

# COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA RECUPERAÇÃO DE CALOR DE UM INCINERADOR INDUSTRIAL

Carvalho,M.B.;Siqueira.R.B.P.;Sobrinho,P.M.;SilveiraJ.L.  
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA-Campus de Guaratinguetá  
Av. Ariberto Pereira da Cunha ,333-Guaratinguetá-S.P.-Brasil-CEP12516-410  
[mabcarvalho@hotmail.com](mailto:mabcarvalho@hotmail.com); [sobrinho@feg.unesp.br](mailto:sobrinho@feg.unesp.br); [joseluz@feg.unesp.br](mailto:joseluz@feg.unesp.br);

## RESUMO

Em busca de outras fontes alternativas de produção de energia elétrica, o uso da técnica de cogeração mostra-se uma excelente alternativa para amenizar este problema, no caso particular dos incineradores, o reaproveitamento de energia residual disponível nos gases de exaustão de um incinerador de grande porte, apresenta-se como uma fonte a ser explorada empregando-se as técnicas de cogeração. Quando se trata de um incinerador este reaproveitamento torna-se bem vindo, visto que, na queima de resíduos sólidos é necessário o emprego de uma grande quantidade de combustível onde sua energia não é totalmente aproveitada.

Neste trabalho analisamos a situação real de um incinerador de uma indústria química, descrevemos os procedimentos utilizados, apresentamos o diagrama de SANKEY, aplicamos técnicas de termoeconomia, a qual revela a aplicabilidade da cogeração e demonstra um pay back de 2 a 4 anos dependendo das horas trabalhadas no ano, sendo assim, uma ótima opção energética, contribuindo para aumentar a confiabilidade no fornecimento de energia para empresa e resolver os graves problemas com resíduos sólidos produzidos pela mesma.

*Palavras chaves: Cogeração, Incinerador, Análise econômica, Diagrama Sankey*

## 1.INTRODUÇÃO.

Toda atividade humana gera resíduos de consistência sólida, líquida ou gasosa. A disposição destes resíduos na natureza, de forma inadequada e em concentrações superiores à capacidade de assimilação do ambiente que os recebe, passou a ser denominada “poluição”. Com o crescimento nesse século das comunidades urbanas e principalmente da atividade industrial, os efeitos da poluição passaram a ser logo sentidos notadamente nos países mais industrializados. Um grande volume de resíduos industriais são gerados no mundo atualmente, os métodos tradicionais de destinação final desses resíduos são, muitas vezes, inadequados ou não aceitáveis do ponto de vista econômico e ambiental. Em função do exposto, tornou-se necessário a busca de tecnologias seguras ao meio ambiente e de baixo custo para destinação final de resíduos industriais, visto que a tendência é aumentar o nível de exigência quanto ao destino final dos mesmos.

A incineração é um processo de redução do peso, volume e das características de periculosidade dos resíduos, com a conseqüente eliminação da matéria orgânica e característica de patogenicidade, através da combustão controlada.

Hoje devemos expandir ainda mais esta conceituação, afirmando que a incineração é também um processo de reciclagem da energia liberada na queima dos materiais, visando a produção de energia elétrica e energia térmica.

Existem atualmente em operação no Brasil, sete incineradores comerciais para uma demanda de cerca de 50 mil t/ano de resíduos perigosos. Estes estão concentrados em São Paulo, Rio de Janeiro, Bahia e Alagoas e a procura pelos serviços desses fornos rotativos e fixos para destruição de sólidos, líquidos e pastosos tem aumentado em proporção direta as exigências das leis ambientais que proporcionam multas elevadas.

Nas indústrias químicas a necessidade da queima de resíduos de seus processos para o bom equilíbrio ambiental é de primordial importância. Sendo assim, o papel do incinerador se torna essencial e com ele podemos ainda gerar outros subprodutos, tais como energia elétrica e térmica a partir das técnicas de cogeração.

