

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE CENTRAIS DE COGERAÇÃO UTILIZANDO RESÍDUO SÓLIDO MUNICIPAL

RESUMO

Ainda que a discussão acerca da disponibilidade do petróleo a baixo preço seja recorrente em algumas fases da história recente da Humanidade, permanece como uma questão importante à análise de alternativas que lhe sejam competitivas em termos dos aspectos econômico e ambiental. Uma promissora alternativa seria a obtenção de energia através de resíduos sólidos. O presente trabalho visa propor e avaliar economicamente através da análise do tempo de retorno ("pay-back") a utilização de resíduos sólidos municipais, solucionando-se dois problemas: o problema da gestão adequada do lixo urbano e o problema energético. Para isto, foi-se proposto o estudo sobre a produção de energia através de duas diferentes configurações de sistemas de cogeração, pré-determinados em estudos anteriores, utilizando três diferentes vazões a fim de suprir uma demanda energética, térmica e elétrica, de um pólo industrial adjacente. Ao final, com o intuito de ampliar aplicabilidade e abrangência do presente estudo foi-se feito uma análise de sensibilidade. Através dos resultados obtidos pôde-se demonstrar a possível e promissora utilização destes sistemas para a solução deste e de outros possíveis casos.

Palavras-chave: resíduo sólido municipal, cogeração, viabilidade econômica e problemas ambientais

SUMMARY

Despite that the discussion over the low cost availability of petroleum be recurrent in recent phases of human History, remains as an important question the analysis of alternatives that are competitive in economic and environmental aspects. One promising alternative would be the energy attainment through solid waste. The present work aims at considering and evaluating economically through the pay back time analysis the utilization of municipal solid waste, solving two problems: the inadequate disposition of urban waste problem and the energetic problem. For this, was proposed the study of the energy production through two different cogeneration systems, determinate in before studies, utilizing three different outflows in order to fulfill an energetic demand, thermal and electric, of an adjacent industrial polar region. To the end, with intention to extend the applicability of the present study a sensitivity analysis was became. Through the gotten results the possible and promising use of these systems for the solution of this and other possible cases could be demonstrated.

Keywords: Municipal solid waste, cogeneration, economic viability and environmental problems

INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população nos centros urbanos e o desenvolvimento industrial, a quantidade de lixo produzida aumenta a cada dia e vem, de longe, sendo um problema sério a ser enfrentado pelos países industrializados e em fase de de-

envolvimento do mundo inteiro. Desse modo, o tratamento e a disposição final do lixo têm sido discutidos e estudados por muitos pesquisadores, assim como formas específicas de reaproveitamento e deposição não poluentes, visto que o mal

Juliana Q. Albarelli,
Diego T. dos Santos e
Marcelo R. de Holanda*

¹ Aluna de graduação de Engenharia Química, Escola de engenharia de Lorena da USP

² Aluno de graduação de Engenharia Química, Escola de engenharia de Lorena da USP

³ Professor Titular da Escola de Engenharia de Lorena da USP

*Autora para correspondência:
Escola de Engenharia de Lorena/ USP
Estrada Municipal do Campinho, s/n
CEP: 12602-810. Lorena. SP
Fone: (12) 3152-2503
E-mail: jualbarelli@yahoo.com.br,
diego_tresinari@yahoo.com.br

Soluções para Estudos de Estabilidade **Mecalor**



Câmara Climática
tipo walk-in



Condicionador



Volume interno de 500 a 2.400 litros

Visite nosso stand na

ANALÍTICA
LATIN AMERICA

de 26 a 28 de Setembro de 2007
Transamérica Expo Center
São Paulo / SP

Opções de Registro de Temperatura e Umidade



Impressora de rolo de papel
registra data, hora,
temperatura e umidade a
intervalos regulares.



Registrador digital de tela de
cristal líquido com diversas
opções de apresentação e
comunicação.



Software desenvolvido pela
Mecalor para a monitoração
de até 5 câmaras climáticas.
É de fácil operação e
implantação.



Ligue: (11) 2188-1700

ou visite: www.mecalor.com.br

E conheça mais sobre as soluções inovadoras da Mecalor!

Mecalor®

gerenciamento dos resíduos pode ocasionar malefícios à saúde da população e ao próprio meio ambiente.

