

## ANÁLISE DE UM MODELO DE CO-GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

**Hans Cristian Borowski**  
borowski@feg.unesp.br

**José Luz Silveira**  
joseluz@feg.unesp.br

**Carlos Daniel Ebinuma**  
ebinuma@feg.unesp.br

**Eduardo Manfredini  
Ferreira**  
eduardo@feg.unesp.br

### Resumo

Com a iminente possibilidade de racionamento de energia elétrica e tendo em vista a necessidade de resolução do problema associado aos depósitos de lixo urbano, neste trabalho analisa-se a viabilidade técnica e econômica do emprego de um sistema de co-geração, com turbina a vapor de contrapressão, utilizando como combustível os resíduos sólidos urbanos. Efetuou-se inicialmente a análise energética do sistema proposto, de modo a dimensionar as capacidades e desempenhos associados; posteriormente, buscou-se as condições de viabilidade econômica para o sistema de co-geração associado ao lixo urbano. A avaliação abordou parâmetros como custo do resíduo sólido urbano, tarifa praticada para compra de eletricidade, taxa anual de juros, número de horas de operação anual e o período de amortização de capital associado ao sistema, de modo a mostrar a importância desses fatores na geração descentralizada de energia e na redução dos impactos ambientais associados aos depósitos de lixo urbanos.

**Palavras-chave:** *resíduos sólidos urbanos, co-geração, análise energética, análise econômica.*

### Abstract

With the imminent possibility of rationing of electric energy and due to the need to solve the problem joined to the deposits of urban waste, in this work it's analysed the technical and economic viability of the employment of a co-generation system with back-pressure vapour turbine, using as fuel urban solids residues. Was made initially the energetic analysis of the proposed system in way to size the capacities and associated performances. Later on, it is looked for the conditions of economic viability for the co-generation systems associated to the urban waste. The evaluation approached parameters like urban solid waste cost, tariff practised for purchase of electricity, annual rates of interests, number of annual hours of operation and the period of payback associated to the system, in mode to show the importance of those factors in decentralised generation of energy and reduction of the impacts generated by the urban waste deposits.

**Keywords:** *urban solid waste, co-generation, energetic analysis, economic analysis.*

## 1 Introdução

Os resíduos sólidos constituem um problema principalmente em áreas urbanas, tornando-se mais crítico quanto mais concentrada for a população.

Os locais destinados ao descarte de resíduos em cidades como São Paulo e Rio de Janeiro são poucos e estão em processo de saturação. Normalmente novos aterros provocam protestos de quem irá conviver com sua proximidade e, mesmo os administradores, consideram a inauguração de lixões um ônus político, como relata COSTA (1995).

Assim sendo, as opções para dar destino adequado a esses resíduos e a tentativa de redução na sua geração englobam: Maneiras de restringir na fonte, reúso de certos artefatos, compostagem, reciclagem e o aproveitamento do valor energético agregado aos mesmos.

Sistemas que usam o lixo para gerar energia existem há muito tempo; DAVIS & CORNWELL (1991) informam que o primeiro sistema para gerar eletricidade a partir do lixo foi construído em Hamburgo, na Alemanha, em 1896, enquanto o primeiro sistema americano teria sido instalado em Nova Iorque, em 1903.

NIR, MILTZ & RAM (1993) nos dão conta de que a reciclagem, até a década de 1970, era feita em casos nos quais havia interesse econômico, mas não havia maiores preocupações com a questão ambiental; apenas em 1976 foi aprovada nos EUA a Lei de Conservação e Recuperação de Recursos, proibindo os locais onde o lixo é depositado a céu aberto (lixões).

Os materiais comuns do lixo sólido podem ser classificados de vários modos diferentes, seja quanto à origem (doméstico, industrial, comercial, etc.), à natureza do material (orgânico, inorgânico, combustível, incombustível, etc.), ao tipo de material (vidro, plástico, papel, metais, etc.) entre outros, menos utilizados.

Segundo DAVIS & CORNWELL (1991), em 1968 a média de lixo sólido gerado por pessoa diariamente nos EUA era de 3,2 kg, considerando todos os tipos de fontes, mas na mesma época se chegou ao valor de 6,08 kg por pessoa, ao dia, na região da baía de São Francisco.

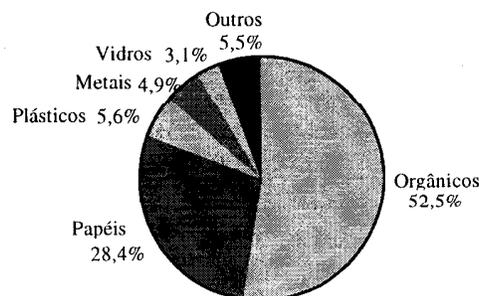
Dados fornecidos por ULBANERE (1996) indicam que um indivíduo no Brasil produz cerca de 1,0 kg de lixo por dia, em média, valor bem maior que o encontrado em estudos anteriores, o que tem sido atribuído à melhoria do padrão aquisitivo da população, com conseqüente aumento no uso de embalagens descartáveis.

O estudo preparado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), em 1995, que visou à elaboração de um manual, destinado a orientar as prefeituras no manejo do lixo municipal, constatou que menos de 20% dos municípios pesquisados possuíam aterros sanitários, e que menos de 10% dos municípios apresentavam, na época, algum programa de coleta seletiva ou de compostagem.

Conforme DAVIS & CORNWELL (1991), em 1966 o aterro sanitário de Nova Iorque tinha um custo para coleta, transporte e descarte de 27 dólares por tonelada, o que representava três vezes o custo do carvão extraído a oeste do estado da Virgínia e entregue nessa cidade. Já segundo DASKALOPOULOS, BADR & PROBERT (1997), estudos realizados para a Inglaterra indicaram que os custos relativos a aterros praticamente quadruplicaram entre 1985 e 1992.

