

Modelagem e Simulação de uma Caldeira a Carvão Pulverizado

L. S. Ferreira*, C. P. Rodrigues, A. R. Secchi, J. O. Trierweiler, M. A. Lansarin, L. D. F. Marczak, T. F. Mendes
Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Resumo - Este trabalho é parte de um projeto interdisciplinar que tem por objetivo desenvolver uma ferramenta computacional para simular uma usina termoeletrica, incluindo o gerador elétrico, turbinas, condensadores, bombas, trocadores de calor e o gerador de vapor. Neste trabalho, foram consideradas tanto a modelagem da câmara de combustão quanto a troca térmica entre os gases e as correntes de água e vapor. Um modelo matemático pseudo-homogêneo unidimensional, com propriedades físicas variáveis, foi usado para descrever a câmara de combustão. Na troca térmica vários mecanismos foram considerados tais como radiação, convecção e mudança de fase. Todo o modelo foi implementado em Fortran 90 e acoplado a um sistema SCADA para monitoramento do processo e treinamento de operadores. Comparações entre valores simulados e experimentais típicos foram realizadas sendo obtidos resultados satisfatórios (com erros menores que 5%).

Keywords - carvão pulverizado, gerador de vapor, combustão.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho é resultado de um projeto interdisciplinar entre a CGTEE (Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica) e os Departamentos de Engenharia Química, Mecânica e Elétrica da UFRGS, visando o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para simulação da geração de energia na Usina Termoeletrica Presidente Médici (UTPM). A Fase B da Usina, localizada em Candiota – RS, é composta principalmente por 2 geradores de vapor (Fase B) com capacidade máxima de 160 MW cada, 2 turbinas e 2 geradores elétricos. Neste trabalho, serão apresentados alguns resultados de simulação e discutidos os modelos fenomenológicos para a câmara de combustão e para a troca térmica entre as partes internas da caldeira (gases e superfícies radiantes, cinzas e gases, tubos da parede, economizadores, reaquecedores e superaquecedores).

Os processos de combustão se dão a partir de um grupo de reações heterogêneas, nas quais os reagentes e/ou produtos estão em fases diferentes. Este processo pode ser modelado de diversas formas, incluindo desde equações totalmente empíricas até modelos fenomenológicos com alto nível de detalhamento. Uma revisão de modelos matemáticos multidimensionais para combustão de carvão e

gaseificação pode ser encontrada em [5], [7] e [12]. Os fenômenos físicos e químicos necessários para desenvolver um modelo fenomenológico rigoroso são [1]: (1) fase gás, mecânica dos fluidos turbulenta com troca térmica; (2) fase gás, combustão turbulenta; (3) transporte de energia por radiação; (4) multifásico, mecânica dos fluidos turbulenta; (5) evaporação de líquido de partículas ou gotículas; (6) devolatilização de partículas; (7) oxidação de partículas; (8) formação de fuligem; (9) formação e distribuição dos poluentes; e, (10) formação de depósitos e escórias. Naturalmente, o grau de complexidade adotado para modelar cada fenômeno dependerá da aplicação final do modelo a ser desenvolvido.

Neste trabalho, com o objetivo de construir um simulador para uma usina completa, foi desenvolvido um modelo matemático unidimensional e pseudo-homogêneo para o processo de combustão, com propriedades físicas variáveis e com base em balanços de massa e energia. Os modelos de combustão unidimensionais têm a vantagem de reduzir o tempo computacional, porém provêm resultados de baixa qualidade e menos informações quantitativas que os modelos multidimensionais. No entanto, de acordo com os objetivos deste trabalho, os modelos simplificados são capazes de prover a informação necessária, como pode ser visto pelos resultados apresentados, em tempo computacional aceitável para treinamento de operadores e monitoração de processos.

Durante o processo de combustão, a troca térmica ocorre por diversos mecanismos sendo a radiação o principal deles. Diversos fatores afetam a troca térmica e os mais relevantes são: (i) os três tipos de troca térmica (condução, convecção e radiação) ocorrem ao mesmo tempo. Os gases CO_2 e H_2O , principalmente, têm a capacidade de emitir ou absorver grande quantidade de energia radiante tanto na região da câmara de combustão quanto na região dos superaquecedores, reaquecedores e economizadores. Este efeito é maior a medida que a temperatura dos gases de combustão aumenta; (ii) presença de partículas sólidas na suspensão e deposição de cinza nos tubos; (iii) arranjo geométrico dos tubos, queima de combustíveis com propriedades variáveis e combustão instável; (iv) posição dos queimadores e distribuição das isoterms no interior da fornalha.

