

ANÁLISE TÉRMICA E AMBIENTAL DA QUEIMA DE RESÍDUOS PRIMÁRIOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE EM SUBSTITUIÇÃO AO ÓLEO COMBUSTÍVEL

Macedo, Julio Cezar Ferreira, julio.macedo@uninove.br¹
Silva, Rogério José, rogeriojs@unifei.edu.br²

¹UNINOVE – Universidade Nove de Julho, Diretoria de Ciências Exatas – São Paulo - SP,

²Universidade Federal de Itajubá, IEM – Instituto de Engenharia Mecânica. Av. BPS, 1303, Itajubá, MG, 37500-903.

Resumo: *A falta de espaço físico para disposição dos resíduos gerados no tratamento de efluentes é um dos maiores problemas da indústria de papel e celulose. O resíduo primário (ou lodo primário) representa cerca de 2% da produção total de celulose e papel, sendo sua composição formada por fibras celulósicas e materiais de natureza inorgânica. A queima deste resíduo se faz interessante devido a indústria papeleira necessitar de um grande consumo de energia para os seus processos, principalmente na geração de vapor, utilizando em sua matriz energética a queima de licor preto, resíduos de madeira, óleo combustível e gás natural. O resíduo primário possui um alto teor de umidade, de aproximadamente 60%, e baixo poder calorífico, em torno de 3880KJ/kg. Este resíduo poderia substituir parcialmente o consumo de óleo combustível utilizado para queima conjunta em uma caldeira de queima de biomassa, utilizando a tecnologia de grelha rotativa. Os benefícios ambientais desta possibilidade de queima seriam a diminuição da quantidade de resíduos enviada para a deposição e o conseqüentemente aumento da vida útil do aterro industrial e a diminuição do SOx emitido pelo óleo combustível. Haveria ainda a diminuição dos custos com o manuseio do aterro industrial e com a compra de combustível, bem como na preparação para queima (armazenamento, aquecimento e bombeamento). Este trabalho apresenta uma análise térmica realizada utilizando a Primeira Lei da Termodinâmica, no qual é feita a substituição da energia fornecida através da combustão do óleo combustível pela energia fornecida pela queima do lodo primário. A análise ambiental avaliou as emissões provenientes da combustão na caldeira com e sem a introdução deste resíduo, comparando-as com os padrões vigentes nas normas brasileiras, e avaliando a possibilidade de queima dentro dos padrões ambientais estabelecidos.*

Palavras-chave: *Papel e Celulose; Resíduos Industriais; Destruição Térmica; Análise Térmica*

1. INTRODUÇÃO

Certos tipos de papel podem ser produzidos através de vários processos diferentes, por exemplo, papel de imprimir pode ser feito através de vários tipos de polpação, como mecânica, semi-mecânica, termomecânica, quimiotermodomecânica, sulfato e sulfito. Os processos de obtenção da polpa e do papel consistem de muitos estágios, além disso, os materiais fibrosos necessitam para a sua fabricação de diferentes produtos químicos, uma grande quantidade de água e energia na forma de vapor, consumo de vários combustíveis e grande quantidade de energia elétrica (IPPCEU, 2001).

Em geral, na fabricação de celulose são utilizados como matérias-primas madeira, papel reciclado e muitos tipos de resíduos agrícolas. Madeira, a principal matéria-prima de obtenção do papel, é constituída basicamente de: celulose, hemicelulose, lignina e extrativos. A celulose é um polissacarídeo linear constituído por um único tipo de unidade de açúcar. As hemiceluloses também são polissacarídeos, porém constituído de varias unidades de açúcares, além de serem polímeros ramificados de cadeia mais curta. A lignina é um polímero amorfo de composição química complexa, que confere firmeza e rigidez ao conjunto de fibras celulósicas. Os constituintes menores incluem compostos orgânicos de diversas funções químicas e compostos inorgânicos, os que são solúveis em solventes orgânicos ou em água, denominam-se extrativos, a composição química de formação da madeira é demonstrado na Tab. (1) (UNEP, 2003).

