	1,91E-05	-1,69E-09	1,35E-05	-5,53E-06	-5,53E-06	5,53E-06
81	4,56	1208,84	2,71E-03	1,63E-04	5,15E-05	5,81E-03	5,90E-04	2,64E-03	2,04E-13	3,30E-02	5,54E-05	3,78E-04	1,49E-05	-6,41E-06	4,73E-06	-4,29E-10	3,20E-06	-1,52E-06	-1,52E-06	1,52E-06
90	3,79	1146,68	2,37E-03	1,43E-04	4,52E-05	5,09E-03	5,17E-04	2,32E-03	6,60E-14	2,89E-02	4,86E-05	3,31E-04	1,30E-05	-1,79E-06	1,37E-06	-1,24E-10	8,94E-07	-4,76E-07	-4,76E-07	4,76E-07
99	3,25	1096,76	2,12E-03	1,28E-04	4,04E-05	4,56E-03	4,62E-04	2,07E-03	2,46E-14	2,59E-02	4,35E-05	2,96E-04	1,17E-05	-5,86E-07	4,63E-07	-4,03E-11	2,93E-07	-1,70E-07	-1,70E-07	1,70E-07
108	2,85	1056,65	1,93E-03	1,16E-04	3,68E-05	4,15E-03	4,21E-04	1,89E-03	1,04E-14	2,36E-02	3,96E-05	2,70E-04	1,06E-05	-2,23E-07	1,81E-07	-1,48E-11	1,12E-07	-6,94E-08	-6,94E-08	6,94E-08
117	2,56	1024,50	1,79E-03	1,08E-04	3,41E-05	3,84E-03	3,90E-04	1,75E-03	5,03E-15	2,18E-02	3,66E-05	2,50E-04	9,85E-06	-9,84E-08	8,14E-08	-6,04E-12	4,92E-08	-3,22E-08	-3,22E-08	3,22E-08
126	2,34	998,91	1,68E-03	1,01E-04	3,20E-05	3,61E-03	3,66E-04	1,64E-03	2,73E-15	2,05E-02	3,44E-05	2,34E-04	9,24E-06	-4,96E-08	4,17E-08	-2,72E-12	2,48E-08	-1,69E-08	-1,69E-08	1,69E-08
135	2,18	978,79	1,60E-03	9,60E-05	3,04E-05	3,43E-03	3,48E-04	1,56E-03	1,65E-15	1,95E-02	3,27E-05	2,23E-04	8,78E-06	-2,83E-08	2,41E-08	-1,34E-12	1,41E-08	-9,93E-09	-9,93E-09	9,93E-09
144	2,06	963,31	1,53E-03	9,23E-05	2,92E-05	3,29E-03	3,34E-04	1,50E-03	1,11E-15	1,87E-02	3,14E-05	2,14E-04	8,44E-06	-1,81E-08	1,56E-08	-6,99E-13	9,06E-09	-6,51E-09	-6,51E-09	6,51E-09
153	1,98	951,86	1,49E-03	8,96E-05	2,84E-05	3,20E-03	3,24E-04	1,45E-03	8,19E-16	1,81E-02	3,05E-05	2,08E-04	8,19E-06	-1,29E-08	1,12E-08	-3,79E-13	6,46E-09	-4,72E-09	-4,72E-09	4,72E-09
162	1,92	943,99	1,46E-03	8,77E-05	2,78E-05	3,13E-03	3,18E-04	1,42E-03	6,63E-16	1,78E-02	2,99E-05	2,04E-04	8,02E-06	-1,02E-08	8,87E-09	-2,01E-13	5,10E-09	-3,77E-09	-3,77E-09	3,77E-09
171	1,89	939,38	1,44E-03	8,67E-05	2,74E-05	3,09E-03	3,14E-04	1,41E-03	5,84E-16	1,76E-02	2,95E-05	2,01E-04	7,93E-06	-8,87E-09	7,73E-09	-8,80E-14	4,43E-09	-3,30E-09	-3,30E-09	3,30E-09
180	1,88	937,86	1,44E-03	8,63E-05	2,73E-05	3,08E-03	3,13E-04	1,40E-03	5,61E-16	1,75E-02	2,94E-05	2,00E-04	7,89E-06	-8,47E-09	7,39E-09	-1,02E-17	4,23E-09	-3,16E-09	-3,16E-09	3,16E-09

Teste: Razão de expansão 15, 50% de excesso de ar, 90%CH_4/10%H_2

Apêndice C - Rotina de cálculo

Programa para definição das concentrações de espécies utilizando o Método de Runge-Kutta de 4ª Ordem

Simão Monteiro, *20/03/2025*

```
%reset -s -f
import numpy as np
import matplotlib as plt
import pandas as pd
from openpyxl import load_workbook

### Ficheiro a Guardar Matrizes
Ficheiro = input('Nome do ficheiro excel (.xlsx) onde deseja guardar a
simulação:')
Ficheiro = Ficheiro + '.xlsx'