No Brasil, segundo os apontamentos feitos por Lora (2000) e Silva (2005), são produzidas diariamente 242000 toneladas de lixo, das quais cerca de 90.000 correspondem aos resíduos sólidos municipais (RSM). O destino dessa grande quantidade de lixo é o seguinte:

- céu aberto (lixão) - 76%;
- aterro sanitário - 10%;
- aterro controlado - 13%;
- usina de compostagem - 0,9%;
- usina de incineração - 0,1%.

É observado claramente que no Brasil não há grandes incentivos para a reutilização do lixo e, ainda, uma maior conscientização da população ou leis mais rígidas no que concerne a este assunto, pois mais da metade (76%) dos resíduos não são reaproveitados e nem tratados corretamente.

Em vista dos vários problemas ocasionados pela má disposição do resíduo no país como: (1) a escassez das áreas de armazenamento de lixo que, por sua vez, poderiam ser utilizadas para outros fins econômicos (lucrativos); (2) a contaminação do solo, dos lençóis freáticos e do ar, o tratamento do RSM visando à valorização de seus componentes (em vista da grande abundância destes nas metrópoles) se torna uma alternativa não só ecologicamente necessária, mas também economicamente atrativa.

Com a pressão mundial para a redução das emissões gasosas e, também, para a adoção de novas fontes (renováveis) combustíveis de geração de energia, muitos dos países desenvolvidos têm optado pela cogeração a partir de RSM (ou a partir de biomassa) como uma forma de suprir as suas necessidades térmica e elétrica. Esta tecnologia é interessante, pois além de emitir menos gases poluidores (conseqüência da queima de uma única fonte primária), quando comparada à geração convencional em que se utiliza dois ou mais combustíveis para a mesma satisfação de necessidades energéticas, ela reaproveita de forma bem satisfatória o poder calorífico do lixo. A recuperação da energia no tratamento de RSM, segundo Biniecka, Campana e Tarola (2005), é um importante ponto na construção de um sistema de gerenciamento integrado destes insumos, tendo como objetivo minimizar a colocação em aterros e valorizar ao máximo os recursos do próprio RSM.

Diante do exposto, este trabalho vem a contribuir com uma alternativa economicamente viável para o aproveitamento integral do lixo, solucionando tanto o problema energético como ambiental. Foi-se proposto o estudo da viabilidade econômica através da análise do tempo retorno (pay-back) de duas diferentes configurações de sistemas de cogeração, pré-determinados em estudos anteriores (Holanda 1998), utilizando três diferentes vazões a fim de suprir as demandas

energética, térmica e elétrica, de um pólo industrial adjacente. Ao final, com o intuito de ampliar aplicabilidade e abrangência do presente estudo foi-se feito uma análise de sensibilidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Seleção das melhores configurações de sistema de cogeração

Os dois sistemas utilizados foram selecionados a partir de estudos preliminares (Holanda 1998), sendo eles:

- Um sistema de cogeração que opera segundo um ciclo a vapor com caldeira convencional para a queima de RSM; empregou-se, também, uma turbina a vapor do tipo contrapressão para produzir vapor saturado a 0,7 MPa e gerar energia elétrica, com a finalidade de suprir as necessidades de uma unidade de processo industrial (Figura 1). É conveniente ainda salientar que, devido à natureza agressiva de alguns gases de escape, como o cloreto de hidrogênio (HCl) e outros formados em conjunção com a incineração de RSM, a temperatura do vapor na saída da caldeira foi mantida em 400°C, no intuito de se evitar possíveis corrosões (Otoma et al., 1997; Korobitsyn, Hirs e Jellema, 1997; 1999).
- Um sistema de cogeração que opera segundo um ciclo combinado constituído por uma turbina a gás, queimando gás natural, com caldeira de recuperação sem queima suplementar e um ciclo a vapor, queimando RSM, no qual foi adicionada à turbina a vapor de contrapressão pura outra de condensação pura (Figura 2).