Em fábricas integradas de produção de papel e celulose existem fontes que degradam as fibras celulósicas em maior grau. Processos que utilizam produtos químicos ou mecânicos que fragmentam a celulose há um tamanho inadequado de comprimento para oferecer resistência ao rasgo para os papéis fabricados, neste caso, acabam eliminando estes resíduos junto ao seu efluente líquido. As principais fontes formadoras do resíduo são quatro: o processo de branqueamento de polpa celulósica; o processo de refinação das fibras para formação da folha de papel; o próprio processo de formação das folhas de papel e o processo de produção das fibras derivadas de reciclagem (Macedo, 2006).

Tabela 1. Composição da formação da madeira de eucalipto.

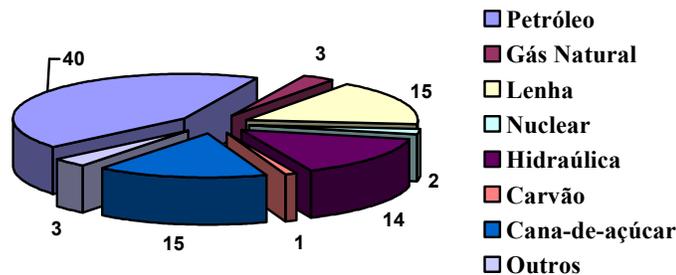
Celulose	40 a 45	Lignina	20 a 30
Hemicelulose	25 a 35	Extrativos	2 a 15

Estes resíduos acompanham o efluente fabril, sendo separados em grandes tanques de decantação na estação de tratamento de efluentes, ocorrendo a diminuição da sua umidade para cerca de 60% através de processo, sendo posteriormente depositados em aterros sanitários. Este resíduo é denominado lodo primário, por ser constituído de sólidos suspensos separados no primeiro estágio de tratamento do efluente industrial. O lodo primário é o resíduo de maior proporção a ocupar o aterro industrial.

O interesse na queima do lodo deve-se ao fato de diminuir consideravelmente a deposição em aterro sanitário, pois a relação entre o lodo gerado e a produção total de papel e celulose é de 1,5 a 3,0%. Com um cenário mundial de 390 milhões de toneladas anuais de papel e cerca de 187 milhões de toneladas anuais de celulose, tem-se a geração de grande quantidade de resíduo. O Brasil tem uma participação de 9,4 milhões de toneladas anuais de papel e de 12,4 milhões de toneladas anuais de celulose (BRACELPA, 2009).

Com a diminuição da deposição em aterro também diminuem as emissões de gás metano (CH_4) produzido pela decomposição do resíduo enterrado na ausência de oxigênio (O_2), o metano possui potencial vinte e cinco vezes maior de produzir o efeito estufa que o gás carbônico (CO_2) (Schnelle, 2001).

A substituição do óleo combustível também oferece contribuições significativas na ordem ambiental, pois diminuem a emissão de SO_x , derivados do enxofre contido na composição do combustível fóssil. Como no Brasil o consumo de combustíveis derivados do petróleo é bastante expressivo, como é demonstrado na Fig. (1). Entretanto, o uso de fontes renováveis representa atualmente uma boa parcela da matriz energética. Bons exemplos da utilização de fontes renováveis são as unidades de co-geração que queimam bagaço de cana, em indústrias sucroalcooleiras, e as de queima de cavacos de madeira e licor negro, em indústrias de papel e celulose (MME, 2004).

**Figura 1. Distribuição de produção de energia no Brasil (%).**

A queima do lodo diminui os custos de produção, pois com a diminuição da deposição do resíduo, haveria a diminuição da quantidade de mão-de-obra e maquinário que trabalham diretamente nos aterros, bem como a redução do custo pela compra e operação com o óleo combustível.

Por ter alto teor de umidade (aproximadamente 60%) e baixo poder calorífico (3880kJ/kg), a queima não se mantém sem um combustível auxiliar, no caso, utilizam-se cavacos de madeira como combustível principal e pequena parcela de óleo combustível como piloto.

A análise ambiental realizada quantificou os poluentes emitidos contidos nos combustíveis, bem como confrontou com os parâmetros legais oferecidos pelas Resoluções do CONAMA, que regulamentam as emissões para o meio ambiente (CONAMA, 2002).