### Iniciar Contador e Registro
Contador = 0
Registo = 0

### Incremento Temporal
Delta_t = float(input('Incremento temporal [s]:'))
#Delta_t = 0.0000000001
print('O incremento temporal é de', Delta_t, 's')

### Número de registos a guardar
Num_registos = float(input('Registos a guardar:'))
#Num_registos = 100
print(Num_registos, 'Registos a guardar')

### Rotações por minuto
rpm = float(input('Rotações por minuto:'))
# rpm = 3000
print(rpm, 'Rotações por minuto')

### Tempo que dura a expansão
Tempo_expansão = 30/rpm
print('O tempo de expansão em segundos é ', Tempo_expansão,'s')

### Número de cálculos a realizar pelo programa
Num_calculos = Tempo_expansão/Delta_t
print('O programa vai realizar', Num_calculos,'cálculos')

### Numero de registos a não guardar
Salto_registos = Num_calculos/Num_registos
```

```
### Biela - Manivela
Comp_biela = float(input('Comprimento da biela [m]:'))
#Comp_biela = 0.2
print('A biela mede', Comp_biela, 'm')
Raio_manivela = float(input('Raio da manivela [m]:'))
#Raio_manivela = 0.06
print('A manivela mede', Raio_manivela, 'm')

Razão_biela_manivela = Raio_manivela/Comp_biela

Alpha = 0
Tempo = 0
X_êmbolo = 0
VolX_VPMS = 1

### Expansão
Taxa_expanssão = float(input('Taxa de expansão:'))
n_politropica = float(input('Expoente politrópica de expansão:'))
#n_politropica = 1.40
print('A expoente politropica é', n_politropica)

### Temperatura e Pressão
Pressão_bar = float(input('Pressão [bar]:'))
Temp_Kelvin = float(input('Temperatura [K]:'))

Pressão_inicial_bar = Pressão_bar
Temp_inicial_Kelvin = Temp_Kelvin

### Frações Molares Após o Equilíbrio Químico
print('Frações molares em percentagem:')
xCO2 = float(input('CO2 [%]:'))
xCO  = float(input('CO [%]:'))
xH2  = float(input('H2 [%]:'))
xH2O = float(input('H2O [%]:'))
xNO  = float(input('NO [%]:'))
xO2  = float(input('O2 [%]:'))
xN   = float(input('N [%]:'))
xN2  = float(input('N2 [%]:'))
xO   = float(input('O [%]:'))
xOH  = float(input('OH [%]:'))
xH   = float(input('H [%]:'))

xTotal = xCO2+xCO+xH2+xH2O+xNO+xO2+xN+xN2+xO+xOH+xH
print('Total:',xTotal)

### Reiniciar Processo de Cálculos Mantendo Inputs Iniciais
Alpha = 0
Tempo = 0
X_êmbolo = 0
```

```
VolX_VPMS = 1
Contador = 0
Registo = 0

Salto_registos = Num_calculos/Num_registos
Pressão_bar = Pressão_inicial_bar
Temp_Kelvin = Temp_inicial_Kelvin

### Concentrações Iniciais Após Equilíbrio Químico
CO2_kmol_m3 = (xCO2/100)*(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)
CO_kmol_m3  = (xCO/100) *(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)
H2_kmol_m3  = (xH2/100) *(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)
H2O_kmol_m3 = (xH2O/100)*(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)
NO_kmol_m3  = (xNO/100) *(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)