* Para quem toda a correspondência deve ser encaminhada.

Estes fatores aumentam a complexidade da modelagem de modo que foram necessárias algumas simplificações descritas adiante neste artigo.

II. DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROCESSO

O carvão mineral usado como combustível é classificado com sub-betuminoso, e de acordo com os dados da UTPM apresenta um alto valor calorífico variando de 10.885,7 até 13.397,8 kJ kg⁻¹, cinzas variando entre 52,2 e 59,0 % e umidade até 17%. O carvão é armazenado em silos e antes de entrar na câmara de combustão é pulverizado em moinhos com o objetivo de melhorar o seu rendimento térmico. O carvão é então arrastado pelo ar primário e alimentado aos queimadores. O ar secundário é injetado nos queimadores de modo a promover a dispersão do carvão dentro da câmara de combustão. Os queimadores estão posicionados nos cantos da câmara e a mistura das correntes acontece quando dois fluxos transversos colidem provocando turbulência e retenção das partículas de carvão por tempo suficiente para que se dê a combustão em suspensão.

O gerador de vapor da UTPM mede 10m x 10m (seção transversal quadrada) e tem 65m de altura, sendo que os primeiros 30m correspondem a altura da câmara de combustão envolta pela parede d'água espiral. O volume total da câmara de combustão é de 3000m³. De modo a avaliar a geração de energia na caldeira, a câmara de reação foi dividida em diferentes zonas como mostrado na Figura 1. Foi considerado que todo o carvão e ar são alimentados na primeira zona.

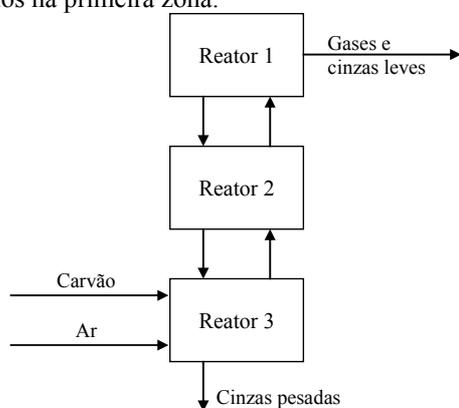


Figura 1. Divisão da câmara de reação em zonas.

O fluxo ascendente de cinzas leves e gases é transferido para a zona seguinte pelo topo e o fluxo descendente de cinzas pesadas deixa a zona pelo fundo da câmara de reação devido a gravidade. As cinzas leves são arrastadas pelos gases de combustão em direção aos superaquecedores, reaquecedores e economizadores. Os gases de exaustão são tratados para retenção de cinzas leves em precipitadores eletrostáticos antes de serem expelidos pela chaminé, evitando danos ao meio ambiente.

A água de alimentação é pré-aquecida nos Economizadores 1 e 2 (ECO1 e ECO2) antes de entrar na caldeira, onde toda a água é vaporizada. Os tubos da parede foram discretizados em seções de forma a facilitar os cálculos da transferência de calor. O vapor é coletado no topo da caldeira, enviado para o separador (apenas na partida da unidade) e depois para o primeiro

Superaquecedor, ITS (superaquecedor de temperatura intermediária). Do ITS o vapor segue para o segundo Superaquecedor, o HTS (superaquecedor de alta temperatura). Do HTS o vapor é enviado para a turbina de alta pressão onde é expandido gerando trabalho. Vapor de média pressão retorna à caldeira entrando no primeiro reaquecedor, LTR (reaquecedor de baixa temperatura) e a seguir no HTR (reaquecedor de alta temperatura). Do HTR o vapor segue para a turbina de média pressão. A temperatura de entrada e a corrente interna dos superaquecedores e reaquecedores são manipuladas através do *atemperamento* de forma a controlar a temperatura da corrente que vai para a turbina. O atemperamento consiste em injetar água líquida na corrente de forma a garantir que a temperatura do vapor não ultrapasse um determinado *set point*. O fluxograma do processo pode ser visto na Figura 2.

Os tubos da parede são ligeiramente inclinados formando uma espiral. No nível do ITS a inclinação muda para vertical e assim permanece até atingir o topo da caldeira. A energia liberada pela combustão é responsável pela evaporação da água nos tubos e os fenômenos de troca térmica que ocorrem na caldeira são: (i) transferência por radiação e convecção entre os gases e os tubos da parede/tubos dos bancos de superaquecedores, reaquecedores e economizadores; e, (ii) condução térmica da parede dos tubos para a água.