## 2. Componentes de um sistema de incineração :

O sistema de Incineração apresentado na figura 1, é composto de um Forno Rotativo (1), Câmara de Pós-Combustão (2), Transportador de Escórias (3), Resfriador Seco (4), Ciclones (5), Preaquecedor de Ar de Combustão (6), Pós-resfriador (7), Lavador Venturi (8), Tanque Intermediário – Estágio Ácido (9), Exaustor (10), Lavador Venturi (11), Tanque Intermediário Estágio Básico (12), Plataforma de Amostragem de Gases (13), Chaminé (14) e ETE (Estação de Tratamento de Efluentes).

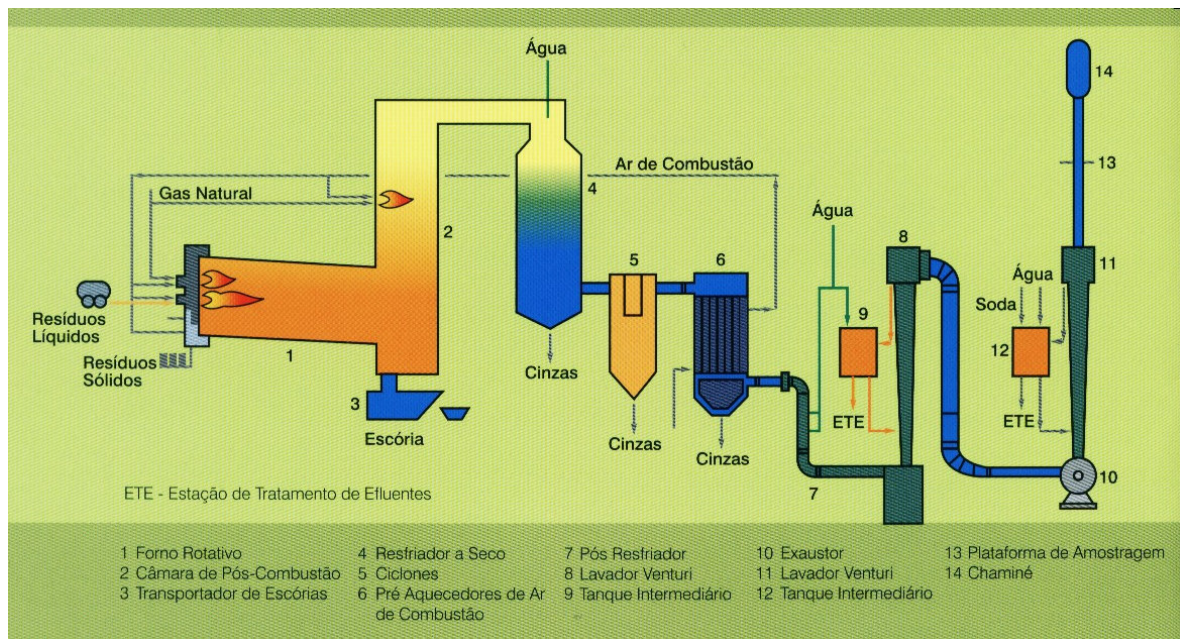


Figura 01 - Esquemático da Planta de Incineração

Sendo que a capacidade de queima do forno rotativo de 2.700 ton/ano ou  $3,6 \times 10^3$  Kcal/h, com temperatura de operação entre 1000°C a 1250°C.

## 3. ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÔMICA

A análise energética foi elaborada tomando-se como parâmetro um ciclo de cogeração a vapor, com caldeira e turbina a vapor de contrapressão e uma extração, conforme mostra a figura 2.