No caso dos programas de coleta seletiva brasileiros, em que metais, papéis, vidros e plásticos são separados, VILHENA & HERMAIS (1995) demonstraram que esses tinham custo médio de 262 dólares por tonelada, aproximadamente dez vezes maior que o da coleta convencional, em que os materiais estão misturados, com a venda dos materiais recicláveis dando retorno de apenas 10% dos custos envolvidos.

Na Figura 1 pode-se observar a proporção dos componentes do lixo urbano na cidade de São Paulo, que pode ser considerada semelhante a muitas áreas urbanas brasileiras:



**Figura 1** - Composição do lixo da cidade de São Paulo, COSTA (1995).

COOKE (1992) mencionou o estudo de cientistas alemães, que verificaram que os plásticos contêm cerca de 46.000 kJ de energia recuperável por quilo, aproximadamente três vezes a energia contida no carvão de média qualidade, e comparável com os cerca de 42.700 kJ por quilo existentes no combustível de aquecimento doméstico de uso local (óleo diesel); conforme a presença de plásticos aumenta no lixo sólido urbano eleva-se sensivelmente o poder calorífico do conjunto de resíduos; PORTEOUS (1998) considera que em lixos comerciais, onde predomina papel e há bastante plástico, o poder calorífico pode ficar entre 14.000 e 17.000 kJ/kg.

DAVIS & CORNWELL (1991) consideram que com uma eficiente recuperação de calor para geração de energia elétrica, plantas de energia a partir do lixo podem produzir aproximadamente 600 kWh de eletricidade por tonelada de resíduo. Já

segundo PORTEOUS (1998), a geração de energia elétrica forneceria 500 kWh por tonelada de resíduo; considerando uma instalação apenas para produção de energia elétrica, cerca de 22% do conteúdo energético do lixo seria convertido em eletricidade para uso externo; no caso de uma unidade de co-geração se obteria 12% de eletricidade, mas seriam aproveitados 69% da energia do lixo na geração de calor útil; as perdas do sistema cairiam de 74% para 14% da energia total de combustão.

FEHR (1996) considera que parte significativa dos plásticos, papéis e papelões, bem como a totalidade da madeira que são descartados não podem ser reciclados, sendo obrigatoriamente dirigidos a lixões ou aterros, ou podendo ser incinerados visando à obtenção de energia térmica; ele conclui que a queima do lixo para gerar eletricidade não é competitiva, mas haveria interesse em utilizá-lo para gerar vapor em indústrias; seu estudo estima que uma opção global pela incineração como destino ao lixo poderia reduzir em 94% o descarte de resíduos no solo, embora aumentasse em 59% a carga de resíduos para a atmosfera quando comparado com a queima de óleo combustível para gerar vapor; FEHR (1996) considera ainda que o lixo brasileiro se comporta como um bagaço de cana, com 30% de umidade, ao ser incinerado.

Em 1996 havia cerca de 360 plantas de incineração de lixo urbano na Europa, todas com aproveitamento energético (COSTA, 1996). Nos EUA o lixo é incinerado sem separação prévia, pois contém pouco material orgânico, de baixo poder calorífico. No Brasil haveria a necessidade da separação prévia da fração orgânica que é muito mais abundante, oscilando próximo de 50% em peso do total dos resíduos, (CORONADO, 1996).

Embora haja grande polêmica em relação aos gases liberados na queima por incineradores, argumenta-se que os modernos filtros de carvão ativado permitem que esses sejam liberados com boa qualidade; estudos do Governo Alemão constataram que a emissão de dioxinas e furanos resultantes da combustão se encontrava dentro de limites toleráveis (CORONADO, 1996).

Num estudo realizado pela *American Society of Mechanical Engineers* – ASME, verificou-se que a emissão de dioxinas pelas unidades de incineração não tem relação direta com a quantidade de PVC ou cloro que entra no incinerador; caso este possua tecnologia e metodologia de operação adequadas, a dioxina é destruída antes de ser liberada (PINGO, 1996). PORTEOUS (1998) igualmente considera que as modernas plantas de incineração emitem dioxinas em níveis que não afetam a saúde das pessoas e, como a proporção destas nos produtos finais é menor que seu conteúdo no lixo em geral, a incineração mais elimina do que gera dioxinas.

Normalmente cerca de metade do investimento da planta de incineração acaba se destinando a equipamentos de controle de poluentes, o que encarece muito o investimento, mas é imprescindível para atender as normas ambientais atuais.

## 2 O Modelo de Co-geração

Define-se a co-geração como a geração combinada de energia eletromecânica e térmica a partir de uma mesma fonte de energia primária, o que contribui para uma melhor eficiência energética do sistema como um todo, reduzindo desperdícios de calor residual.

Conforme as necessidades existentes em relação aos produtos da co-geração (eletricidade e energia térmica), bem como as condições associadas ao projeto, diferentes sistemas de co-geração podem ser empregados, configurados segundo ciclos de Rankine, Brayton, Combinado e Diesel (HU, 1986).

Pode-se classificar os modelos de co-geração ainda segundo os regimes *topping*, no qual a energia térmica (em geral para geração de vapor) é aproveitada após a geração de energia elétrica e *bottoming*, em que o aproveitamento da energia térmica é feito antes da geração de energia elétrica (HU, 1986).

Normalmente, em sistemas de co-geração, o regime de *topping* tem apresentado melhores aplicações, sendo mais empregado que o regime *bottoming* (HU, 1986).