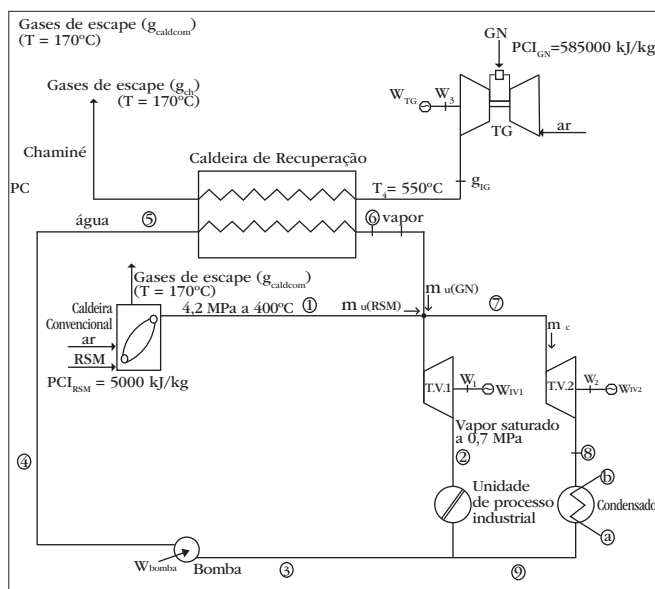


Figura 1. Configuração proposta como alternativa 1

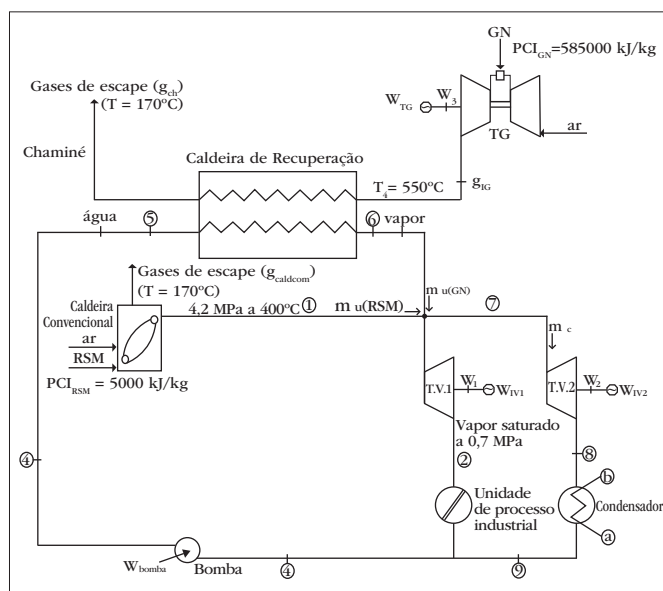


Figura 2. Configuração proposta como alternativa 2

Determinação das vazões de alimentação

Utilizou-se a Região de Guaratinguetá (RG) simplesmente como objeto de estudo afim de que em um futuro próximo outros pesquisadores e empresas possam adaptá-lo as suas condições. Embora não se tenha feito uma análise mais minuciosa com relação ao valor do poder calorífico e ao conteúdo de umidade do lixo da região, as amostras permitiram uma estimativa da umidade em torno de 40% até 50% e um poder calorífico (PCI) de aproximadamente 4000 kJ/kg até 5000 kJ/kg (Wehenpohl e Pfaff-Simoneit, 1993; Holanda, 1998).

Segundo Wehenpohl e Pfaff-Simoneit (1993) e Holanda (1998; 2003) das 66500 ton/ano de lixo urbano que são produzidas na RG, apenas 32% podem ser dispostas mediante combustão, ou seja, a vazão mássica de RSM incinerável nesta região é de aproximadamente 0,675 kg/s. Este trabalho utilizou diferentes vazões (dobro, triplo, quádruplo) de RSM da RG, que podem ser alcançadas mediante a venda do serviço de incineração as empresas da região. Verificou-se a necessidade deste aumento de vazão, pois ao se trabalhar somente com a vazão real de RSM foi-se detectado a sua inviabilidade econômica (Holanda 1998).

Métodos analíticos

Os cálculos foram realizados considerando que a central de cogeração abastecerá um pólo industrial adjacente constituído por empresas de reciclagem que necessitam de uma demanda fixa de energia de 750 kW, e que o calor útil produzido da cogeração atenderá completamente as necessidades deste pólo.