As considerações e simplificações aplicadas na modelagem da câmara de reação são as seguintes:

a) a câmara de reação foi modelada como uma série de CSTRs e as reações principais são mostradas na Tabela 1;

Tabela 1. Principais reações consideradas no modelo.

$C_{(s)} + CO_{2(g)} \rightarrow 2CO_{(g)}$	$CO_{(g)} + H_2O_{(v)} \rightarrow CO_{2(g)} + H_{2(g)}$
$H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$	$C_{(s)} + H_2O_{(v)} \rightarrow CO_{(g)} + H_{2(g)}$
$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$	$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$
$C_{(s)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow CO_{(g)}$	$C_2H_{6(g)} + \frac{7}{2}O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(l)}$
$CO_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$	$C_2H_{4(g)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$

b) Em [1] foi relatado que os compostos NO_x emitidos de para a atmosfera, a partir de combustíveis, consistem principalmente de óxido nítrico (NO). Os autores afirmaram que as ligações entre nitrogênio comuns no carvão são mais fáceis de serem quebradas que as ligações do nitrogênio molecular. E também que o NO combustível representa, em geral, 75-95% do NO total em combustores a carvão. Consequentemente, neste trabalho foi considerado que todo NO formado durante a combustão origina-se do nitrogênio presente no carvão;

c) o enxofre liberado da análise do carvão segue 2 caminhos: aquele permanece nas cinzas formadas (S_{cz}) e o aquele que reage (S_R). O enxofre remanescente nas cinzas foi considerado da mesma magnitude do trióxido de enxofre determinado pela NBR 8297; embora este método não tenha sido aplicado sobre as cinzas formadas na unidade industrial, mas sobre cinzas formadas na análise imediata do carvão.

d) a água presente no carvão evapora imediatamente, participando das reações;

e) o *char* é composto por carbono fixo, nitrogênio, hidrogênio, enxofre e oxigênio e estes elementos são

especificados pela NBR 8299, ASTM D-5373 e ASTM D-4239;

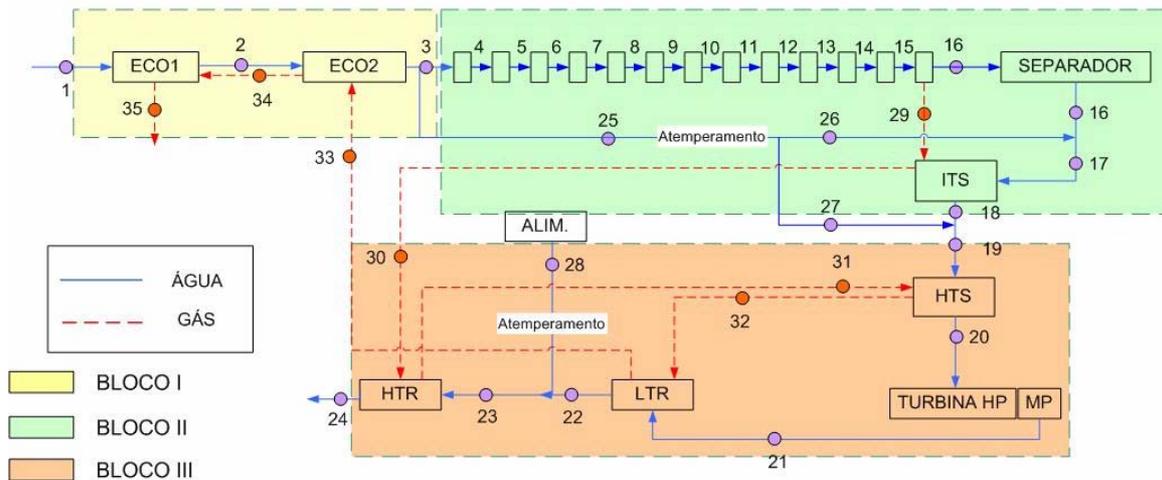


Figura 2. Fluxograma de água, vapor e gases.

f) a quantidade de produtos voláteis depende da temperatura e da taxa de aquecimento ([2], [3], [6], [8]). De modo a obedecer às considerações anteriores, a quantidade total de voláteis liberados pelo carvão foi considerada da mesma magnitude dos voláteis determinados na NBR 8290;

g) os produtos voláteis resultantes da pirólise são CH_4 , H_2 , CO_2 , CO , H_2O e outras espécies; suas frações mássicas, α_i , são estimadas das expressões fornecidas por [4];

h) considera-se que o comportamento da fase gasosa obedece as leis dos gases ideais;

i) o metano e outros hidrocarbonetos são instantaneamente convertidos em CO_2 e H_2O , e o calor de reação bem como as quantidades resultantes de CO_2 e H_2O são adicionados aos respectivos balanços;

j) as reações heterogêneas que acontecem na superfície das partículas são de primeira ordem e cineticamente controladas, como em [4];

l) as reações homogêneas na fase gás são de segunda ordem, como em [1].

