

## USINAS TERMELETRICAS HIBRIDAS:

GERAÇÃO DE ENERGIA COM BALANÇO NULO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA, USANDO COMBUSTÍVEL FÓSSIL E BIOMASSA RESIDUAL

LUCIANO BASTO OLIVEIRA

LUIZ PINGUELLI ROSA

### RESUMO

O potencial de aproveitamento energético dos restos alimentares contidos no lixo brasileiro atinge 25 TWh, cerca de 8% do consumo total do país, a custos competitivos com as opções tradicionais, além de abater emissões de gases do efeito estufa. Ademais, sua gestão para este fim pode ofertar milhares de empregos para a população com baixa qualificação profissional.

O aproveitamento energético através da geração de energia torna necessária a discussão sobre viabilidade de cada uma das rotas tecnológicas para oferta deste produto, comparando-as com as alternativas de mercado, sobretudo as usinas termelétricas a gás natural em ciclo combinado.

A sugestão para otimizar a sustentabilidade técnica, econômica, social e ambiental da expansão do setor elétrico é a compatibilização entre os combustíveis fósseis e renováveis, o que configura as usinas termelétricas híbridas, cujo balanço de emissões de gases do efeito estufa é nulo.

1 - INTRODUÇÃO:

A dispendiosa e ineficaz gestão das 20 milhões de toneladas anuais de resíduos urbanos no Brasil usando soluções tradicionais configura substancial fonte de emissão de poluentes. Apesar de serem dois grandes problemas quando vistos de forma isolada, a solução integrada destas questões, usando os restos alimentares contidos no lixo urbano como fonte de 8% da energia consumida no país, pode gerar empregos e combater a poluição.

Seria possível para isto obter investimento a fundo perdido, através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto, e gerar energia a preços competitivos, com combustível cotado em moeda nacional e, normalmente, a custo negativo, como veremos. Soma-se, ainda, a presente crise de energia elétrica (ROSA, 2001), para cuja solução estão sendo construídas termelétricas a gás natural, principalmente.

Como os prazos de instalação das usinas a lixo e o tempo de retorno financeiro são semelhantes aos das usinas a combustíveis fósseis, estas tecnologias permitem ao planejamento do setor utilizá-las na otimização da expansão em médio prazo, ou seja, até cinco anos.

Entretanto, a atratividade das usinas termelétricas a resíduos (UTRs), após o aumento dos valores normativos para a energia gerada com o gás natural (ANEEL, 2001), passou a ser menor que das usinas termelétricas a gás natural (UTES). Por outro lado seu potencial de evitar emissões atinge, no caso de uma determinada tecnologia, nove vezes o nível de poluição das UTES por unidade energética gerada.

Portanto, é possível consorciar estas alternativas através da figura das usinas termelétricas híbridas (UTHs), que usam como combustível algo entre 80% e 90% de gás natural e entre 10% e 20% de lixo, o que será objeto deste trabalho. A atratividade da alternativa híbrida é muito próxima à da usina a gás natural e pode dispor da

comercialização dos certificados de emissões evitadas de gases do efeito estufa como fonte de receita adicional.

## 2 – METODOLOGIA PARA INTERNALIZAÇÃO DOS CUSTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS DOS RSUs

O potencial de aproveitamento dos restos alimentares foi calculado a partir do potencial energético da geração para cada tecnologia analisada, com base em suas características.

Para o aproveitamento do biogás utilizou-se o modelo para produção de metano em aterros do IPCC (1996) para composição (65% restos alimentares e 35% recicláveis) e disposição final (10% em aterros, 10% em vazadouros com colunas de até 5 metros e o resto em vazadouros com colunas maiores que cinco metros) típicas do Brasil.

O fator de emissão é próximo a 6.5% em peso do lixo depositado, o que soma 1,3 milhão de toneladas de metano por ano. Deste valor foi calculado o volume, através da densidade de  $0,716 \text{ kg/m}^3$ , o que permitiu utilizar o poder calorífico inferior de  $9.200 \text{ kcal/m}^3$  e a eficiência de 30% na conversão elétrica.