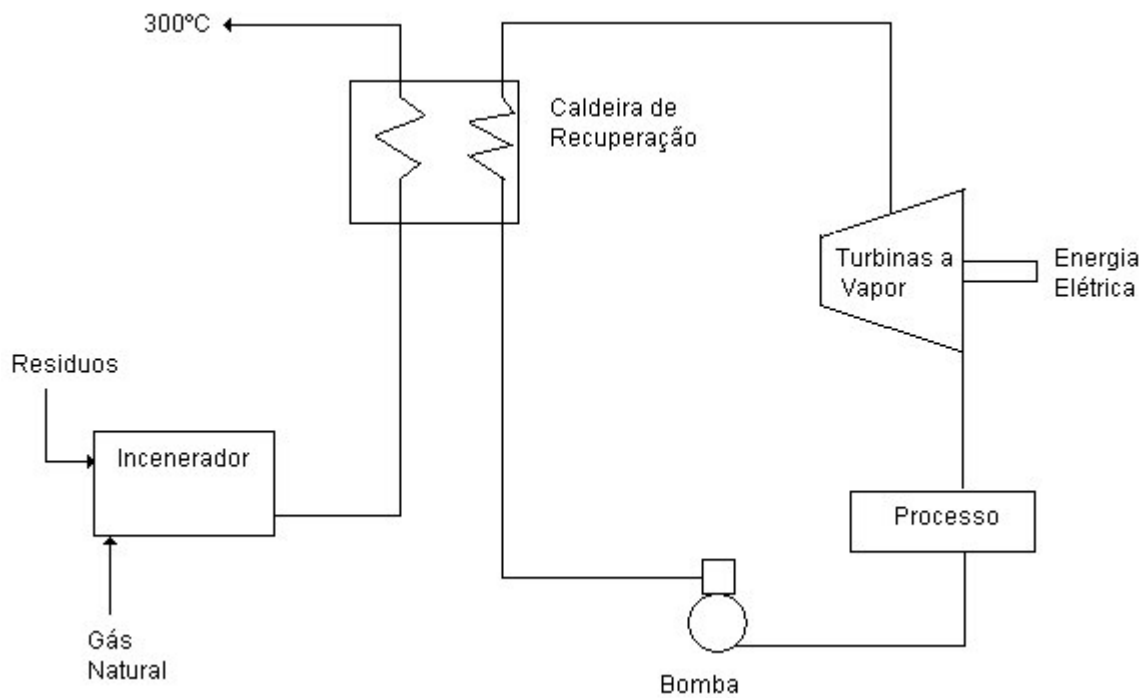


Figura 02 - ciclo de cogeração

O sistema utiliza os gases de exaustão da chaminé à 1000°C, passando por uma caldeira de recuperação e gerando uma massa de vapor de 1,1 ton/h onde, acoplada a uma turbina à vapor, é transformada em vapor para o processo à pressão de 0,7 MPa com temperatura de 165°C e 160 kW de energia mecânica, retornando água aquecida para caldeira de recuperação através de uma bomba de água

### 5. Diagrama de Sankey

O diagrama de Sankey apresenta as perdas de energia do processo em estudo.