O2_kmol_m3  = (xO2/100) *(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)
N_kmol_m3   = (xN/100)  *(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)
N2_kmol_m3  = (xN2/100) *(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)
O_kmol_m3   = (xO/100)  *(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)
OH_kmol_m3  = (xOH/100) *(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)
H_kmol_m3   = (xH/100)  *(Pressão_bar*10**5)/(8314.51*Temp_Kelvin)

### Taxas de Reação segundo o Mecânismo Cinético de Zeldovich
K1_f = (1.8*(10**11))*np.exp(-38370/Temp_Kelvin)
K1_r = (3.8*(10**10))*np.exp(-425/Temp_Kelvin)
K2_f = (1.8*(10**7))*Temp_Kelvin*np.exp(-4680/Temp_Kelvin)
K2_r = (3.8*(10**6))*Temp_Kelvin*np.exp(-20820/Temp_Kelvin)
K3_f = (7.1*(10**10))*np.exp(-450/Temp_Kelvin)
K3_r = (1.7*(10**11))*np.exp(-24560/Temp_Kelvin)

                                          # O + N2 -> NO + N
                                          # N + O2 -> NO + O
                                          # N + OH -> NO + H

### Produção de Espécies Químicas pelo Mecânismo de Zeldovich
P_CO2 = 0
P_CO  = 0
P_H2  = 0
P_H2O = 0
P_NO  = K1_f*N2_kmol_m3*O_kmol_m3 + K2_f*N_kmol_m3*O2_kmol_m3 +
K3_f*N_kmol_m3*OH_kmol_m3 - K1_r*NO_kmol_m3*N_kmol_m3 -
K2_r*NO_kmol_m3*O_kmol_m3 - K3_r*NO_kmol_m3*H_kmol_m3
P_O2  = K2_r*NO_kmol_m3*O_kmol_m3 - K2_f*N_kmol_m3*O2_kmol_m3
P_N   = K1_f*O_kmol_m3*N2_kmol_m3 + K2_r*NO_kmol_m3*O_kmol_m3 +
K3_r*NO_kmol_m3*H_kmol_m3 - K1_r*NO_kmol_m3*N_kmol_m3 -
K2_f*N_kmol_m3*O2_kmol_m3 - K3_f*N_kmol_m3*OH_kmol_m3
P_N2  = K1_r*NO_kmol_m3*N_kmol_m3 - K1_f*O_kmol_m3*N2_kmol_m3
P_O   = K1_r*NO_kmol_m3*N_kmol_m3 + K2_f*N_kmol_m3*O2_kmol_m3 -
K1_f*O_kmol_m3*N2_kmol_m3 - K2_r*NO_kmol_m3*O_kmol_m3
P_OH  = K3_r*NO_kmol_m3*H_kmol_m3 - K3_f*N_kmol_m3*OH_kmol_m3
P_H   = K3_f*N_kmol_m3*OH_kmol_m3 - K3_r*NO_kmol_m3*H_kmol_m3
```

```
### Iniciar Matrizes
Matriz_Castanha = np.array([[Alpha, Tempo, X_êmbolo, VolX_VPMS,
Pressão_bar, Temp_Kelvin]])
Matriz_Azul = np.array([[CO2_kmol_m3, CO_kmol_m3, H2_kmol_m3,
H2O_kmol_m3, NO_kmol_m3, O2_kmol_m3, N_kmol_m3, N2_kmol_m3, O_kmol_m3,
OH_kmol_m3, H_kmol_m3]])
Matriz_Verde = np.array([[K1_f, K1_r, K2_f, K2_r, K3_f, K3_r]])
Matriz_Rosa = np.array([[P_CO2, P_CO, P_H2, P_H2O, P_NO, P_O2, P_N,
P_N2, P_O, P_OH, P_H]])

### Contador de Registos
Contador = Contador + 1
Registo = 1

### Ciclo de Cálculos
while Tempo<=Tempo_expansão:

    ### Novos Alpha, Tempo, X_êmbolo, VolX_VPMS, Pressão_Bar,
Temperatura_Kelvin
    Alpha = Alpha + 6*Delta_t*rpm
    Alpha_rad = np.pi/180*Alpha
    Tempo = Tempo + Delta_t
    X_êmbolo = Raio_manivela*(1-np.cos(Alpha_rad)) + Comp_biela*(1-(1-
Razão_biela_manivela**2*(np.sin(Alpha_rad))**2)**0.5)
    VolX_VPMS_i = 1 + X_êmbolo/(2*Raio_manivela)*(Taxa_expanssão-1)