## 3 Análise Energética e Econômica

Conforme se observa na Figura 2, a análise energética foi elaborada tomando-se como parâmetro um ciclo de co-geração a vapor, com caldeira e turbina a vapor de contrapressão e uma extração. O resíduo sólido municipal, previamente separado, alimenta a caldeira e o vapor superaquecido gerado é usado na turbina a vapor para a produção de 3,6 ton. /h de vapor saturado (1 kg/s) a 0,7 MPa, para uma indústria hipotética, com demanda de eletricidade,  $E_e$ , de 500 kW. Para o caso foram propostas 3 situações, considerando os níveis de pressão de caldeiras comercialmente disponíveis para a co-geração: 6,3, 4,2 e 2,1 MPa, com as respectivas temperaturas indicadas nesta figura.

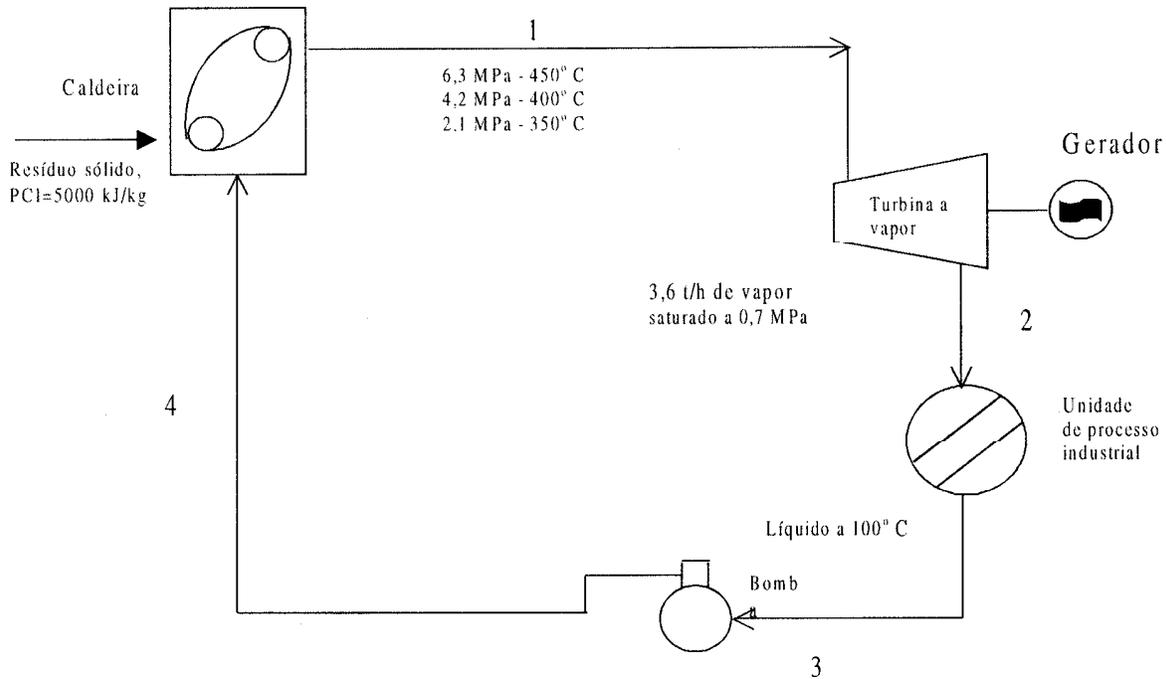


Figura 2 - Ciclo de co-geração alimentado com resíduos sólidos urbanos.

Para o cálculo energético, foram considerados os dados da planta descritos por HOLANDA (1998).

A análise energética e econômica foi adaptada conforme descrito por STOCCO (1997).

Os custos de caldeiras foram determinados segundo as equações de TUNA (1999).

#### 4 Formulação

Os parâmetros termodinâmicos do sistema são indicados na Tabela 1, em função da pressão e da temperatura.

Tabela 1 - Dados termodinâmicos

Estado termodinâmico	Pressão (MPa)	Temperatura (°C)	Entalpia (kJ/kg)
1	6,3	450,00	3297,40
	4,2	400,00	3210,00
	2,1	350,00	3134,80
2	0,7	6,3	164,97
		4,2	164,64
		2,1	164,64
3	0,7	100,00	419,50
4	6,3	100,40	427,23
	4,2	100,24	424,30
	2,1	100,10	421,38

\* em função da eficiência isoentrópica da turbina

As equações e considerações para análises energéticas e econômicas são descritas a seguir, conforme STOCCO (1997) e TUNA (1999):

a) Custo do Investimento na planta (IPL) de co-geração [ US\$ ]:

$$IPL = 1,3(I_{\text{cald}} + I_{\text{tv}}) \quad (1)$$

Para determinar o custo do investimento, deve-se determinar o custo de investimento da turbina a vapor ( $I_v$ ), em US\$, e o custo de investimento da caldeira de vapor superaquecido ( $I_{cald}$ ), em US\$. O fator 1,3 se refere à taxa estimada de 30% do custo capital para os serviços de projeto, obra civil e instalação.

b) Fluxo de calor,  $E_v$ , entregue à água na caldeira [ kW ]:

$$E_v = (h_1 - h_4) \cdot m_v \quad (2)$$

O fluxo de calor entregue à água na caldeira,  $E_v$ , é determinado pela relação entre a vazão mássica de vapor ( $m_v$ ), em kg/s, e pela diferença entálpica na caldeira, em kJ/kg.