A modelagem detalhada da câmara de combustão pode ser encontrada em [11].

As considerações do modelo de troca térmica entre os gases de combustão e a água/vapor são as seguintes:

a) a temperatura dos gases é fixa e conhecida a partir da resolução do modelo cinético;

b) os tubos inclinados da parede d'água foram considerados como horizontais [9];

c) a resistência a condução não foi considerada no modelo;

d) cada zona troca calor apenas com o seu vizinho imediato através de uma interface transparente.

A modelagem detalhada da transferência de calor pode ser encontrada em [10].

III. SIMULAÇÃO DO PROCESSO

A. Entradas e Saídas do Modelo

Os modelos foram implementados em FORTRAN 90. as variáveis que devem ser prescritas pelo usuário são: (i) temperatura, pressão e vazão das correntes de entrada de água/vapor no ECO1 e LTR, e (ii) temperaturas de entrada,

composição e vazão de ar e carvão pulverizado. As principais saídas do modelo são: (i) temperatura, pressão e vazão de cada corrente de água e vapor mostrada na Figura 2, (ii) qualidade do vapor em cada seção da câmara de combustão, (iii) temperatura, vazão e composição das correntes de gás, (iv) calor gerado e, (v) eficiência da caldeira.

B. Estrutura da Simulação

O sistema de troca térmica foi dividido em 3 Blocos – como mostrado na Figura 2 – onde cada parte foi resolvida em separado. Cada grupo possui um *loop* interno onde são realizadas um número fixo de iterações. As iterações globais são feitas até que todas as variáveis alcancem uma diferença relativa menor que dada tolerância. Após os cálculos da transferência de calor, os valores das variáveis são atualizados, o modelo cinético é resolvido e as variáveis relacionadas aos gases são atualizadas: concentração das espécies no gás, temperatura e vazão. A diferença máxima relativa (difmaxGV) é calculada entre os valores atuais das variáveis e os resultados da iteração anterior. O cálculo termina quando a tolerância estabelecida previamente é atingida para difmaxGV . A integração dos modelos de troca térmica e cinético é mostrada na Figura 3, onde $T(z)$ e $C_i(z)$ são a temperatura e a composição dos gases de combustão na coordenada axial z e $Q_w(z)$ é o calor trocado através das paredes d'água.

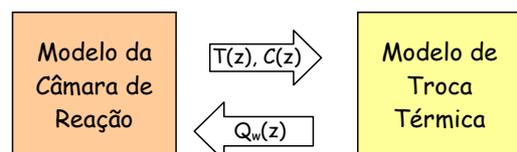


Figura 3. Interação entre os modelos de combustão e transferência de calor.

O método numérico utilizado para a solução do modelo cinético na câmara de reação é o método de Newton-Raphson com fatoração LU e pivotamento parcial. O modelo térmico é resolvido pelo método de Gauss-Seidel.

IV. INTERFACE PARA SIMULAÇÃO

A ferramenta computacional resultante deste trabalho será utilizada principalmente para treinamento de operadores e engenheiros. Desta forma, a interface gráfica deveria ser similar a que é utilizada atualmente pelos operadores. A interface foi implementada pela empresa TRISOLUTIONS usando o *E3 Studio* (www.elipse.com.br). A Figura 4 mostra a tela principal da seção da caldeira. Quase todas as entradas e saídas citadas na seção III podem ser vistas nesta tela.

Com esta ferramenta é possível: (i) simular qualquer situação entre as regiões de validade definidas para cada entrada; (ii) salvar e carregar simulações; (iii) fazer uma seqüência de simulações, por exemplo, é possível simular automaticamente os resultados para geração de 90 a 150 MW; (iv) os resultados de uma seqüência de simulação podem ser vistos na própria aplicação ou exportados para o

EXCEL; e (v) dados de planta reais podem ser importados e comparados com os resultados simulados.

V. RESULTADOS

A comparação entre alguns valores medidos e simulados é mostrada na Tabela 2. De acordo com estes resultados, pode-se dizer que o modelo de transferência de calor é capaz de prever as variáveis com acuracidade e desvios aceitáveis na ordem de 10%. Deve ser salientado que alguns valores de variáveis de entrada (m_1 , p_1 , t_1 , p_{21}) - calculados pelo modelo termohidráulico desenvolvido pelo grupo da Eng. Mecânica para outros equipamentos do ciclo térmico - são ligeiramente diferentes dos valores esperados. Para identificar estas correntes veja a Figura 2.