    Pressão_bar = Pressão_inicial_bar*(1/VolX_VPMS)**n_politropica
    Temp_Kelvin = Temp_inicial_Kelvin*(1/VolX_VPMS)**(n_politropica-1)

    ### Declives nº1
    CO2_Declive_1 = P_CO2
    CO_Declive_1  = P_CO
    H2_Declive_1  = P_H2
    H2O_Declive_1 = P_H2O
    NO_Declive_1  = P_NO
    O2_Declive_1  = P_O2
    N_Declive_1   = P_N
    N2_Declive_1  = P_N2
    O_Declive_1   = P_O
    OH_Declive_1  = P_OH
    H_Declive_1   = P_H

    ### Pontos nº1
    CO2_P1 = CO2_kmol_m3 + CO2_Declive_1*Delta_t/2
    CO_P1  = CO_kmol_m3  + CO_Declive_1*Delta_t/2
    H2_P1  = H2_kmol_m3  + H2_Declive_1*Delta_t/2
    H2O_P1 = H2O_kmol_m3 + H2O_Declive_1*Delta_t/2
    NO_P1  = NO_kmol_m3  + NO_Declive_1*Delta_t/2
    O2_P1  = O2_kmol_m3  + O2_Declive_1*Delta_t/2
    N_P1   = N_kmol_m3   + N_Declive_1*Delta_t/2
    N2_P1  = N2_kmol_m3  + N2_Declive_1*Delta_t/2
```

```
    O_P1   = O_kmol_m3   + O_Declive_1*Delta_t/2
    OH_P1  = OH_kmol_m3  + OH_Declive_1*Delta_t/2
    H_P1   = H_kmol_m3   + H_Declive_1*Delta_t/2

    ### Declives nº2
    CO2_Declive_2 = 0
    CO_Declive_2  = 0
    H2_Declive_2  = 0
    H2O_Declive_2 = 0
    NO_Declive_2  = K1_f*N2_P1*O_P1 + K2_f*N_P1*O2_P1 +
K3_f*N_P1*OH_P1 - K1_r*NO_P1*N_P1 - K2_r*NO_P1*O_P1 - K3_r*NO_P1*H_P1

    O2_Declive_2  = K2_r*NO_P1*O_P1 - K2_f*N_P1*O2_P1
    N_Declive_2   = K1_f*O_P1*N2_P1 + K2_r*NO_P1*O_P1 +
K3_r*NO_P1*H_P1 - K1_r*NO_P1*N_P1 - K2_f*N_P1*O2_P1 - K3_f*N_P1*OH_P1
    N2_Declive_2  = K1_r*NO_P1*N_P1 - K1_f*O_P1*N2_P1
    O_Declive_2   = K1_r*NO_P1*N_P1 + K2_f*N_P1*O2_P1 -
K1_f*O_P1*N2_P1 - K2_r*NO_P1*O_P1
    OH_Declive_2  = K3_r*NO_P1*H_P1 - K3_f*N_P1*OH_P1
    H_Declive_2   = K3_f*N_P1*OH_P1 - K3_r*NO_P1*H_P1

    ### Pontos nº2
    CO2_P2 = CO2_kmol_m3 + CO2_Declive_2*Delta_t/2
    CO_P2  = CO_kmol_m3  + CO_Declive_2*Delta_t/2
    H2_P2  = H2_kmol_m3  + H2_Declive_2*Delta_t/2
    H2O_P2 = H2O_kmol_m3 + H2O_Declive_2*Delta_t/2
    NO_P2  = NO_kmol_m3  + NO_Declive_2*Delta_t/2
    O2_P2  = O2_kmol_m3  + O2_Declive_2*Delta_t/2
    N_P2   = N_kmol_m3   + N_Declive_2*Delta_t/2
    N2_P2  = N2_kmol_m3  + N2_Declive_2*Delta_t/2
    O_P2   = O_kmol_m3   + O_Declive_2*Delta_t/2
    OH_P2  = OH_kmol_m3  + OH_Declive_2*Delta_t/2
    H_P2   = H_kmol_m3   + H_Declive_2*Delta_t/2

    ### Declives nº3
    CO2_Declive_3 = 0
    CO_Declive_3  = 0
    H2_Declive_3  = 0
    H2O_Declive_3 = 0
    NO_Declive_3  = K1_f*N2_P2*O_P2 + K2_f*N_P2*O2_P2 +
K3_f*N_P2*OH_P2 - K1_r*NO_P2*N_P2 - K2_r*NO_P2*O_P2 - K3_r*NO_P2*H_P2

    O2_Declive_3  = K2_r*NO_P2*O_P2 - K2_f*N_P2*O2_P2
    N_Declive_3   = K1_f*O_P2*N2_P2 + K2_r*NO_P2*O_P2 +
K3_r*NO_P2*H_P2 - K1_r*NO_P2*N_P2 - K2_f*N_P2*O2_P2 - K3_f*N_P2*OH_P2
    N2_Declive_3  = K1_r*NO_P2*N_P2 - K1_f*O_P2*N2_P2
    O_Declive_3   = K1_r*NO_P2*N_P2 + K2_f*N_P2*O2_P2 -