Foi-se efetuada anteriormente uma análise energética a qual possibilitou os dados necessários para os cálculos de viabilidade econômica, juntamente com valores pré-estabelecidos de custo de energia (compra e venda), venda do serviço de incineração, custo de investimento, custo de compra do gás natural, entre outros e tabelas termodinâmicas. Foi-se adotado que o investimento total para a unidade de incineração completa (conjunto a vapor), já considerando 50% a mais sobre os equipamentos principais para cômputo de outros encargos do projeto, é de aproximadamente US\$ 4500/kW segundo Balestieri (1997) e que o investimento total para o conjunto a gás escolhido (Nuovo Pignone PGT2) é de US\$ 650/kW segundo Gas Turbine World Handbook (2001-2002). Estes investimentos estão estritamente ligados à quantidade de energia que cada sistema pode produzir, variando-se, portanto, com a vazão de alimentação.

A análise de sensibilidade teve o intuito de mostrar o comportamento do pay-back (ou de qualquer outra variável dependente) frente às alterações de alguns parâmetros operacionais. O que proporcionará, desta forma, maior aplicabilidade e abrangência deste estudo.

A estrutura de programação para cada uma das análises foi elaborada com a ajuda do software LINGO 7.0 (PRO-DUTTARE, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise econômica do ciclo a vapor foi realizada baseando-se em quatro parâmetros: o benefício energético, o benefício térmico, o benefício obtido pela venda do serviço de incineração e o gasto com a manutenção. O benefício elétrico corresponde à quantidade de eletricidade que não precisou ser comprada da concessionária, mais a quantidade de energia excedente vendida para a concessionária. Considerou-se que todo calor útil gerado foi consumido pela unidade de processo, obtendo-se assim um benefício igual ao que não precisou ser gasto, caso não houvesse a central, para a geração da energia térmica. No gasto com a manutenção foi-se incluso todo o gasto necessário para operar este sistema no decorrer do ano, este gasto é diretamente proporcional à energia elétrica produzida no sistema. A Figura 3 mostra como esses valores se comportaram em relação ao aumento da vazão.

Para a análise do ciclo combinado, novamente os mesmos quatro parâmetros mencionados foram avaliados e um novo, o do gasto com o gás natural, foi adicionado devido à nova configuração. Nota-se na Figura 4 que o gasto com o gás natural é constante, devido ao fato deste sistema não ser dependente da vazão de lixo incinerável. Ao mesmo tempo em que o benefício elétrico se eleva, eleva-se proporcionalmente o gasto com manutenção, pois nesta situação temos 3 turbinas gerando eletricidade, as quais podem ser visualizadas na Figura 2.

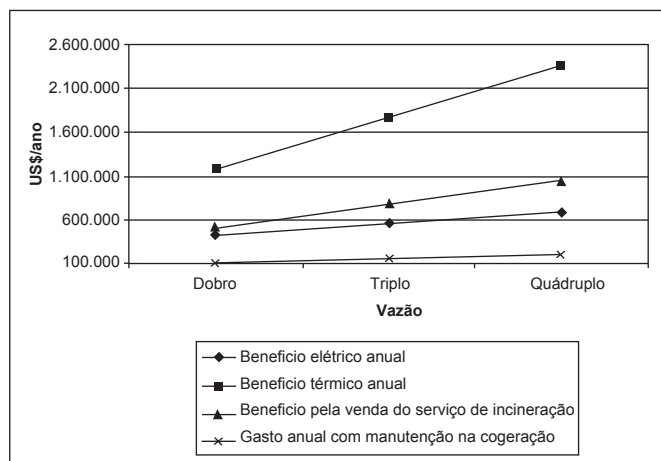


Figura 3. Gastos e benefícios para o cálculo da receita anual esperada no ciclo a vapor