c) Eletricidade produzida na co-geração [ kW ]:

$$E_p = \eta_{iv} \cdot \eta_g \cdot m_v (h_1 - h_2) \quad (3)$$

A energia elétrica produzida na co-geração ( $E_p$ ) é determinada similarmente à Eq. 3, tendo-se como referência os pontos antes e depois da turbina, bem como sua eficiência isoentrópica, ( $\eta_{iv}$ ), aqui considerada 0,95 e a eficiência do gerador elétrico ( $\eta_g$ ), também considerado 0,95.

d) Potência suprida pelo combustível,  $E_{comb}$ , [ kW ]:

$$E_{comb} = \frac{(h_1 - h_4) m_v}{\eta_{cald}} \quad (4)$$

onde  $\eta_{cald}$  é a eficiência da caldeira de vapor superaquecido, cujo valor considerado neste trabalho é 0,85.

e) Custo do resíduo sólido municipal [US\$/kWh ]:

$$C_{comb} = \frac{\$_{comb}}{PCI} \quad (5)$$

O custo específico do resíduo sólido municipal ( $C_{comb}$ ) é uma relação entre o custo do resíduo sólido municipal ( $\$_{comb}$ ), em US\$/kg, e o poder calorífico inferior do combustível, PCI, em kWh/kg.

f) Vazão de combustível [ kg/s ]:

$$m_{comb} = \frac{E_{comb}}{PCI} \quad (6)$$

A vazão mássica de combustível é determinada pela relação entre potência suprida pelo combustível ( $E_{comb}$ ), em kW, e seu poder calorífico inferior, PCI, em kJ/kg.

g) Fator de anuidade [ 1/ano ]:

$$f = \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^k \cdot \left(\frac{r}{100}\right)}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^k - 1} \quad (7)$$

onde  $f$  é o fator de anuidade,  $r$  é a taxa anual de juros, em %,  $k$  é o período de amortização de capital, ou *payback*, em anos.

h) Custo do investimento da caldeira [ US\$ ]:

$$I_{\text{cald}} = 784.E_v^{0,8} \left[ 1 + \left( \frac{0,1}{1 - \eta_{\text{cald}}} \right)^7 \right] \left[ 1 + 5.e^{\left( \frac{T-866}{10,42} \right)} \right] e^{\left( \frac{P-28}{150} \right)} \quad (8)$$

Determinado de acordo com TUNA (1999), deve-se conhecer a temperatura de operação da caldeira, T, em K, bem como sua pressão de operação, P, em MPa, além de sua eficiência e do fluxo de calor entregue à água na caldeira.

i) Custo da produção de vapor na co-geração [ US\$/kWh ]:

$$C_{\text{et}} = \frac{\text{IPL}.f.1,2}{E_c.H} + \frac{C_{\text{comb}} \left( E_c + \frac{\text{Perdas}}{2} \right)}{E_c} \quad (9)$$

O custo da produção de vapor na co-geração é determinado pelo investimento na planta, fator de anuidade, período equivalente de utilização do sistema, H, em h/ano, e pela energia térmica produzida na co-geração ( $E_c$ ), em kW, associado ao custo específico do resíduo sólido municipal, às perdas do sistema (Perdas), em kW. O fator 1,2 refere-se à taxa de manutenção e operação associada.

j) Calor entregue ao processo [ kW ]:

$$E_c = m_v(h_2 - h_3) \quad (10)$$

k) Perdas do sistema

$$\text{Perdas} = E_{\text{comb}} - E_c - E_p \quad (11)$$

l) Custo da produção de eletricidade ( $C_{\text{el}}$ ), em US\$/kWh:

$$C_{\text{el}} = \frac{(\text{IPL} - I_{\text{cald}}).f.1,2}{H.E_p} + \frac{C_{\text{comb}} \left( E_{\text{comb}} - E_c - \frac{\text{Perdas}}{2} \right)}{E_p} \quad (12)$$

onde o fator 1,2 refere-se à taxa de manutenção e operação associada.

m) Ganho com produção de energia elétrica ( $G_{\text{el}}$ ), em US\$/ano, como não há excedente ( $E_r > E_p$ ):

$$G_{\text{el}} = E_p.H(P_{\text{el}} - C_{\text{el}}) \quad (13)$$

onde  $P_{\text{el}}$  é a tarifa praticada para a compra de energia elétrica, em US\$/kWh

n) Custo de produção do vapor em caldeira convencional ( $C_{\text{vc}}$ ), em US\$/kWh:

$$C_{\text{vc}} = \frac{\text{Icc}.f}{E_c.H} + \frac{C_{\text{comb}}}{\eta_{\text{cald}}} + C_{\text{man}} \quad (14)$$

onde  $C_{\text{man}}$  é o custo de manutenção da caldeira, em US\$/kWh, e Icc é o custo de investimento da caldeira convencional, em US\$.

o) Ganho com produção de vapor ( $G_v$ ), em US\$/ano:

$$G_v = E_c \cdot H(C_{vc} - C_{ct}) \quad (15)$$

p) Receita esperada (R), em US\$/ano:

$$R = G_{el} + G_{ev} \quad (16)$$

q) Eficiência na geração de calor ( $\eta_{gc}$ ):

$$\eta_{gc} = E_c / E_{comb} \quad (17)$$

r) Eficiência na geração de energia elétrica ( $\eta_{ge}$ ):

$$\eta_{ge} = (E_p - W_{bomba}) / E_{comb} \quad (18)$$

s) Eficiência global ( $\eta_{global}$ ):

$$\eta_{global} = \eta_{ge} + \eta_{gc} \quad (19)$$

As tabelas a seguir mostram os dados físicos e econômicos conhecidos do projeto em relação à planta (Tabela 2), e os resultados obtidos quanto à análise energética e ao investimento na planta (Tabela 3).