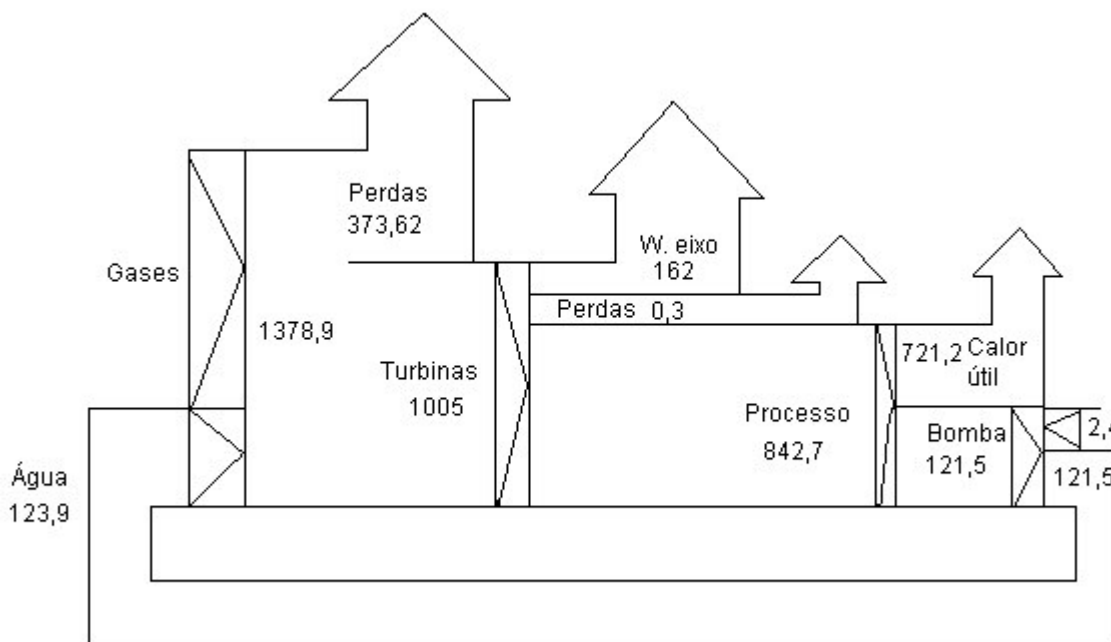


Figura 03 - Diagrama de Sankey

## 6. Análise Termoeconômica

No aspecto econômico as vantagens energéticas da cogeração como: a confiabilidade no fornecimento elétrico e seu menor impacto ambiental, somente apresentam significados práticos a partir de uma análise de seus aspectos financeiros. De uma maneira geral, para a sociedade a produção combinada de energia elétrica e calor útil apresentam as vantagens comuns, o emprego racional dos recursos energéticos, inclusive quanto aos aspectos ambientais, a diversificação na matriz energética e a descentralização quanto ao fornecimento de energia. Para tanto, foi elaborada uma análise termoeconômica analisando os investimentos da planta e os custos envolvidos (Tabela 1), verificando se a taxa de retorno (Gráfico 1) é satisfatória ou não.

A seguir, a tabela 01 mostra o investimento com os equipamentos do sistema de cogeração:

Tabela 01 – Investimentos

Quantidade	Descrição	Preço Unitário (USD)	Preço Unitário (USD)
1	Turbina à Vapor	194.400,00	194.400,00
1	Caldeira de Recuperação	64.735,20	64.735,20
		Total	259.135,20

Para os custos de energia elétrica e do calor útil foi utilizada a seguinte equação:

$$C_{elétrica} = A \times I_{planta} \times f + C_{comb.} + C_{operação} + C_{manutenção\ TV} \quad (1)$$

$$E_p \times H$$

$$C_{Vapor} = B \times I_{planta} \times f + C_{comb.} + C_{operação} + C_{manutenção\ TV} \quad (2)$$

$$E_v \times H$$

Onde:

$I_{planta}$  – investimento da Planta (USD);

$f$  – fator de anuidade;

$E_p$  – energia elétrica (kW);

$E_v$  – energia vapor (kW);

$H$  – horas de operação;

$A, B$  – fatores de ponderação;

$C_{comb.}$  - Custo do combustível

$C_{operação}$  -Custo de operação da planta

$C_{manutenção\ TV}$  - Custo da manutenção da turbina a gás

Para calcular os fatores de ponderação, temos:

$A$  – Fator de ponderação para energia elétrica:

$$A = E_p / E_p + E_v \quad (3)$$

B – Fator de ponderação para energia vapor:

$$B = E_v / E_p + E_v \quad (4)$$

Sendo que, a energia elétrica e vapor são determinados pela equação a seguir:

$$E_v = m_v \times ( h_{in\ processo} + h_{out\ processo} ) \quad (5)$$

$$E_p = m_v \times ( h_{in\ processo} + h_{out\ processo} ) \quad (6)$$

Onde ;