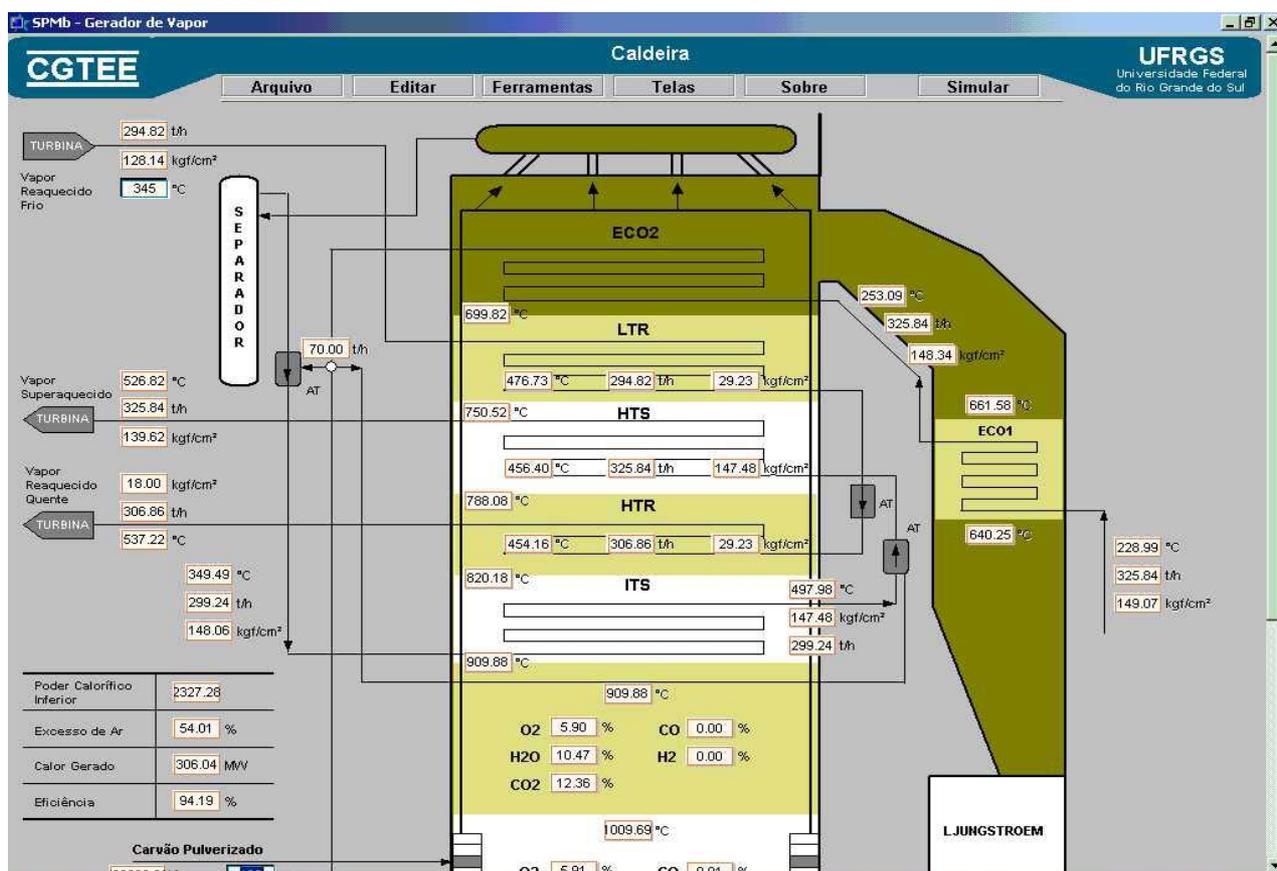


Figura 4. Tela CALDEIRA.

A Figura 5 mostra o perfil de temperatura previsto pelo modelo para a câmara de reação. Note que a temperatura da câmara atinge um máximo quando a razão ar/carvão, na alimentação, é igual a quantidade estequiométrica. Veja na Figura 6 que apenas quando a razão ar/carvão está acima do valor estequiométrico, isto é quando é usado excesso de ar, a geração de calor atinge o valor máximo. O excesso de ar garante que será atingido o ponto de mínima concentração de CO no gás de combustão emitido para a atmosfera, como pode ser visto na Figura 7.