2. PROCEDIMENTO

A análise térmica e ambiental desenvolveu-se em uma caldeira modelo SF 60.0-20.1-23.4, construída sob licença da Mitsubishi Inc., pela Zanini S/A Equipamentos Pesados, sendo do tipo aquatubular, de convecção natural com dois tubulões interligados por um feixe de tubos, com fornalha formada por quatro paredes de tubos de água operando em depressão. O piso é formado por duas grelhas rotativas para queima de cavacos, possuindo três passes de superaquecedores. O sistema água-vapor utiliza água desmineralizada a 120°C e 80kgf/cm², o vapor de saída é superaquecido a 400°C e 50kgf/cm².

O sistema de queima corresponde a cinco alimentadores de biomassa, operando com inversores de frequência para dosagem do material, além destes, possui quatro queimadores de óleo combustível usados como queima suplementar. O sistema opera com um ventilador de ar forçado que oferece o ar de combustão para o material, um ventilador de ar

secundário que favorece formar uma cortina de selagem, bem como efetuar o término da combustão e o controle do oxigênio livre. Há dois conjuntos de tubos de água trocando calor em contra corrente com os gases provenientes da fornalha, denominados economizadores e três feixes de tubos que também trocam calor em contra corrente com os gases da fornalha. Ainda possui um ventilador de exaustão dos gases da fornalha mantendo-a com pressão negativa

Na caldeira a grelha rotativa, a combustão do material se apresenta em três etapas que ocorrem simultaneamente, a primeira é a evaporação da umidade, a segunda é a pirólise do material e a queima dos materiais voláteis e a terceira é a queima do carbono fixo. A movimentação da grelha auxilia na coleta das cinzas formadas na queima do material. O combustível é colocado ao longo da superfície da grelha através da mistura do material com ar insuflado, aumentando assim a eficiência da caldeira, aumentando a superfície de queima na zona de combustão (Järvinen et al., 2001).

A caldeira trabalha com excesso de ar e baixas taxas de transferência de calor. O ar é alimentado pela parte inferior da grelha, que define a temperatura de combustão, a combustão é completada pelo uso de ar secundário introduzido na parte superior da grelha, formando uma cortina na qual evita a passagem de materiais particulados. As paredes da fornalha são formadas por tubos retos, por onde água flui internamente, trocando calor com os gases provenientes da combustão. A fornalha trabalha com temperaturas ao redor de 980°C, condições que minimizam a formação de NO_x térmico e mantém a temperatura da fornalha abaixo da temperatura de fusão das cinzas acima da grelha (Zevenhousen, 2001). Na Fig. (2), visualiza-se a caldeira de biomassa em corte.

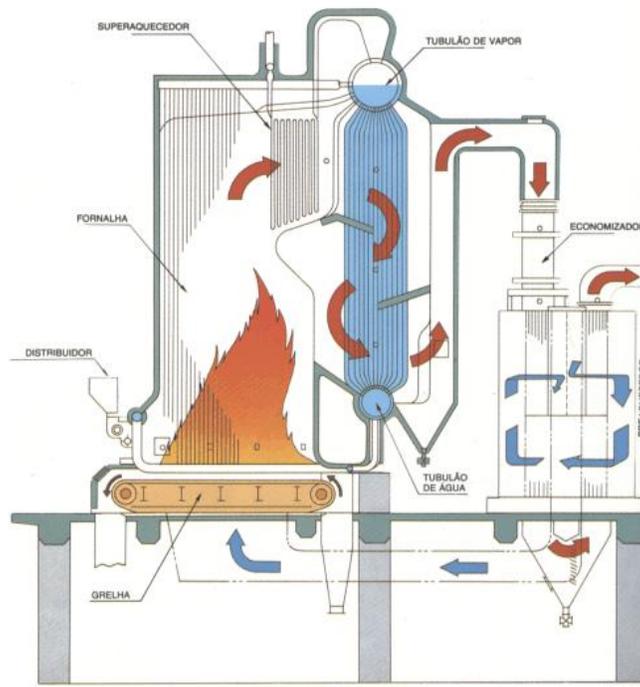


Figura 2. Vista em corte de uma caldeira de biomassa à grelha.

Para verificar a possibilidade de queima do lodo primário, foram analisadas 9 diferentes condições de queima, sendo nomeados de panoramas 1 a 9.