K1_f*O_P2*N2_P2 - K2_r*NO_P2*O_P2
    OH_Declive_3  = K3_r*NO_P2*H_P2 - K3_f*N_P2*OH_P2
    H_Declive_3   = K3_f*N_P2*OH_P2 - K3_r*NO_P2*H_P2
```

```
    O_P1   = O_kmol_m3   + O_Declive_1*Delta_t/2
    OH_P1  = OH_kmol_m3  + OH_Declive_1*Delta_t/2
    H_P1   = H_kmol_m3   + H_Declive_1*Delta_t/2

    ### Declives nº2
    CO2_Declive_2 = 0
    CO_Declive_2  = 0
    H2_Declive_2  = 0
    H2O_Declive_2 = 0
    NO_Declive_2  = K1_f*N2_P1*O_P1 + K2_f*N_P1*O2_P1 +
K3_f*N_P1*OH_P1 - K1_r*NO_P1*N_P1 - K2_r*NO_P1*O_P1 - K3_r*NO_P1*H_P1

    O2_Declive_2  = K2_r*NO_P1*O_P1 - K2_f*N_P1*O2_P1
    N_Declive_2   = K1_f*O_P1*N2_P1 + K2_r*NO_P1*O_P1 +
K3_r*NO_P1*H_P1 - K1_r*NO_P1*N_P1 - K2_f*N_P1*O2_P1 - K3_f*N_P1*OH_P1
    N2_Declive_2  = K1_r*NO_P1*N_P1 - K1_f*O_P1*N2_P1
    O_Declive_2   = K1_r*NO_P1*N_P1 + K2_f*N_P1*O2_P1 -
K1_f*O_P1*N2_P1 - K2_r*NO_P1*O_P1
    OH_Declive_2  = K3_r*NO_P1*H_P1 - K3_f*N_P1*OH_P1
    H_Declive_2   = K3_f*N_P1*OH_P1 - K3_r*NO_P1*H_P1

    ### Pontos nº2
    CO2_P2 = CO2_kmol_m3 + CO2_Declive_2*Delta_t/2
    CO_P2  = CO_kmol_m3  + CO_Declive_2*Delta_t/2
    H2_P2  = H2_kmol_m3  + H2_Declive_2*Delta_t/2
    H2O_P2 = H2O_kmol_m3 + H2O_Declive_2*Delta_t/2
    NO_P2  = NO_kmol_m3  + NO_Declive_2*Delta_t/2
    O2_P2  = O2_kmol_m3  + O2_Declive_2*Delta_t/2
    N_P2   = N_kmol_m3   + N_Declive_2*Delta_t/2
    N2_P2  = N2_kmol_m3  + N2_Declive_2*Delta_t/2
    O_P2   = O_kmol_m3   + O_Declive_2*Delta_t/2
    OH_P2  = OH_kmol_m3  + OH_Declive_2*Delta_t/2
    H_P2   = H_kmol_m3   + H_Declive_2*Delta_t/2

    ### Declives nº3
    CO2_Declive_3 = 0
    CO_Declive_3  = 0
    H2_Declive_3  = 0
    H2O_Declive_3 = 0
    NO_Declive_3  = K1_f*N2_P2*O_P2 + K2_f*N_P2*O2_P2 +
K3_f*N_P2*OH_P2 - K1_r*NO_P2*N_P2 - K2_r*NO_P2*O_P2 - K3_r*NO_P2*H_P2

    O2_Declive_3  = K2_r*NO_P2*O_P2 - K2_f*N_P2*O2_P2
    N_Declive_3   = K1_f*O_P2*N2_P2 + K2_r*NO_P2*O_P2 +
K3_r*NO_P2*H_P2 - K1_r*NO_P2*N_P2 - K2_f*N_P2*O2_P2 - K3_f*N_P2*OH_P2
    N2_Declive_3  = K1_r*NO_P2*N_P2 - K1_f*O_P2*N2_P2
    O_Declive_3   = K1_r*NO_P2*N_P2 + K2_f*N_P2*O2_P2 -
K1_f*O_P2*N2_P2 - K2_r*NO_P2*O_P2
    OH_Declive_3  = K3_r*NO_P2*H_P2 - K3_f*N_P2*OH_P2
    H_Declive_3   = K3_f*N_P2*OH_P2 - K3_r*NO_P2*H_P2
```

```
    ### Pontos nº3
    CO2_P3 = CO2_kmol_m3 + CO2_Declive_3*Delta_t
    CO_P3  = CO_kmol_m3  + CO_Declive_3*Delta_t
    H2_P3  = H2_kmol_m3  + H2_Declive_3*Delta_t
    H2O_P3 = H2O_kmol_m3 + H2O_Declive_3*Delta_t
    NO_P3  = NO_kmol_m3  + NO_Declive_3*Delta_t
    O2_P3  = O2_kmol_m3  + O2_Declive_3*Delta_t
    N_P3   = N_kmol_m3   + N_Declive_3*Delta_t
    N2_P3  = N2_kmol_m3  + N2_Declive_3*Delta_t
    O_P3   = O_kmol_m3   + O_Declive_3*Delta_t
    OH_P3  = OH_kmol_m3  + OH_Declive_3*Delta_t
    H_P3   = H_kmol_m3   + H_Declive_3*Delta_t