$m_v$  – massa de vapor

$h$  – entalpia do processo

$E_p = 162\text{ kW}$

$E_v = 717\text{ kW}$

Em seguida, temos a tabela 02 demonstrando os valores mencionados acima de acordo com os juros de 12% e variando as horas trabalhadas demonstrando o custo da energia térmica e elétrica:

Tabela 02 - Pay-Back

Pay-Back	Taxa Anual	Horas de	Fator de	$C_{man\ TV}$	$C_{CR}$	$C_{oper./\ comb.}$	$C_{eletric.}$	$C_{vapor}$
	de Juros	Operação	Anuidade					
(Anos)	(%)	(hs)	(-)	USD/ kW.h	USD/ kW.h	USD/ kW.h	USD/ kW.h	USD/ kW.h
2	12%	<b>7.000</b>	0,59	0,010	0,008	0,000	0,035	0,033
4	12%	<b>7.000</b>	0,33	0,010	0,008	0,000	0,024	0,022
6	12%	<b>7.000</b>	0,24	0,010	0,008	0,000	0,020	0,018
2	12%	<b>6.000</b>	0,59	0,010	0,008	0,000	0,039	0,037
4	12%	<b>6.000</b>	0,33	0,010	0,008	0,000	0,026	0,024
6	12%	<b>6.000</b>	0,24	0,010	0,008	0,000	0,022	0,020
2	12%	<b>5.000</b>	0,59	0,010	0,008	0,000	0,045	0,043
4	12%	<b>5.000</b>	0,33	0,010	0,008	0,000	0,029	0,027
6	12%	<b>5.000</b>	0,24	0,010	0,008	0,000	0,024	0,022

Logo abaixo, o gráfico 1 mostrando a receita pelo Pay-Back:



Gráfico 01 - Pay Back

### 7. Conclusão:

Com os resultados demonstrados no gráfico 1, pode se afirmar que o sistema de cogeração proposto é viável economicamente e apresenta um pay back que varia em torno de 2,5 anos a 3,5 anos dependendo das horas trabalhadas do tempo de utilização da planta.

### 8. Referências:

- [1] – Van Wylen, G. J. and Sonntag, R. R., em *Fundamentos da Termodinâmica Clássica*, 4ª edição Editora Edgar Blucher, São Paulo, Brasil, 1995.
- [2] – Horta Nogueira, Luiz Augusto, Silveira, José Luz, Perrela Balestieri, José Antonio, Massafelli, Nilton, em *Análise Exérgica da Unidade I da UTE Pirapetinga*, Grupo II – Produção Térmica SNTPEE, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Minas Gerais, Brasil.
- [3] – Silveira, José Luz, Horta Nogueira, Luiz Augusto, em *Cogeração no Setor de Papel e Celulose*, edição Outubro, Editora Aranda, São Paulo, Brasil, 1989.
- [4] – Horta Nogueira, Luiz Augusto, em *Cogeração – Uma Introdução*, preparada para CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz, Novembro, Itajubá – Minas Gerais, Brasil, 1994.

Copyright: Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste paper artigo

### ABSTRACT

Searching for other alternative source of electric energy production, the use of cogeneration techniques seem to show an excellent alternative to minimize that problem, in the peculiar case of the incinerator, the reuse of available residual energy in the exhausting gases of a great load incinerator comes as a source to be explored, since the generation techniques is

used. When it is na incinerator, such reuse becomes well coming, because to burn the solid residues it is necessary to apply a great amount of fuel where its energy is not abosorbed totally.

In this work, we analyzed the real situation of na incinerator of great chemical industry, we disbeleeved the used procedures, we presented diagram of "SANKEY", we applied termoeconômica techniques that the aplicabilidade of the co-generation and it demonstratespay back of 2 to 4 years, depending on the hours worked in the year. Being this way great option to reduce the impacts of energy crisis, to increase the confiability on energy supply to company and to solve its problems with solid wastes.