- Panorama 1: caldeira operando com 100% de óleo combustível, obtendo-se dados experimentais.
- Panorama 2: caldeira operando com 100% cavacos de eucalipto, obtendo-se dados experimentais.
- Panorama 3: caldeira operando com 100% de lodo primário, obtendo-se dados através de cálculos.
- Panorama 4: caldeira operando com 5,54% de óleo combustível e 94,46% de cavacos de eucalipto, obtendo-se dados experimentais.
- Panorama 5: caldeira operando com 5,36% de óleo combustível, 5,72% de lodo primário e 88,91% de cavacos de madeira, obtendo-se dados através de cálculos.
- Panorama 6: caldeira operando com 5,20% de óleo combustível, 11,10% de lodo primário e 83,70% de cavacos de madeira, obtendo-se dados através de cálculos.
- Panorama 7: caldeira operando com 5,05% de óleo combustível, 16,16% de lodo primário e 78,79% de cavacos de madeira, obtendo-se dados através de cálculos.
- Panorama 8: caldeira operando com 4,90% de óleo combustível, 20,94% de lodo primário e 74,16% de cavacos de madeira, obtendo-se dados através de cálculos.
- Panorama 9: caldeira operando com 2,60% de óleo combustível e 97,04% de lodo primário, situação hipotética no qual o resíduo utilizado é bem maior que o gerado.

Algumas considerações são importantes, tais como, a vazão de óleo se mantém no mínimo possível (0,42 kg/s) para garantir operacionalidade da caldeira, os panoramas 4, 5, 6, 7 e 8, utilizam a queima de lodo primário na proporção de 0, 25, 50, 75 e 100 %, respectivamente, da quantidade de resíduo gerado no tratamento de efluentes (6,3 kg/s).

A substituição ficou limitada a vazão máxima de ar fornecida pelos atuais ventiladores de ar de combustão e de tiragem de gases, e a mesma quantidade de energia (entalpia) fornecida pelos combustíveis, para manter a produção de vapor necessária para a malha energética fabril.

2.1. Características dos combustíveis

O óleo combustível 3A de baixo ponto fulgor, fornecido pela Petrobras, enquanto o resíduo primário derivado dos efluentes é caracterizado como classe II – Resíduos Não Inertes, no qual pode ser acondicionado em tambor ou caçamba e serem dispostos em aterro industrial, reciclado ou incinerado NBR10004 (ABNT, 1987). A composição elementar dos combustíveis é mostrada na Tab. (2).

Tabela 2. Composição elementar dos combustíveis.

Composição (%)	Óleo combustível	Cavacos de madeira	Resíduo
Carbono	80,90	34,30	13,39
Hidrogênio	9,00	4,11	2,14
Nitrogênio	0,00	0,21	0,21
Oxigênio	5,00	30,78	17,50
Enxofre	3,10	0,007	0,05
Cloro	0,00	0,00	0,005
Cinzas	0,09	0,504	8,14
Umidade	2,00	30,00	59,02
Poder calorífico (kJ/kg)	41700	9567	3880

A composição química do resíduo primário, que tem aspecto flocoso, característico de processo de deságue mecânico, e cor marrom, é demonstrada na Tab. (3), indica o resultado do material solubilizado, de acordo com a norma NBR10005 e 10006 (ABNT, 1987).

Tabela 3. Composição química do resíduo primário (mg/L).

Óleos e graxas	0,00	Chumbo	<0,05	Sódio	104	Dureza	560
Alumínio	0,2	Cobre	<0,02	Zinco	0,9	Fenóis	0,008
Arsênio	<0,05	Cromo Total	<0,02	Níquel	0,00	Fluoretos	0,1
Bário	<0,1	Manganês	3,9	Ferro	69	Vanádio	0,00
Berílio	0,00	Mercúrio	<0,001	Cianetos	<0,001	Nitratos	<0,1
Cádmio	<0,005	Prata	<0,01	Cloretos	50	Sulfatos	<5

2.2. Resultados

Através da análise pela primeira lei da termodinâmica obtém-se a temperatura máxima de chama (temperatura adiabática), conforme Eq. (1), necessária para definir os parâmetros dos materiais de construção da caldeira, principalmente da fornalha. Considerando-se o processo sem perdas, a energia do combustível é a mesma dos produtos, sendo (Wylen, 2003).

$$\sum_R n_e \left(\bar{h}_f^0 + \Delta h \right)_e = \sum_P n_s \left(\bar{h}_f^0 + \Delta h \right)_s \quad (1)$$

Onde:

\overline{h}_f^0 é a entalpia de formação dos reagentes e dos produtos;

Δh é a variação de entalpia dos reagentes e dos produtos;

n é o número de moles dos reagentes e dos produtos.