Para a incineração o cálculo foi possível através do poder calorífico inferior, cerca de  $1.500 \text{ kcal/kg}$  (NOGUEIRA e WALTER, 1997) e do uso do fator 30% de eficiência na conversão elétrica.

As demais rotas tecnologias tiveram seus potenciais obtidos a partir de dados dos fabricantes. A partir das quantidades de resíduos consumidos, calculou-se quantas usinas seriam passíveis de instalação, com cada tecnologia, em função do total de resíduos disponíveis. A este total foi aplicado o fator de capacidade de 80% e identificados os potenciais de energia firme a serem fornecidos por cada rota tecnológica.

Em virtude da geração de energia elétrica com fontes renováveis, será reduzido o consumo de gás natural que seria consumido na termelétrica, acarretando custo evitado. Além disto, esta energia gerada pode ser comercializada para as concessionárias através do valor normativo. No cálculo das receitas também é preciso considerar que o uso dos resíduos evita a disposição final dos mesmos, o que reduz o custo de gestão e, portanto, pode ser alocado como custo negativo da oferta deste combustível.

O custo do gás natural evitado para geração de energia foi calculado a partir de dados fornecidos pela PETROBRAS (2000), que atingiu US\$ 18,22/MWh.

Como estas usinas estarão substituindo aquelas consideradas como cenário de referência, as emissões de dióxido de carbono serão evitadas ao fator de 449 t CO<sub>2</sub>/GWh. Esta parcela deve ser somada a emissão evitada pelo uso dos restos alimentares como combustível, calculada acima.

O custo nivelado da energia gerada por estas rotas é obtido através do cálculo do Índice Custo-Benefício (ICB). Para tanto é considerado:

$$ICB = CI + COM + CTI + CC$$

Onde:

CI – custo anual do investimento na usina em \$/MWh, dado por:

COM – custo anual de operação e manutenção na usina em \$/MWh,

CTI – custo anual de investimentos em transmissão em \$/MWh,

CC – custo anual de combustível da usina em \$/MWh.

Algumas das rotas tecnológicas podem gerar sub-produtos, alguns comercializáveis e outros que oneram o sistema, reduzindo os custos negativos.

Os custos da energia gerada nas usinas termelétricas a gás natural, sejam as já em funcionamento e aquelas que estão em construção, apresentam-se na faixa de US\$ 43,32/MWh, com taxa de desconto de 20%. Sua atratividade fica em 21%, o

investimento em US\$ 625,00/kW (SCHEAFFER, 2000), com dois anos de construção e custos de operação e manutenção de US\$ 7,00/MWh (idem).

Para identificar as emissões evitadas pelo consumo do lixo como combustível utilizou-se o fator do IPCC (1996), para a composição e disposição típicas do Brasil. Este fator ficou em 6,5% do lixo, em peso, de metano (CH<sub>4</sub>), cujo potencial de aquecimento global é 21 vezes maior que o dióxido de carbono, unidade de medida internacional deste fenômeno.

Com isto as emissões evitadas pelas 67 toneladas diárias de restos alimentares, que correspondem a 102,5 toneladas do lixo típico carioca, que abastecem UTR de Digestão Acelerada de 1 MW, com fator de capacidade de 80%, as emissões evitadas por unidade energética atingem 5.829t CO<sub>2</sub>/GWh. Somando-se a isto as 449 t CO<sub>2</sub>/GWh evitadas pela substituição do combustível fóssil, o potencial de emissões evitadas desta rota tecnológica atinge 6.278 t CO<sub>2</sub>/GWh.