A Figura 8 apresenta a predição do modelo para a composição do gás que deixa a caldeira. A porcentagem de CO₂ está relacionada à quantidade de carbono já que este valor alcança um máximo quando a razão ar/carvão é igual a

quantidade estequiométrica. Consequentemente, a medida que aumenta a quantidade de ar suprida ao sistema, a porcentagem de CO₂ reduz devido ao aumento de O₂ e N₂ não-reagentes, resultando na diluição da quantidade de CO₂ no gás de combustão.

A composição do gás de combustão é medida rotineiramente com o objetivo de controlar a eficiência da combustão. Desta forma, as medidas de concentração de dióxido de carbono (CO₂) e oxigênio (O₂) no gás de combustão são disponíveis. O modelo foi ajustado com base nestes dados medidos e usando a formulação da máxima verossimilhança para a estimação dos parâmetros, considerando os experimentos independentes e com distribuição normal.

Tabela 2. Comparação entre dados medidos e preditos.

	122 MW medido	122 MW predito	desvio (%)	130 MW medido	130 MW predito	desvio (%)	142 MW medido	142 MW predito	desvio (%)
m1 [t/h]	389	396,8	2,01	420	424,3	1,02	470	467,2	0,60
p1 [kgf/cm ²]	158	149,1	5,63	172	157,8	8,26	190	171	10,00
t1 [°C]	174,5	198,8	13,93	183	201,3	10,00	178	204,8	15,06
t3 [°C]	267	266,5	0,19	271	268,1	1,07	270	270,1	0,04
t17 [°C]	350	339,6	2,97	353,5	344,2	2,63	361	350,6	2,88
t18 [°C]	475	449,5	5,37	469,5	449	4,37	475,5	447	5,99
t19 [°C]	427,5	437,4	2,32	425	434,8	2,31	430	431,4	0,32
p20 [kgf/cm ²]	128	135,4	5,78	135	143,4	6,22	147	155,6	5,83
t21 [°C]	350	345	1,43	358	345	3,63	363	345	4,96
t22 [°C]	470	481,1	2,36	459,5	481,2	4,72	485,2	481,1	0,84
t23 [°C]	445,5	452,6	1,59	440,5	450,95	2,37	437	452,6	3,57
t24 [°C]	534	534	0,00	529	534	0,95	533	534	0,19
p24 [kgf/cm ²]	32	34,9	9,06	35	37	5,71	37	40,1	8,38

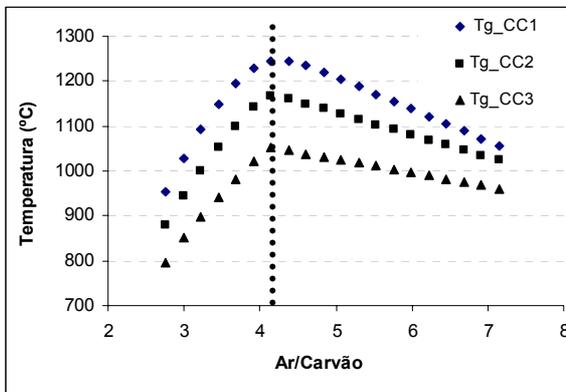


Figura 5. Temperatura estacionária versus razão ar/carvão nas zonas da Câmara de Reação.

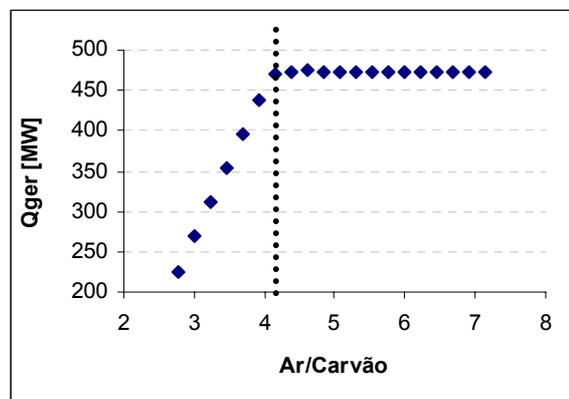


Figura 6. Calor gerado pelas reações de combustão (estado estacionário).

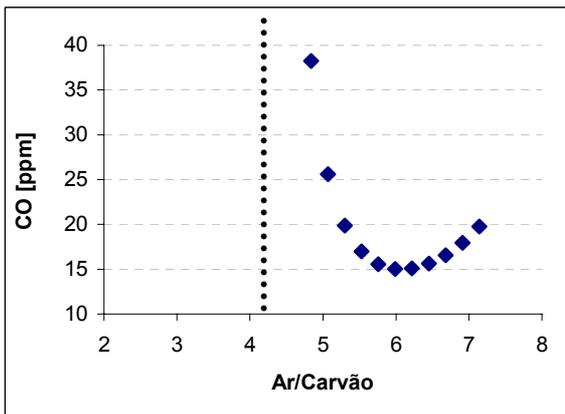


Figura 7. Concentração estacionária de monóxido de carbono na saída da câmara de reação.