A variação de entalpia de um composto químico é dada pela variação do calor específico em função da temperatura, conforme Eq. (2).

$$\Delta h = \int_{T_e}^{T_s} c_{p(r)} dT \quad (2)$$

Onde:

$c_{p(r)}$ é o calor específico em função da temperatura.

O calor específico pode ser calculado através da integração da Eq. (2), utilizando como limite inferior a temperatura ambiente (25°C). A variação da entalpia pode ser calculada, considerando a variação de c_p , de acordo com os coeficientes apresentados por Carvalho et al. (1977), de acordo com a Eq. (3).

$$(h - h_0) = (a.T_s + b.10^{-3}.T_s + c.10^5.T^{-1} + d)4,1868 \quad (3)$$

A Tab. (4) apresenta os coeficientes a, b, c e d, para o cálculo da variação de entalpia para os gases de combustão (Carvalho et al., 1977).

Tabela 4. Coeficientes para cálculos de c_p .

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
CO ₂	10,57	1,05	2,06	-3936
H ₂ O	7,30	1,23	0,00	-2286
SO ₂	11,40	0,94	1,84	-3992
O ₂	7,16	0,50	0,40	-2313
N ₂	6,83	0,45	0,12	-2117

A Fig. (3) apresenta os valores das temperaturas adiabáticas de chama calculadas os vários panoramas.

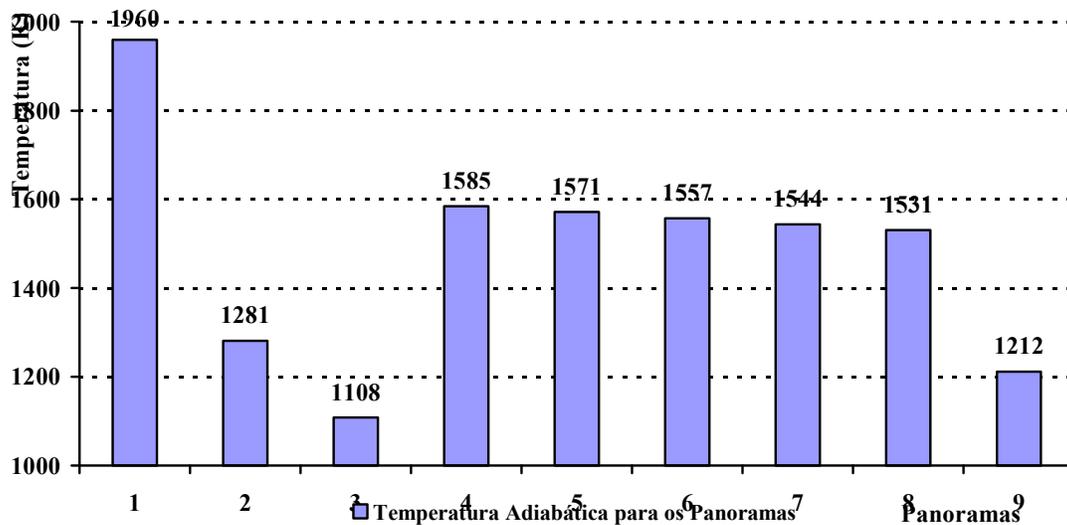


Figura 3. Comparação de temperaturas adiabáticas de chama.

O primeiro termo da Eq. (1) pode ser substituído pelo poder calorífico inferior do combustível (PCI), ou seja, a energia que o combustível fornece. Como em alguns panoramas há mistura de combustíveis, foi calculado o fluxo de combustíveis na mistura para manter a mesma quantidade de energia fornecida.

A Eq. (4) indica a variação da energia fornecida pela mistura de combustíveis.

$$H_{mistura} = \sum \dot{m}.PCI \quad (4)$$

Onde:

\dot{m} é a vazão mássica dos combustíveis;

H é a entalpia total dos combustíveis na mistura.

A Fig. (4) indica a entalpia fornecida pelos combustíveis nos diversos panoramas.