    ### Declive nº4
    CO2_Declive_4 = 0
    CO_Declive_4  = 0
    H2_Declive_4  = 0
    H2O_Declive_4 = 0
    NO_Declive_4  = K1_f*N2_P3*O_P3 + K2_f*N_P3*O2_P3 +
K3_f*N_P3*OH_P3 - K1_r*NO_P3*N_P3 - K2_r*NO_P3*O_P3 - K3_r*NO_P3*H_P3

    O2_Declive_4  = K2_r*NO_P3*O_P3 - K2_f*N_P3*O2_P3
    N_Declive_4   = K1_f*O_P3*N2_P3 + K2_r*NO_P3*O_P3 +
K3_r*NO_P3*H_P3 - K1_r*NO_P3*N_P3 - K2_f*N_P3*O2_P3 - K3_f*N_P3*OH_P3
    N2_Declive_4  = K1_r*NO_P3*N_P3 - K1_f*O_P3*N2_P3
    O_Declive_4   = K1_r*NO_P3*N_P3 + K2_f*N_P3*O2_P3 -
K1_f*O_P3*N2_P3 - K2_r*NO_P3*O_P3
    OH_Declive_4  = K3_r*NO_P3*H_P3 - K3_f*N_P3*OH_P3
    H_Declive_4   = K3_f*N_P3*OH_P3 - K3_r*NO_P3*H_P3

    ### Média dos Declives
    CO2_Declive_M = (CO2_Declive_1 + 2*CO2_Declive_2 + 2*CO2_Declive_3
+ CO2_Declive_4)/6
    CO_Declive_M  = (CO_Declive_1  + 2*CO_Declive_2  + 2*CO_Declive_3
+ CO_Declive_4)/6
    H2_Declive_M  = (H2_Declive_1  + 2*H2_Declive_2  + 2*H2_Declive_3
+ H2_Declive_4)/6
    H2O_Declive_M = (H2O_Declive_1 + 2*H2O_Declive_2 + 2*H2O_Declive_3
+ H2O_Declive_4)/6
    NO_Declive_M  = (NO_Declive_1  + 2*NO_Declive_2  + 2*NO_Declive_3
+ NO_Declive_4)/6
    O2_Declive_M  = (O2_Declive_1  + 2*O2_Declive_2  + 2*O2_Declive_3
+ O2_Declive_4)/6
    N_Declive_M   = (N_Declive_1   + 2*N_Declive_2   + 2*N_Declive_3
+ N_Declive_4)/6
    N2_Declive_M  = (N2_Declive_1  + 2*N2_Declive_2  + 2*N2_Declive_3
+ N2_Declive_4)/6
    O_Declive_M   = (O_Declive_1   + 2*O_Declive_2   + 2*O_Declive_3
+ O_Declive_4)/6
```

```
    OH_Declive_M  = (OH_Declive_1  + 2*OH_Declive_2  + 2*OH_Declive_3
+ OH_Declive_4)/6
    H_Declive_M   = (H_Declive_1   + 2*H_Declive_2   + 2*H_Declive_3
+ H_Declive_4)/6

    ### Novas Concentrações para o novo Volume (Método Runge-Kutta)
    Vol_corrigido = VolX_VPMS/VolX_VPMS_i

    CO2_kmol_m3 = (CO2_kmol_m3 + CO2_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido
    CO_kmol_m3  = (CO_kmol_m3  + CO_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido
    H2_kmol_m3  = (H2_kmol_m3  + H2_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido
    H2O_kmol_m3 = (H2O_kmol_m3 + H2O_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido
    NO_kmol_m3  = (NO_kmol_m3  + NO_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido
    O2_kmol_m3  = (O2_kmol_m3  + O2_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido
    N_kmol_m3   = (N_kmol_m3   + N_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido
    N2_kmol_m3  = (N2_kmol_m3  + N2_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido
    O_kmol_m3   = (O_kmol_m3   + O_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido
    OH_kmol_m3  = (OH_kmol_m3  + OH_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido
    H_kmol_m3   = (H_kmol_m3   + H_Declive_M*Delta_t)*Vol_corrigido

    ### Novas Taxas de Reação segundo o Mecânismo Cinético de
Zeldovich (Novas Temperaturas)
    K1_f = 1.8*10**11*np.exp(-38370/Temp_Kelvin)
    K1_r = 3.8*10**10*np.exp(-425/Temp_Kelvin)
    K2_f = 1.8*10**7*Temp_Kelvin*np.exp(-4680/Temp_Kelvin)
    K2_r = 3.8*10**6*Temp_Kelvin*np.exp(-20820/Temp_Kelvin)
    K3_f = 7.1*10**10*np.exp(-450/Temp_Kelvin)
    K3_r = 1.7*10**11*np.exp(-24560/Temp_Kelvin)

    ### Novas Produções de Espécies Químicas pelo Mecânismo de
Zeldovich (Novas Temperaturas -> Novas taxas de Reação)
    P_CO2 = 0
    P_CO  = 0
    P_H2  = 0
    P_H2O = 0
    P_NO  = K1_f*N2_kmol_m3*O_kmol_m3 + K2_f*N_kmol_m3*O2_kmol_m3 +
K3_f*N_kmol_m3*OH_kmol_m3 - K1_r*NO_kmol_m3*N_kmol_m3 -
K2_r*NO_kmol_m3*O_kmol_m3 - K3_r*NO_kmol_m3*H_kmol_m3
    P_O2  = K2_r*NO_kmol_m3*O_kmol_m3 - K2_f*N_kmol_m3*O2_kmol_m3
    P_N   = K1_f*O_kmol_m3*N2_kmol_m3 + K2_r*NO_kmol_m3*O_kmol_m3 +
K3_r*NO_kmol_m3*H_kmol_m3 - K1_r*NO_kmol_m3*N_kmol_m3 -
K2_f*N_kmol_m3*O2_kmol_m3 - K3_f*N_kmol_m3*OH_kmol_m3
    P_N2  = K1_r*NO_kmol_m3*N_kmol_m3 - K1_f*O_kmol_m3*N2_kmol_m3
    P_O   = K1_r*NO_kmol_m3*N_kmol_m3 + K2_f*N_kmol_m3*O2_kmol_m3 -
K1_f*O_kmol_m3*N2_kmol_m3 - K2_r*NO_kmol_m3*O_kmol_m3
    P_OH  = K3_r*NO_kmol_m3*H_kmol_m3 - K3_f*N_kmol_m3*OH_kmol_m3
    P_H   = K3_f*N_kmol_m3*OH_kmol_m3 - K3_r*NO_kmol_m3*H_kmol_m3

    ### Novo VolX_VPMS
```

```
    VolX_VPMS = VolX_VPMS_i

    ### Manipulação do Contador e Registos
    if Contador < Salto_registos:

        Contador = Contador + 1

    else:

        ### Registo nas Matrizes
        Castanha = np.array([[Alpha, Tempo, X_êmbolo, VolX_VPMS,
Pressão_bar, Temp_Kelvin]])
        Matriz_Castanha = np.vstack([Matriz_Castanha,Castanha])
        Azul = np.array([[CO2_kmol_m3, CO_kmol_m3, H2_kmol_m3,
H2O_kmol_m3, NO_kmol_m3, O2_kmol_m3, N_kmol_m3, N2_kmol_m3, O_kmol_m3,
OH_kmol_m3, H_kmol_m3]])
        Matriz_Azul = np.vstack([Matriz_Azul,Azul])
        Verde = np.array([[K1_f, K1_r, K2_f, K2_r, K3_f, K3_r]])
        Matriz_Verde = np.vstack([Matriz_Verde,Verde])
        Rosa = np.array([[P_CO2, P_CO, P_H2, P_H2O, P_NO, P_O2, P_N,
P_N2, P_O, P_OH, P_H]])
        Matriz_Rosa = np.vstack([Matriz_Rosa,Rosa])

        Contador = 1
        Registo = Registo + 1

### Guardar Valores da simulação

### Definir matrizes
matriz1 = pd.DataFrame(Matriz_Castanha, columns=['Alpha', 'Tempo',
'X_êmbolo', 'VolX_VPMS', 'Pressão_bar', 'Temp_Kelvin'])
matriz2 = pd.DataFrame(Matriz_Azul, columns=['CO2_kmol_m3',
'CO_kmol_m3', 'H2_kmol_m3', 'H2O_kmol_m3', 'NO_kmol_m3', 'O2_kmol_m3',
'N_kmol_m3', 'N2_kmol_m3', 'O_kmol_m3', 'OH_kmol_m3', 'H_kmol_m3'])
matriz3 = pd.DataFrame(Matriz_Verde, columns=['K1_f', 'K1_r', 'K2_f',
'K2_r', 'K3_f', 'K3_r'])