Para a análise econômica considerou-se taxas de juros variando de 8 – 14% ao ano e planta operando 7000 h/ano.

**Tabela 2** - Dados físicos e econômicos

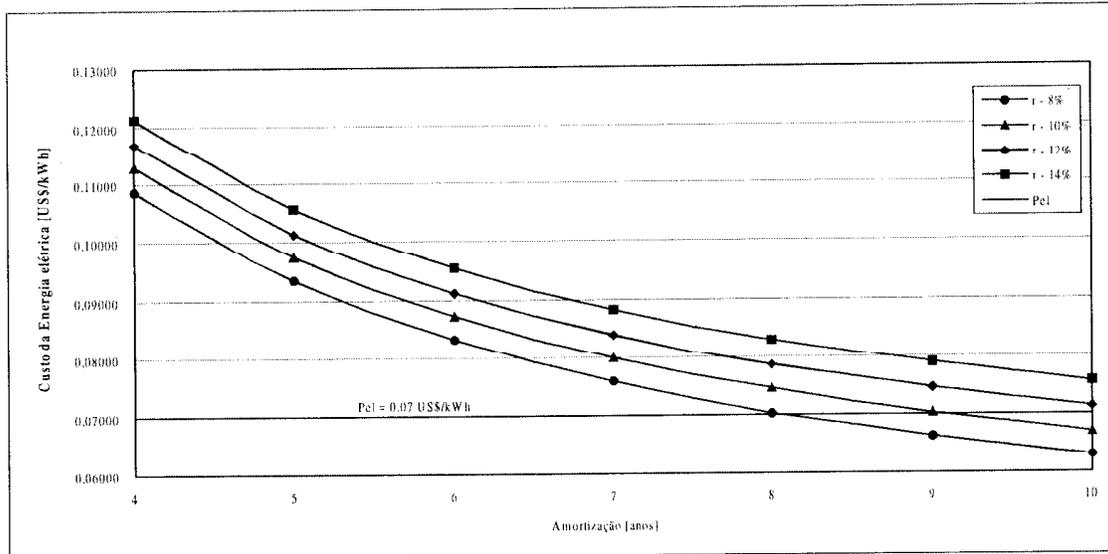
Constante	Valor
$\$_{comb}$ [US\$/kg]	0,0150
$C_{comb}$ [US\$/kWh]	0,0108
$C_{man}$ [US\$/kWh]	0,0080
$m_v$ [kg/s]	1,0000
PCI [kJ/kg]	5000,0
$P_{el}$ [US\$/kWh]	0,0700
$\eta_{cald}$ [%]	85,000
$\eta_{iv}$ [%]	95,000
$I_{cc}$ [ US\$ ]	322533,97

**Tabela 3** - Resultados obtidos da análise energética e investimento na planta

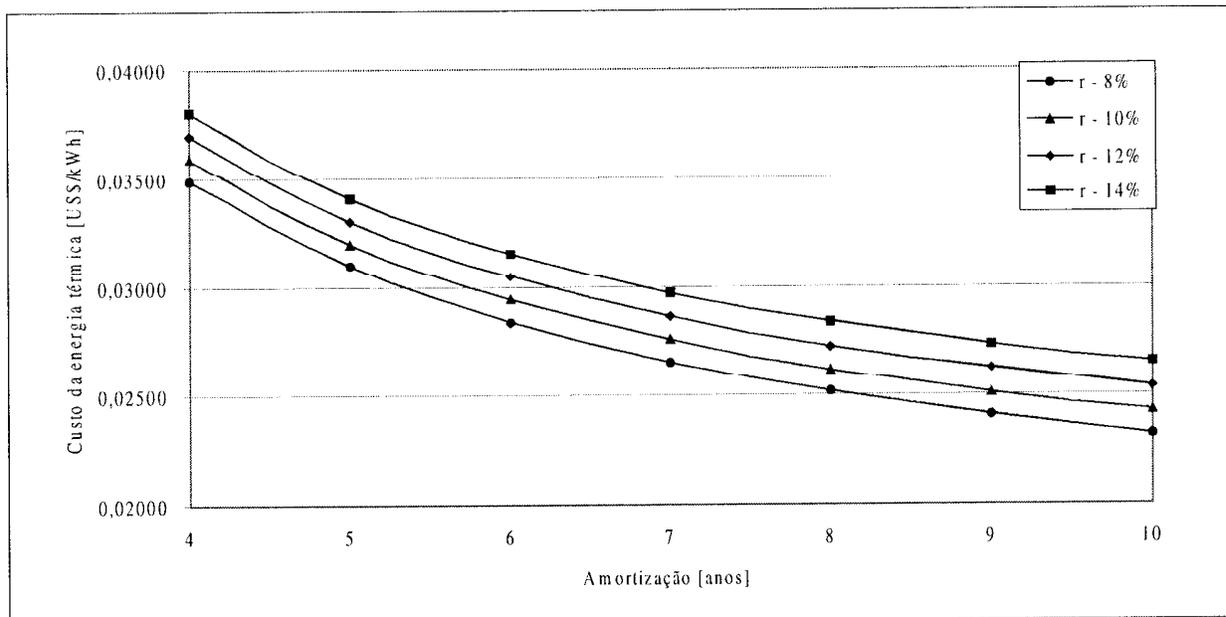
	Caso 1	Caso 2	Caso 3
$E_c$ [kW]	2471,3	2455,2	2425,2
$E_{comb}$ [kW]	3376,7	3277,3	3192,26
$E_p$ [kW]	386,27	318,54	275,6
$E_v$ [kW]	2870,17	2785,7	2713,42
$I_{cald}$ [US\$]	419294,16	403699,1	389801,7
IPL [US\$]	1097448,51	980313,8	900843,04
$I_{iv}$ [US\$]	424897,0	350388,5	303154,5
$m_{comb}$ [kg/s]	0,6753	0,6555	0,6385
Perdas [kW]	519,1	503,56	491,46
$\eta_{el}$ [%]	11,15	9,54	8,56
$\eta_{ge}$ [%]	73,20	74,92	75,97

## 5 Resultados

As figuras a seguir ilustram o caso 1, ou seja, o sistema a uma Pressão de 6,3 MPa e 450° C.