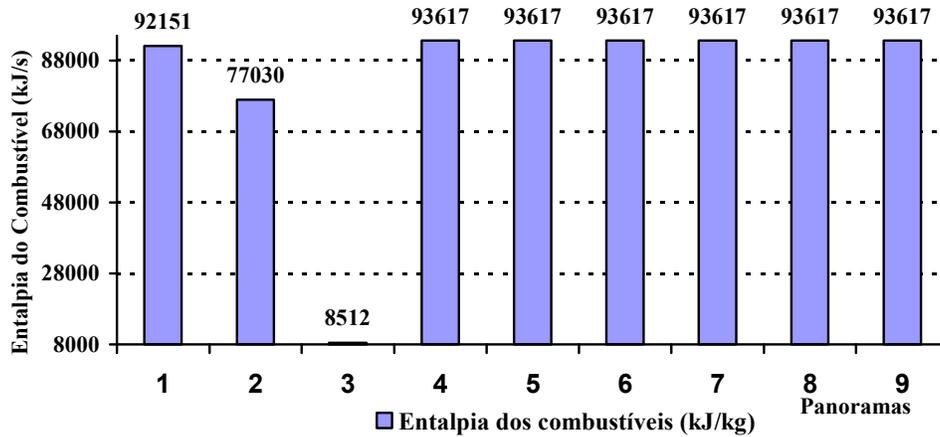


Figura 4. Comparação de entalpias dos combustíveis.

A emissão de poluentes foi calculada através da análise química do combustível, conforme Eq. (5), aplicando a lei da conservação da massa, onde assume que o poluente presente no combustível é emitido junto com os gases de exaustão (USEPA, 2001).

$$E = Q_f \cdot c \cdot \left(\frac{M_p}{M_f} \right) \quad (5)$$

Onde:

E é a emissão do poluente;

Q_f é a vazão dos gases de exaustão;

c é a concentração do poluente no combustível;

M_p é a massa molar do poluente emitido;

M_f é a massa molar do poluente no combustível.

Os valores obtidos e mostrados na Tab. (5) foram corrigidos para 7,0% de oxigênio livre em base seca, e comparados com os valores descritos na Resolução CONAMA N°316 de 2002.

Tabela 5. Níveis de emissões para os diversos panoramas (mg/L).

Panorama (mg/Nm ³)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Padrões CONAMA
Classe 1	0	0	1,604	0	0,1347	0,2685	0,4014	0,5335	4,2385	0,28
Classe 2	0	0	3,775	0	0,3170	0,6318	0,9446	1,2552	9,9728	1,40
Classe 3	0	0	6,733	0	0,5653	1,1268	1,6845	2,2384	17,785	7,00
SO ₂	2772	16,93	315	539	545	552	559	565	751	280
NO ₂	0	545	1416	464	489	515	540	565	1272	560
HCl	0	0	16,17	0	1,3579	2,7068	4,0465	5,3773	42,724	80
HF	0	0	0,149	0	0,0125	0,025	0,0374	0,0497	0,03948	5,00

Para a análise da destruição da molécula do fenol, dada pela Eq. (6), foi verificada seu comportamento pela cinética química, enquadrando ao referenciado na Resolução CONAMA N° 316 de 2002, no artigo 11, qual indica a necessidade de destruição de 99,99% do principal composto orgânico perigoso (PCOP).



A descrição começa pela análise da espontaneidade da reação através do cálculo da Energia Livre de Gibbs, dada pela Eq. (7) (Perry, 1999).

$$\Delta G_{fenol} = \left[(h_f^0 + \Delta h) + T_1 \cdot (s_f^0 + \Delta s) \right]_p - \left[(h_f^0 + \Delta h) + T_1 \cdot (s_f^0 + \Delta s) \right]_{O_2} + \left[\left(h_f^0 + \int_{298,15}^{T_1} c_p dT \right) + T_1 \cdot \left(s_f^0 + \int_{298,15}^{T_1} c_p dT \right) \right]_{fenol} \Bigg|_g \quad (7)$$

Onde:

s_f^0 é a entropia de formação;

Δs é a variação de entropia.

Calcula-se o calor específico do fenol através da Eq. (8), extraída de Perry (1999).

$$c_p = C_1 + C_2 \cdot \left[\frac{\frac{C_3}{T}}{\sinh\left(\frac{C_3}{T}\right)} \right]^2 + C_4 \cdot \left[\frac{\frac{C_5}{T}}{\cosh\left(\frac{C_5}{T}\right)} \right]^2 \quad (8)$$

Os coeficientes C_1 , C_2 , C_3 e C_5 são indicados pela Tab. (6).