matriz4 = pd.DataFrame(Matriz_Rosa, columns=['P_CO2', 'P_CO', 'P_H2',
'P_H2O', 'P_NO', 'P_O', 'P_N2', 'P_N', 'P_O2', 'P_OH', 'P_H'])

### Reset do índice das matrizes
matriz1.reset_index(drop=True, inplace=True)
matriz2.reset_index(drop=True, inplace=True)
matriz3.reset_index(drop=True, inplace=True)
matriz4.reset_index(drop=True, inplace=True)

### Alinhamento das matrizes
max_rows = max(len(matriz1), len(matriz2), len(matriz3), len(matriz4))
matriz1 = matriz1.reindex(range(max_rows))
matriz2 = matriz2.reindex(range(max_rows))
matriz3 = matriz3.reindex(range(max_rows))
```

```
matriz4 = matriz4.reindex(range(max_rows))

### Junção das matrizes para apresentação horizontal
combined_df = pd.concat([matriz1, matriz2, matriz3, matriz4], axis=1)
print(combined_df)

### Leitura do Excel
book = load_workbook(Ficheiro)
Folha = 'Simulação'
Linha = 9
Coluna = 6

### Abertura e escrita do Excel
with pd.ExcelWriter(Ficheiro, engine="openpyxl", mode="a",
if_sheet_exists="overlay") as writer:
    # Escrita na folha Simulação
    combined_df.to_excel(writer, sheet_name=Folha, startrow=Linha-1,
startcol=Coluna-1, index=False, header=False)

print(f"New data added to '{Folha}' starting at row {Linha}, column
{Coluna}")
```

Anexo A - Energias livres de formação de Gibbs

T	**CO_2**	**CO**	**H_2**	**H_2O**	**N_2**	**NO_2**	**NO**	**O_2**	**O**	**H**	**OH**
K	$kJ/kmol$	$kJ/kmol$	$kJ/kmol$	$kJ/kmol$	$kJ/kmol$	$kJ/kmol$	$kJ/kmol$	$kJ/kmol$	$kJ/kmol$	$kJ/kmol$	$kJ/kmol$
1600	-396389	-252214	0	-158733	0	133981	70149	0	148342	130700	14753
1700	-394414	-260711	0	-152983	0	140303	68875	0	141702	124777	13352
1800	-396425	-269164	0	-147216	0	146620	67601	0	135049	118830	11958
1900	-396424	-277576	0	-141435	0	152931	66327	0	128384	112859	10573
2000	-396410	-285948	0	-135643	0	159238	65054	0	121709	106869	9194
2100	-396384	-294281	0	-129841	0	165542	63782	0	115023	100860	7823
2200	-396346	-302576	0	-124030	0	171843	62511	0	108329	94834	6458
2300	-396294	-310835	0	-118211	0	178143	61243	0	101627	88794	5099
2400	-396230	-319057	0	-112386	0	184442	59976	0	94918	82739	3746
2500	-396152	-327245	0	-106555	0	190742	58711	0	88203	76672	2400
2600	-396061	-335399	0	-100719	0	197042	57448	0	81483	70593	1060
2700	-395957	-343519	0	-94878	0	203344	56188	0	74757	64504	-275
2800	-395840	-351606	0	-89031	0	209648	54931	0	68027	58405	-1604
2900	-395708	-359661	0	-83181	0	215955	53677	0	61292	52298	-2927
3000	-395562	-367668	0	-77326	0	222265	52426	0	54554	46182	-4245
3100	-395403	-375677	0	-71467	0	228579	51178	0	47812	40058	-5556
3200	-395229	-383639	0	-65604	0	234898	49934	0	41068	33928	-6862
3300	-395041	-391571	0	-59737	0	241221	48693	0	34320	27792	-8162
3400	-394838	-399474	0	-53865	0	247549	47456	0	27570	21650	-9457
3500	-394620	-407347	0	-47990	0	253883	46222	0	20818	15502	-10745