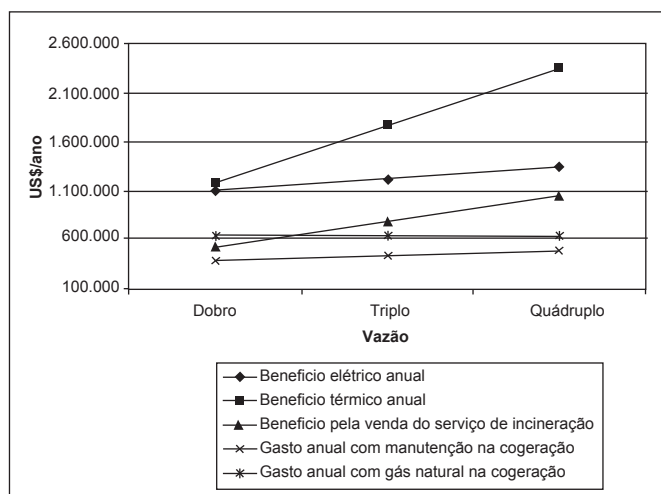


Figura 4. Gastos e benefícios para o cálculo da receita anual esperada no ciclo combinado

Nota-se que os valores obtidos pelo benefício térmico são os mais elevados, isto se explica pelo fato do sistema trabalhar em paridade térmica (bottomig), ou seja, dar preferência à geração de calor. E também, que em ambos os sistemas os benefícios térmicos são os mesmos, devido ao calor excedente, gerado pelo gás natural, do ciclo combinado em relação ao ciclo a vapor estar sendo condensado e não utilizado, já que o calor útil gerado pelo ciclo a vapor é suficiente.

Analisando-se os gráficos temos que os benefícios são, em geral, maiores que os gastos, e que ambos crescem de acordo com a vazão, exceto o gasto com gás natural. Utilizando então estes parâmetros, foi-se calculada a receita anual e foi-se verificado que para todas as vazões admitidas um valor positivo de receita foi encontrado, o que indica uma promissora viabilidade, que foi confirmada a partir da avaliação dos tempos de retorno (“pay-back”).

Para o cálculo do tempo de retorno, foi-se levado em consideração a receita anual calculada e o custo do investimento para cada sistema para o ciclo a vapor (Tabela 1) e combinado (Tabela 2).

Tabela 1. Resultados da análise econômica - Alternativa 1

Vazão de RSM (kg/s)	Receita anual (US\$/ano)	Custo de investimento (US\$)	k (anos)
Dobro	2032061	3871350	1,9
Triplo	2973683	5821380	2,0
quádruplo	3889575	7742745	2,0

Tabela 2. Resultados da análise econômica - Alternativa 2

Vazão de RSM (kg/s)	Receita anual (US\$/ano)	Custo de investimento (US\$)		k (anos)
		Ciclo a vapor	Ciclo a gás	
Dobro	1781141			4,4
		6888375	1022580	
Triplo	2711488	8838405	1022580	3,6
Quádruplo	3627379	10759770	1022580	3,2

Os valores de tempo de retorno no ciclo combinado são atraentes tendo em vista a maior quantidade de energia elétrica a ser produzida, mas por sua vez pode variar consideravelmente devido à dependência ao gás natural. Os valores de “pay-back” diminuem de acordo com o aumento da vazão de RSM por causa do aumento da receita anual em proporção maior que o custo de investimento, devido principalmente a um maior benefício ao se vender o serviço de incineração e eletricidade. Deste modo pode-se dizer que a implantação deste sistema torna-se mais atrativa conforme o aumento da vazão de resíduo incinerável.

De maneira a permitir maior aplicabilidade a este estudo foi realizada uma análise de sensibilidade variando-se o poder calorífico de RSM, de modo a averiguar o comportamento do “pay-back” para os dois sistemas, que pode ser visualizado pela Figuras 5 e 6.

Nota-se que para o ciclo a vapor, em quaisquer das vazões consideradas, se operarmos com um poder calorífico abaixo ou acima de 5000 kJ/kg a viabilidade econômica desta unidade de cogeração com RSM ainda permanecerá alta. Já no caso do ciclo combinado, se trabalharmos com um poder calorífico de 3000 kJ/kg e destruímos, o quádruplo da vazão de RSM incinerável o valor do “pay-back” se aproximará do

- . FT-IR
- . FT-NEAR
- . Raman
- . Microscopia IR
- . Analisador de Gases

- . Validações
- . Cursos e Treinamentos
- . Assistência Técnica



Nicolet 380 + Centaurus



Nicolet 6700 + Continuum

Liderança em Espectrometria Infravermelha FT-IR

Rua dos Cardeais, 78 - Conj.6 - Vinhedo - SP - CEP: 13280-000
Tel.: (19) 3836-3110 - Fax: (19) 3836-3109
www.charistech.com.br



QUIMIS[®] 30 anos de inovação tecnológica.