**Figura 3** - Gráfico do custo elétrico em função do tempo,  $H = 7000$  h/ano,  $C_{\text{comb}} = 0,0108$  US\$/kWh, juros variáveis.



**Figura 4** - Gráfico do custo térmico em função do tempo,  $C_{\text{comb}} = 0,0108$  US\$/kWh,  $H = 7000$  h/ano, juros variáveis.

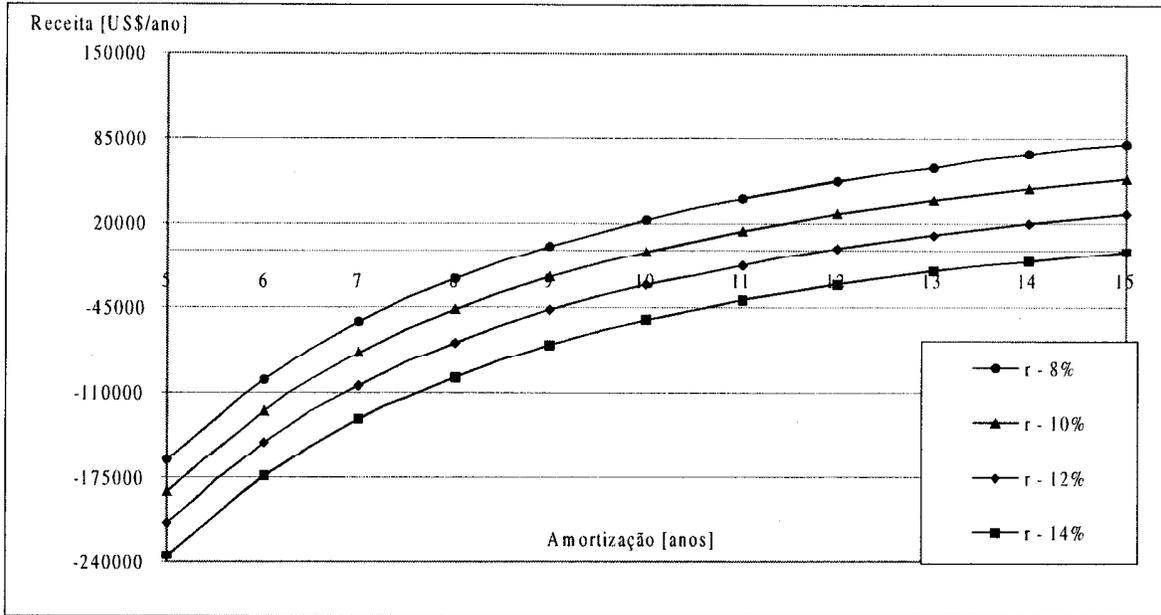


Figura 5 - Gráfico da receita esperada em função do tempo,  $C_{comb} = 0,0108$  US\$/kWh, taxa de juros variáveis,  $H = 7000$  h/ano.

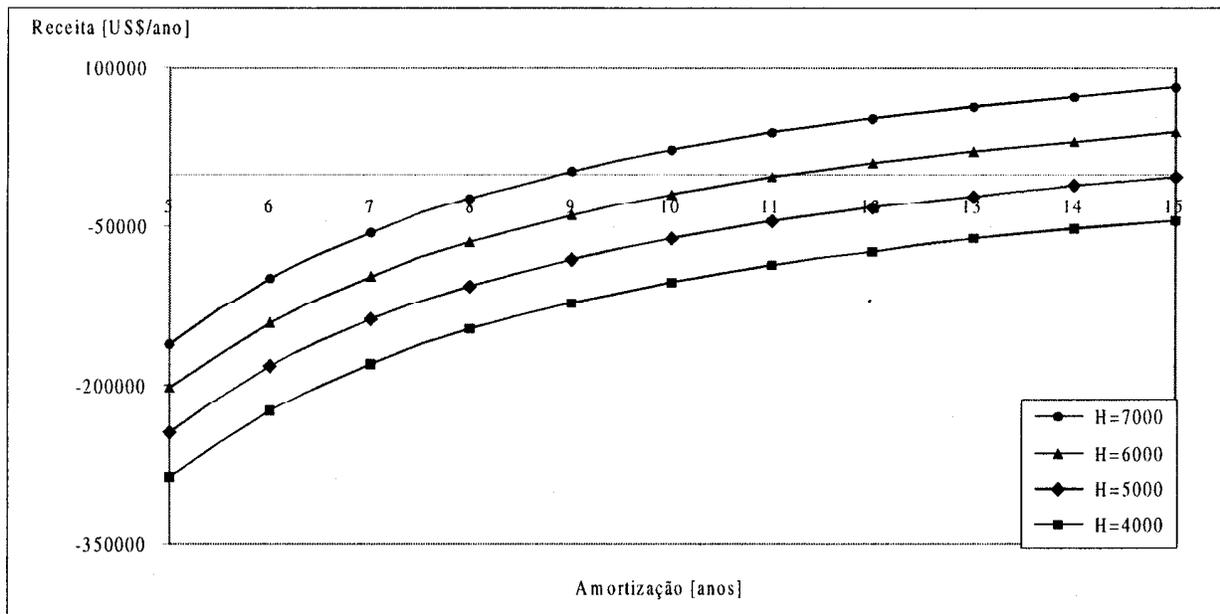


Figura 6 - Gráfico da receita em função do tempo,  $C_{comb} = 0,0108$  US\$/kWh, juros a 8% ao ano.