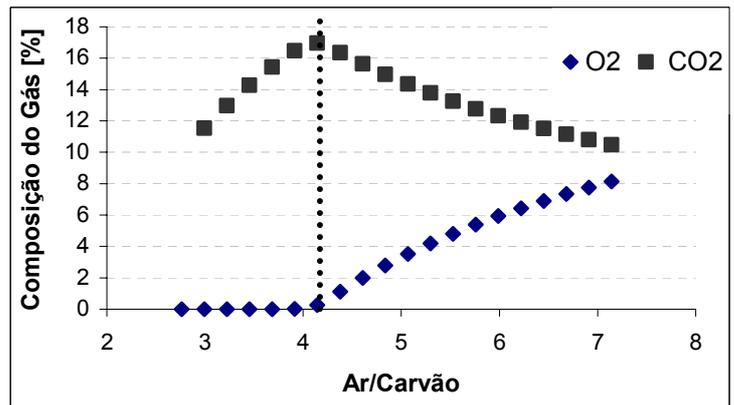


Figure 8. Percentagem de CO₂ e O₂ no gás de combustão (estado estacionário).

A Tabela 3 mostra os valores medidos e preditos do percentual de O₂ e CO₂ para determinadas condições de operação (vazão de ar e carvão). Como resultado do processo de estimação, a vazão de ar na câmara de reação aumentou em 9,6%, representando a quantidade esperada de vazão de ar não medida na entrada representando a quantidade esperada da taxa de alimentação de ar não medido. De acordo com os resultados, é possível dizer que o modelo é capaz de prever as concentrações percentuais de

O₂ e CO₂ na saída com acuracidade e desvios na ordem de 10%

A Figura 9 mostra a eficiência do gerador de vapor em relação à razão ar/carvão. A eficiência foi calculada a partir da razão entre a potência líquida entregue para o vapor e a potência do combustível alimentado na câmara de combustão. A eficiência da caldeira diminui a medida que a quantidade de ar fornecida ao sistema aumenta.

A Figura 10 apresenta a eficiência líquida do ciclo térmico em relação a razão ar/carvão. Pode ser observado

que a eficiência alcança um mínimo quando a proporção de ar e carvão é igual a quantidade estequiométrica; acima

deste ponto ela permanece constante.

Tabela 3. Concentrações percentuais medidas e previstas de O₂ and CO₂.

Carvão (kg s ⁻¹)	Ar (m ³ s ⁻¹)	% O ₂ predita	% O ₂ medida	Desvio (%)	% CO ₂ predita	% CO ₂ medida	Desvio (%)
23,66	245,47	8,14	7,80	-4,36	10,47	11,00	4,86
26,99	260,15	6,95	7,00	0,67	11,47	12,00	4,42
27,30	266,84	7,07	7,00	-1,01	11,37	10,00	-13,37
27,60	265,99	7,74	7,00	-10,50	10,81	12,20	11,40
30,33	310,90	7,74	8,00	3,28	10,81	11,00	1,72
30,64	299,45	6,49	7,00	7,23	11,85	11,40	-3,95
35,49	341,92	6,90	7,00	1,43	11,51	12,00	4,09
36,10	357,82	7,49	7,00	-6,95	11,02	12,40	11,10

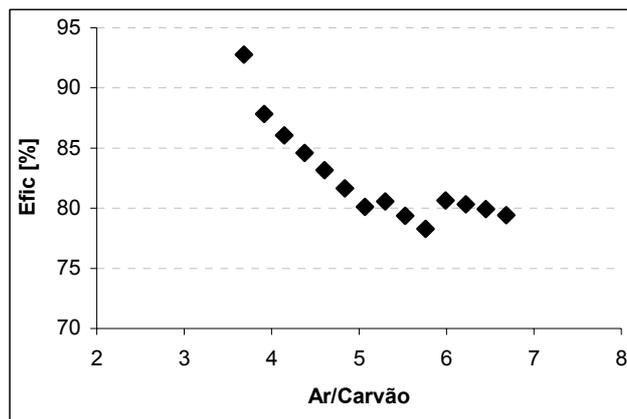


Figura 9. Eficiência do Gerador de Vapor.