Q216F20M
Capela de Fluxo
Laminar Vertical Mini



Q400A
pH Metro de Bancada
Microprocessado



Q842-210
Sistema de Osmose
Reversa 10 litros/hora



Sistema Etna Spencer BA 450F

- Iluminação incidente e transmitida;
- Fluorescência;
- Cinco objetivas de ótica infinita.



Q250M
Agitador Mecânico de Alto
Torque Microprocessado



Produtos especiais para utilização em laboratórios com alta tecnologia e precisão.
Consulte nosso site ou departamento de vendas e conheça toda linha de produtos disponíveis.
Matriz: Diadema - SP - Vendas: 11 4055-9999 / PABX: 11 4055-9900 / FAX: 11 4055-9988 - e-mail: vendas@quimis.com.br
Filial: Campinas - SP - PABX: 19 3279-0292 / FAX: 19 3279-1407 - e-mail: quimiscampinas@quimis.com.br
SAQ - Serviço de Atendimento **QUIMIS**. Para críticas e sugestões: saq@quimis.com



www.quimis.com.br

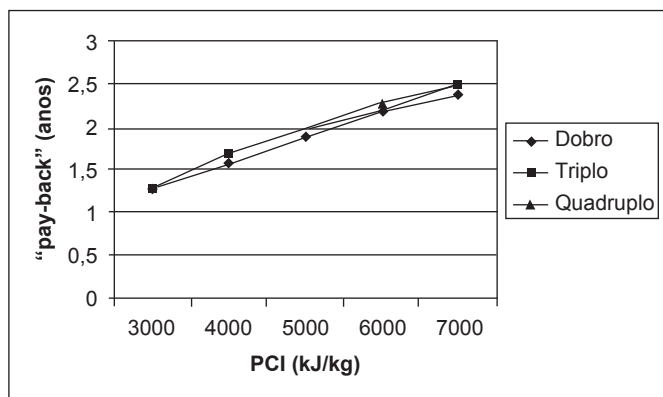


Figura 5. Resultados da análise de sensibilidade - Alternativa 1

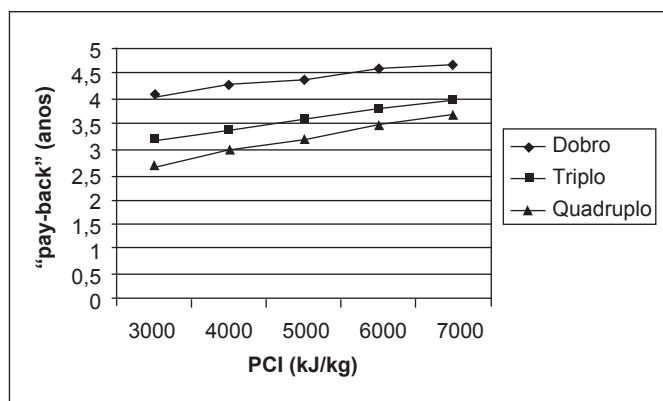


Figura 6. Resultados da análise de sensibilidade - Alternativa 2

melhor alcançado, dando a este outro sistema de cogeração uma viabilidade econômica mais interessante. Entretanto, operar com um poder calorífico acima de 5000 kJ/kg, em quaisquer das vazões de resíduo abordadas, vai fazer com que tal viabilidade decaia pelos aumentos significativos do “pay-back”, já que o custo de investimento e manutenção serão maiores, devido a uma maior quantidade de energia gerada.

CONCLUSÕES

Da análise da Alternativa 1, que se baseou no ciclo a vapor, observou-se que os valores de “pay-back” encontrados são baixos, sendo possível, então, afirmar que este sistema de cogeração (o qual visou o atendimento de empresas de reciclagem de produtos localizadas em um pólo industrial próximo às instalações da unidade termelétrica) apresentou uma viabilidade de implantação muito alta para qualquer um dos casos estudados.