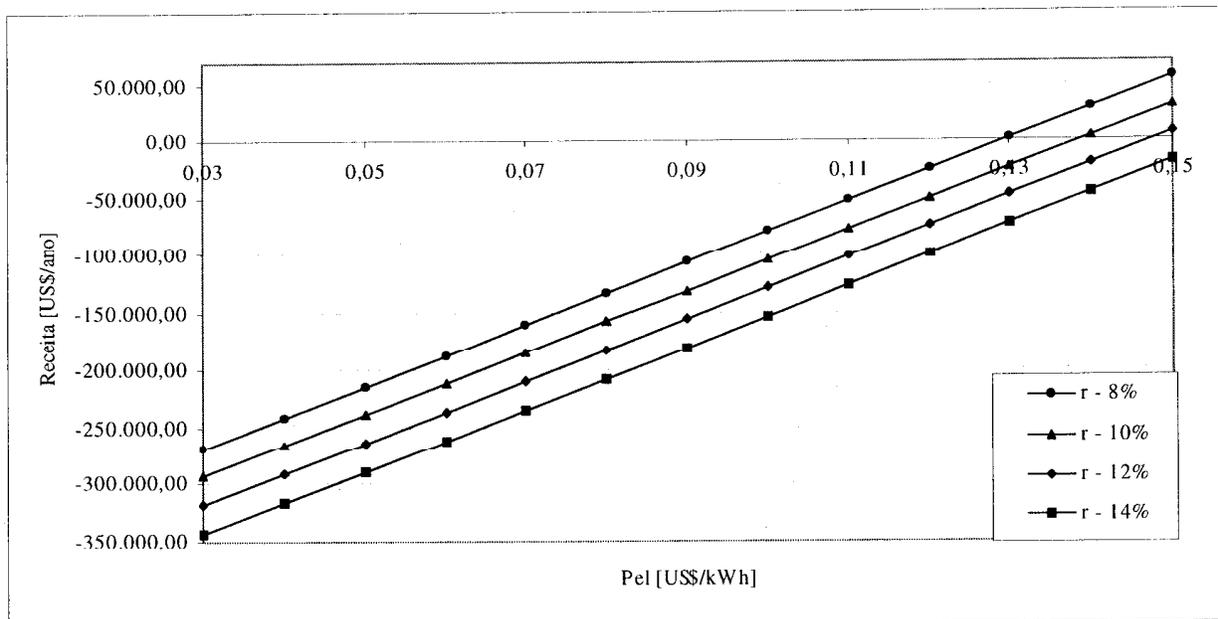


Figura 7 - Gráfico da receita esperada, com  $K=5$  anos,  $C_{comb} = 0,0108$  US\$/kWh, 7000 h/ano e juros variáveis.

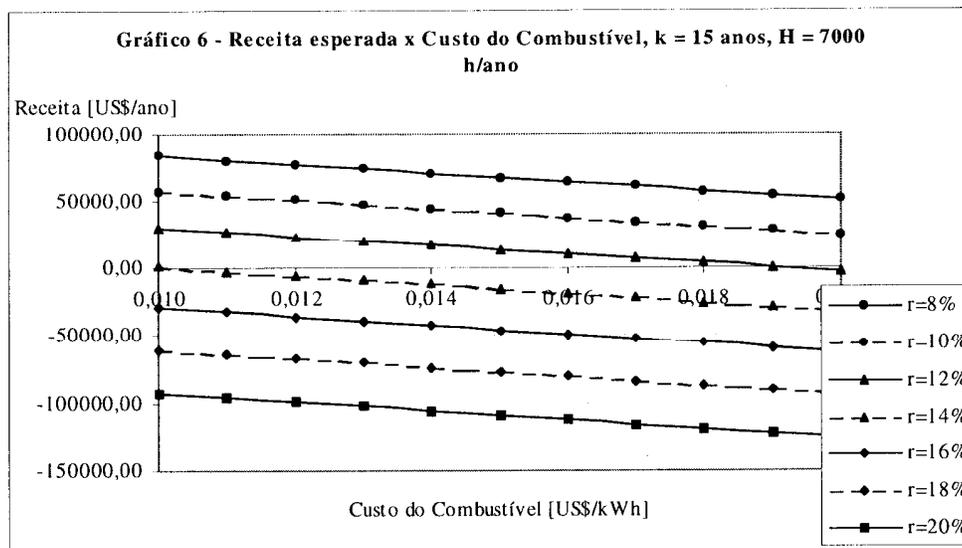


Figura 8 - Gráfico da receita esperada x custo do combustível,  $k = 15$  anos,  $H = 7000$  h/ano.

## 6 Discussão e Conclusões

Estabelecendo como limite de viabilidade o tempo de amortização de 15 anos, para juros variáveis, e 7000 horas de período equivalente de utilização, e admitindo viáveis os retornos de investimento (*payback*) mais curtos que este, todos os 3 casos e todas as condições de juros atendem a esse limite de viabilidade. O terceiro caso, com juros de 14% ao ano, o caso mais crítico, recuperará o investimento feito aproximadamente no limite de 15 anos.

Na melhor condição, a do primeiro caso, com juros de 8% ao ano, a recuperação do investimento é feita em cerca de 9 anos.