Tabela 6. Dados do fenol.

	h_f^0 kJ/kmol	s_f^0 kJ/kmol.K	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
Fenol	96399	314,81	101,72	0,318	0	0	0

Para os valores da variação de entalpia utiliza-se a equação 2 e para a variação de entropia utiliza-se a Eq. (9).

$$\Delta s = \int_{T_e}^{T_i} \frac{C_{p(r)}}{T} dT \quad (9)$$

A velocidade de degradação do fenol é descrita pela Equação de Arrhenius, dada pela Eq. (10), em função do tempo de permanência na câmara de combustão.

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R.T} \quad (10)$$

Onde:

k é a constante de velocidade;

A é o fator de freqüência para o fenol;

E_a é a energia de ativação.

Calcula-se o tempo de permanência necessário para destruição de 99,9999% do fenol na fornalha, pela Eq. (11).

$$t_{(r)} = e^{\ln \left[\frac{-1}{A} \ln \left(\frac{100-99,9999}{100} \right) + \frac{E_a \cdot R}{T} \right]} \quad (11)$$

A Fig. (5) indica a variação do tempo de retenção (em segundos) em relação a temperatura da fornalha.

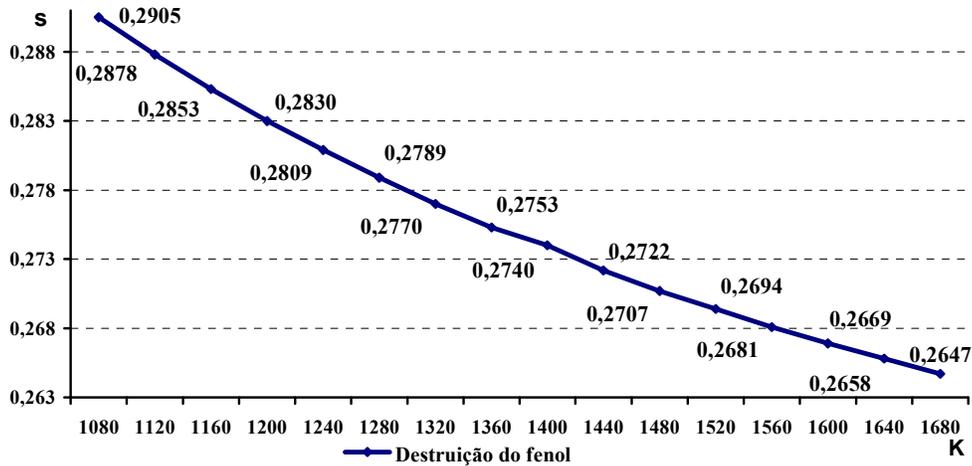


Figura 5. Tempo de residência pela temperatura para destruição do fenol.

A Tab. (7) indica o tempo de retenção na fornalha da caldeira de biomassa em cada panorama estudado.

Tabela 7. Tempos de retenção na caldeira de biomassa.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tempo de retenção (s)	16,96	12,87	102,0	11,94	11,88	11,83	11,77	11,71	10,20
Vazão de gases (m ³ /s)	175.507	231.228	29.197	219.841	221.899	223.957	226.015	228.075	292.054

3. CONCLUSÃO

Pela análise de dados, confirma-se que a melhor opção para queima do resíduo primário de estações de tratamento das indústrias de papel e celulose é a descrito no panorama 6. Neste caso caldeira opera queimando cerca de 5,20 % de óleo combustível, 11,10 % de lodo primário e 83,70 % de cavacos de madeira, obtendo-se dados através de cálculos.

Nesta situação de queima ocorre o menor consumo de óleo combustível, necessário apenas para manter a chama acesa e estável, o maior consumo de lodo possível, 50% do total gerado, porém ainda é necessário tratar os gases de exaustão para a emissão de SO₂, que está acima do limite permitido na legislação ambiental. Desta forma, utilizando um óleo combustível de menor teor de enxofre, é possível reduzir as emissões de enxofre, elevando um pouco os custos de aquisição do óleo. Assim, verifica-se ser possível destruir uma grande quantidade do resíduo primário produzido, e aproveitando o seu calor no processo.

4. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos - Classificação, 1987.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 10005 – Lixiviação de Resíduos, 1987.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 10006 – Solubilização de Resíduos, 1987.
- BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. Números do setor. www.bracelpa.org.br. Acesso: Fev. 2010.
- Carvalho, J.L.R., Assis, P.S., Minelli, R., Camilo, R.D., Campos, V.F., 1977. “Dados termodinâmicos para metalurgistas”. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Minas Gerais, Brasil, p. 370.
- Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, 20/12/2009, Resolução N° 316 “Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos”, Brasil, pp. 1-9.
- IPPCEU - European Integrated Pollution Prevention and Control, 2001. “Institute for prospective technological studies and sustainable development.” Reference document on best available techniques in the pulp and paper industry. Seville, Spain, p. 550.
- Jarvinen, T., Alakangas, E., January 2001. “Cofiring of Biomass – Evaluation of Fuel Procurement and Handling in Selected Existing Plants and Exchange of Information (COFIRING)”. *VTT Energy*. Finland, p. 13 – 35.
- Macedo, J.C.F., 2006. Análise Térmica e Ambiental da Queima do Lodo Primário da Fabricação de Papel e Celulose em Caldeira de Biomassa a Grelha. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.
- MME - Ministério de Minas e Energia, 2004, “Balanço Energético Nacional 2004” www.mmr.gov.br. Acesso Abr. 2006.
- Perry, R.H., Green, D.W., 1999. *Perry’s Chemical Engineer’s Handbook*. McGraw Hill.

- Schnelle, K.B., Brown, C.A., 2001. "Air pollution control technology handbook" CRC press.
- UNEP - United Nations Environment Programme, 2003. "Draft Guidelines on Best Available Techniques (BAT) for Pulp and Paper Process" *Expert Group on Best Available Techniques and Best Environmental Practices*. Villarrica, Chile, Second session, p. 42.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency, 2001. "Preferred and alternative methods for estimating air emissions from boilers" Emission inventory improvement program (EIIP), Vol. II, p.92.
- Wyllen, G.J.V., Sonntag, R., Borgnakke, C., 2003. "Fundamentos de Termodinâmica" São Paulo, Brasil, pp. 137-160.
- Zevehoven, M, may 2001. "The Utilization of Biomass Ash". *Report 01 – 08 Faculty of Chemical Engineering*. Abo, Finland, p.01 – 05.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG pelo apoio financeiro.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

THERMAL AND ENVIRONMENTAL ANALISES OF THE PULP AND PAPER SLUDGE FIRED IN REPLACEMENT AT FUEL OIL

Macedo, Julio Cezar Ferreira, julio.macedo@uninove.br¹
Silva, Rogério José, rogeriojs@unifei.edu.br²

¹UNINOVE – Universidade Nove de Julho, Diretoria de Ciências Exatas – São Paulo - SP,

²Universidade Federal de Itajubá, IEM – Instituto de Engenharia Mecânica. Av. BPS, 1303, Itajubá-MG

The lack of ground that is used like landfill where the wastes are deposited, it's a great problem in the pulp and paper mills in Brazil and around the world. The description of the processes and the quantity of the mills in Brazil show the dimension of the problem, about 2,0% of the pulp and paper are lost like the primary sludge. Its interesting fired the wastes because the pulp and paper industries are great customers of energy, for example the consumption of steam. Black liquor, fuel oil, natural gas and chips are used with fuel. Waste replace the others fuels in boiler, decrease the costs of production, mainly the fuel oil, but it is necessary maintain a few flow of fuel oil, due to the sludge has high humidity (60%) and low higher heating (3880kJ/kg). In other hands, there is the benefit of decrease the SOx emissions, original of fossil fuel, and the reduction of costs with workers and machines. This work presents an accomplished thermal analysis using the First Law of the Thermodynamics, in which is made the substitution of the energy supplied through the combustion of the fuel oil by the energy supplied for the it burns of the primary mud. The environmental analyses evaluated the coming emissions of the combustion in the kettle with and without the introduction of this residue, comparing them with the effective patterns in the Brazilian norms, and evaluating the possibility of it burns inside of the established environmental patterns.

Keywords: paper and pulp, industrial wastes, thermal degradation, thermal analyses.