A análise da alternativa 2, um ciclo combinado com um conjunto a gás queimando gás natural em associação à um ciclo térmico a vapor incinerando (ou destruindo) RSM, permitiu concluir que, embora os valores de custo de investimento e do “pay-back” sejam um tanto elevados para uma proposta de cogeração em empresas privadas, através de fi-

nanciamento captado junto a organismos de desenvolvimento econômico e social é possível também empregar tal sistema de cogeração em quaisquer dos casos abordados.

Os resultados da análise de sensibilidade apesar de demonstrarem que ao se aumentar o poder calorífico do resíduo a ser incinerável o “pay-back” aumenta, há longo prazo após a amortização do investimento poderemos ter um quadro atrativo, sendo aplicável em algumas situações particulares, como, por exemplo, no aproveitamento de resíduos agrícolas.

Este trabalho vem a contribuir com o desenvolvimento economicamente viável de uma possível solução para um problema mundial, a gestão de resíduos urbanos. Os resultados aqui apresentados não repercutirão a solução por completo deste problema, porém tem como intuito colaborar, conscientizar e demonstrar uma potencial e promissora aplicabilidade dos resíduos sólidos municipais.

AGRADECIMENTOS

A FAPESP pelo apoio financeiro.

Referências

1. BALESTIERI, J.A.P. **Planejamento de centrais de cogeração: projeto, operação e expansão**. Guaratinguetá, 1997. 184p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.
2. BINIECKA, M.; CAMPANA, P.; TAROLA, A.M. *Thermo-valorisation in integrated waste management*. **Microchemical Journal**, v. 79, p. 319-324, 2005.
3. GAS TURBINE WORLD HANDBOOK, 2001-2002.
4. 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 Mecânica - Transmissão e Conversão de Energia) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
5. KOROBITSYN, M.A.; HIRS, G.G.; JELLEMA, P. *Integration of a gas turbine and municipal solid waste incinerator*. **Power Technology International**, p. 46-9, Autumn, 1997.
6. KOROBITSYN, M.A.; JELLEMA, P.; HIRS, G.G. *Possibilities for gas turbine and waste incinerator integration*. **Energy**, v. 24, p. 783-793, 1999.
7. LORA, E.E.S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. Brasília: ANEEL, p. 503, 2000.
8. OTOMA, S.; MORI, Y.; TERAZONO, A.; ASO, T.; SAMESHIMA, R. *Estimation of energy recovery and reduction of CO₂ emissions in municipal solid waste power generation*. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 20, p. 95-117, 1997.
9. SILVA, M. **Projeto lixo seletivo - lixo**. Brasil, 2005. Disponível em: http://www.marcelosilva.com.br/projeto_lixo-03.htm.
10. WEHENPOHL, G.; PFAFF-SIMONEIT, W. **Conceito integrado de resíduos sólidos para a Região de Guaratinguetá/ Brasil: análise e conceito**. 1.ed. Guaratinguetá: Brochura, p. 136, 1993.

Mais Modos de Leitura



MICROPLATE DETECTION

DATA ANALYSIS

PATHCHECK® TECHNOLOGY

AUTO PMT TECHNOLOGY

INTEGRATED STACKER

BIOASSAY VALIDATION

IQ/OQ/PQ

A Molecular Devices é a principal fabricante de leitoras de microplacas com tecnologia baseada em monocromadores. Com a nova SpectraMax® M5®, leitora de microplacas com dois monocromadores, você obterá resultados superiores em cinco modos—todos em um único equipamento.

- ➔ Maior espectro luminoso para aplicações em absorvância e fluorescência, utilizando microplacas ou cubetas
- ➔ Luminescência sensível em um ou múltiplos comprimentos de onda
- ➔ Performance incomparável em FP com a versatilidade de monocromadores
- ➔ TRF, HTRF, IMAP® TR-FRET e capacidade para outros testes TR-FRET
- ➔ Compatível com robôs
- ➔ Ferramentas completas para validação de hardware e software

Para desenvolvimento de ensaios em larga escala, em cubetas ou microplacas de 6 a 384 poços, a solução mais eficiente é a leitora SpectraMax M5®.

Esperemos mais. Faremos o melhor para exceder suas expectativas.

 **Molecular Devices**

tel. +55-11-3616-6607 | www.moleculardevices.com

Molecular Devices Brasil

Av. Marques de São Vicente, 121 - 7o. Andar - Conj. 707

Barra Funda - São Paulo - SP - Brasil