Para juros fixos de 8% ao ano, e variando o período equivalente de utilização, para 6000 e 7000 horas, nas 3 condições de pressão e temperatura, se recupera o investimento em prazo menor que 15 anos. No caso de 5000 horas, o investimento se recupera em aproximadamente 15 anos e no caso de 4000 horas essa recuperação ultrapassa o limite estabelecido.

Analisando isoladamente o preço da energia elétrica, fixando-se a amortização em 5 anos, com 7000 horas de funcionamento ao ano e juros variáveis, constatou-se que, mesmo na melhor condição (a do primeiro caso), com juros de 8% ao ano, a receita só deixaria de se tornar negativa com um preço acima de 0,117 US\$/kWh, alto para a realidade brasileira, mas compatível com os preços internacionais.

Em trabalhos futuros serão considerados os benefícios decorrentes da venda de insumos (vidro, alumínio e outros metais, etc.) para reciclagem; poderia haver com isso uma redução do *payback*, viabilizando mais significativamente os investimentos nesse tipo de sistema.

## 7 Agradecimentos

Agradece-se à CAPES pelas bolsas de pesquisa de pós-graduação.

## 8 Referências

- COOKE, F. New machinery meets recycling demands. *European Plastic News*. Croydon, n. 6, p. 26-27, June. 1992.
- CORONADO, J. Incineração dos resíduos plásticos pode gerar energia. *Plástico Moderno*. São Paulo, v. 268, p. 26-33, ago. 1996.
- COSTA, S. M. Soluções sob medida. *Plásticos em Revista*. São Paulo, v. 407, p. 17-21, jun. 1996.
- COSTA, V. R. Plásticos: a caminho de reciclagem. *Ciência Hoje*. Rio de Janeiro, v. 18, n. 107, p. 8-15, mar. 1995.
- DASKALOPOULOS, E.; BADR, O.; PROBERT, S. D. Economic and environmental evaluations of waste treatment and disposal technologies for municipal solid waste. *Applied Energy*. Oxford, v. 58, n. 4, p. 209-255, Dec. 1997.
- DAVIS, M. L.; CORNWELL, D. A. *Introduction to environmental engineering*. New York: Mac Graw-Hill, 1991, 822p.
- FEHR, M. O lixo domiciliar nas matrizes energética e ambiental nacionais: um estudo teórico especulativo. *Saneamento Ambiental*. São Paulo, n. 39, p. 24-28, jun./jul. 1996.
- HOLANDA, M. R. *Avaliação do potencial de co-geração a partir de resíduos sólidos municipais na Região de Guaratinguetá*. 1998. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual de São Paulo, Guaratinguetá.
- HU, S. D. *Cogeneration.. Reston*: Reston Publishing, 1985.
- NIR, M. M.; MILTZ, J.; RAM, A. Update on plastics and the environment: progress and trends. *Plastic Engineering*. v. 49, n. 3, p. 197-209, Mar. 1993.
- PINGO *nos iis*: Plástivida promove seu primeiro debate público. *Plásticos em Revista*. São Paulo, v. 405, p. 16, abr. 1996.
- PORTEOUS, A. Energy from waste: a wholly acceptable waste-management solution. *Applied Energy*. Oxford, v. 58, n. 4, p. 177-208, Dec. 1998.
- STOCCO, E. B. *Co-geração para a indústria química*. 1997. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual de São Paulo, Guaratinguetá.
- TUNA, C. E. *Um método de análise exergoeconômica para otimização de sistemas energéticos*. 1999. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual de São Paulo, Guaratinguetá.
- ULBANERE, R. C. Análise ambiental de usinas de reciclagem de resíduos sólidos. *Engenharia e Ciências Aplicadas*. São Paulo, v. 3, p. 57-74, dez. 1996.
- VILHENA, A. T.; HERMAIS, C. A. Recuperação de rejeitos plásticos no Brasil: alguns aspectos econômicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 3., 1995, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Polímeros, 1995, p.1179-1181.

**Hans Cristian Borowski**

Engenheiro Geólogo pela Escola de Minas e Metalurgia da Universidade Federal de Ouro Preto em 1989, M.Sc. Eng. Mecânica pela Universidade Estadual Paulista, Campus da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG. Atualmente desenvolve projeto de doutoramento em Eng. Mecânica na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG/UNESP.

**José Luz Silveira**

Matemático pela Fundação de Ensino e Pesquisa de Itajubá em 1984, Engenheiro Mecânico pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI em 1986, M.Sc. Eng. Mecânica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI em 1989, Dr. Ing. pela UNICAMP em 1994. Atualmente ocupa o posto de professor livre-docente junto ao Departamento de Energia da UNESP, Campus de Guaratinguetá, onde é coordenador do programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica. É pesquisador/consultor do CNPq e perito cadastrado pela Comissão de Serviços Públicos em Energia da Secretaria de Energia do Estado de São Paulo.

**Carlos Daniel Ebinuma**

Engenheiro Mecânico pela Universidade Estadual Paulista, Campus da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG em 1978, M.Sc. em Eng. Mecânica pela UNICAMP em 1981, Dr. Ing. pela UNICAMP em 1985. Atualmente ocupa o posto de professor titular junto ao Departamento de Energia da UNESP, Campus de Guaratinguetá. É consultor ad-hoc da FAPESP e membro da Associação Brasileira de Ciências Mecânicas – ABCM.

**Eduardo Manfredini Ferreira**

Engenheiro Industrial Químico pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena – FAENQUIL em 1996. Atualmente desenvolve projeto de mestrado em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG/UNESP.