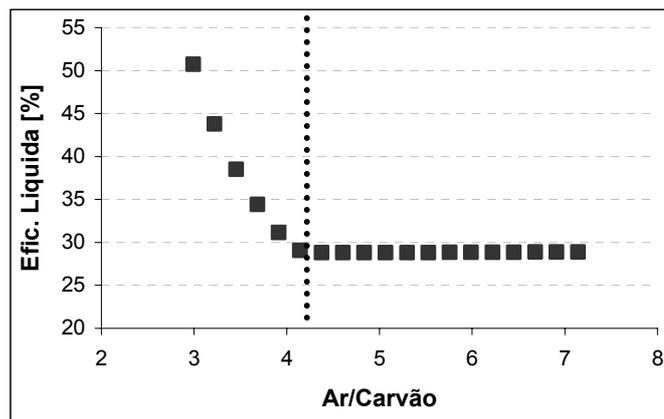


Figura 10. Eficiência Líquida do Ciclo Térmico.

VI. CONCLUSÕES

A simulação do Gerador de Vapor, integrado ao ciclo térmico de geração elétrica, permitiu avaliar a eficiência de processo global, fornecendo subsídios para a sua otimização e para a condução de queimas mais limpas reduzindo problemas associados a emissão de gases poluentes. Adicionalmente, o simulador é uma ferramenta importante para estudo de casos e treinamento de operadores.

Foram discutidas e apresentadas a modelagem e simulação da troca térmica e da combustão numa caldeira a carvão pulverizado. Na troca térmica, foi modelado o fenômeno radiativo entre os gases e as superfícies da caldeira. Em termos de convecção, estes cálculos são feitos tanto para as correntes unifásicas quanto para as bifásicas. Para a câmara de reação foi desenvolvido um modelo estacionário, unidimensional, pseudo-homogêneo com propriedades físicas variáveis que foi capaz de prever satisfatoriamente os comportamentos observados na planta real com baixo custo computacional.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Periódicos:

- [1] Eaton, A.M., Smoot, L.D., Hill, S.C., Eatough, C.N. (1999). "Components, Formulations, Solutions, Evaluation, and Application of Comprehensive Combustion Models". *Prog. Energy Comb. Sci.*, v. 25, p. 387-436.
- [2] Dutta, S., Wen, C.Y., Belt, R.J. (1977). "Reactivity of Coal and Char. 1. In Carbon Dioxide Atmosphere". *Industrial Engineering Chemical Process Design Development*, v. 16, nº 1, p. 20-30.
- [3] Roberts, D.G., Harris, D.J. (2000). "Char Gasification with O₂, CO₂, and H₂O: Effects of Pressure on Intrinsic Reaction Kinetics". *Energy and Fuels*, v. 14, p. 483-489

- [4] Weimer, A.W., Clough, D.E. (1981). "Modeling a Low Pressure Steam-Oxygen Fluidized Bed Coal Gasifying Reactor". *Chem. Eng. Sci.*, v. 36, p. 549-567.

Livros:

- [5] Brewster, B.S., Hill, S.C., Radulovic, P.T., Smoot, L.D. (1993). *Fundamentals of coal combustion for clean and efficient use*. Elsevier, Amsterdam.
- [6] Howard, H.C. (1963). In Lowry, H.H. *Chemistry of Coal Utilization*. John Wiley & Sons, EUA, Sup. Volume.
- [7] Smoot, L.D., Smith, P.J. (1985). *Coal Combustion and Gasification*. Plenum Press, New York
- [8] Thurgood, J.R., Smoot, L.D. (1979). – in: Smoot, L.D.; Pratt, D.T. *Pulverized-coal Combustion and Gasification*. New York: Plenum Press, p. 169.
- [9] VDI-WÄRMEATLAS, 1997. "Verein Deutscher Ingenieure" CD-ROM. VDI-Verlag.

Artigos em Anais de Conferências:

- [10] Ferreira, L.S., Trierweiler, J.O., Marczak, L.F.D (2004). Simulação de uma Caldeira a Carvão Pulverizado: Troca Térmica, In *Proceedings of 10th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences*, Rio de Janeiro, RJ, 11 p., CDROM, paper CIT04-0729.
- [11] Rodrigues, C.P., Lansarin, M.A., Secchi, A.R., Mendes, T.F. (2004). Simulação de uma Caldeira a Carvão Pulverizado: Câmara de Reação, In *proceedings of the XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, Curitiba, PR, 8p., CDROM, paper 2226.

Relatórios Técnicos:

- [12] Niksa, S. (1996). IEA PER/31 Report, IEA Coal Research. London.