Dividindo-se este valor pela emissão da UTE a gás natural, é possível concluir que cada unidade energética da UTR de digestão acelerada evita emissões de 9,5 unidades energéticas de UTEs. Isto é análogo a dizer que uma usina termelétrica híbrida (UTH) que produza 10,5 unidades energéticas, sendo 1 oriunda do uso daquela tecnologia para resíduos e a diferença de gás natural em ciclo combinado, tem balanço de emissões de gases do efeito estufa nulo.

### 3 – OS CUSTOS DA ENERGIA GERADA COM RESTOS ALIMENTARES:

Existem diversas tecnologias para o aproveitamento energético dos restos alimentares encontrados nos resíduos sólidos, sendo que algumas serão mostradas abaixo. Normalmente estas usinas termelétricas a resíduos (UTRs) diferenciam-se das

demais pelo incremento de um estágio no processo de geração de energia, referente ao beneficiamento dos resíduos para obtenção do combustível.

## **I) GÁS DO LIXO**

A recuperação de biogás produzido pela decomposição anaeróbica dos restos orgânicos é a alternativa mais factível para os depósitos já existentes (USEPA, 1996), enquanto as demais tecnologias devem ser avaliadas para os resíduos novos, pois suas características viabilizam a importante redução dos resíduos a serem depositados em aterros.

Esta ação é de tal forma incentivada, sobretudo nos Estados Unidos pelo Landfill Methane Outreach Program – LMOP – (USEPA, 2001), e na Grã-Bretanha pelo Non-Fossil Fuel Obligation – NFFO – (UKDTI, 2001), provavelmente tendo como uma das variáveis favoráveis a atratividade financeira, que o Brasil já recebeu uma missão do governo norte-americano para analisar o potencial de dez depósitos de resíduos (USAID, 1997).

Após a recuperação do biogás, deve ser feita filtragem para obtenção do metano e compressão para fornecê-lo ao motor ou turbina.

## **II). DIGESTÃO ACELERADA:**

A digestão acelerada dos restos alimentares associada à compostagem, através do processo anaeróbico controlado, conduzido por bactérias modificadas, além de aumentar a oferta de biogás similar ao caso anterior, produz adubo orgânico que, se desenvolvido controle de qualidade, pode gerar participação na receita crescente do mercado de produtos naturais, além da venda de energia e de Certificados de Emissões

Evitadas (de metano), como visto acima, benefícios acrescidos da redução no uso de aterros.

### III) BIOMASSA-ENERGIA-MATERIAIS

A tecnologia Biomassa-Energia-Materiais (PINATTI ET AL., 1999), mais conhecida pela sigla B.E.M. utiliza a pré-hidrólise ácida em reator a vácuo para separar duas frações dos RSUs. A parcela que corresponde por 70% do peso do material inicial é o produto conhecido por celulignina catalítica, que pode ser usada como combustível sólido em função de seu poder calorífico de 4.500 kcal/kg. O restante pode dar origem, após outro estágio de tratamento, a produtos químicos de significativo valor agregado, na faixa de US\$ 500 por tonelada.

Os potenciais das rotas tecnológicas são apresentados na tabela 1, a seguir.

TABELA 1 - POTENCIAIS DAS ROTAS TECNOLÓGICAS:

	GÁS DO LIXO	DIGESTÃO ACCELERADA	BEM
ENERGIA (GWh/ANO)	2,1	3	22
EMISSÕES EVITADAS (Mt/ano)	4,15	4,27	6,60

Fonte: OLIVEIRA, 2000.

Apesar de demonstrar os menores potenciais de geração de energia e de combate a emissões, o aproveitamento do GDL dos RSUs já dispostos deve, na medida do possível, ser consorciado com qualquer rota para RSUs novos.

Do ponto de vista econômico, a viabilidade desta proposta pode ser avaliada pela tabela 2, abaixo, na qual são listadas informações sobre a atratividade financeira de algumas alternativas. Como parâmetro para preço de venda da energia são utilizados os valores normativos, criando um cenário conservador. Mesmo assim, a atratividade é significativa, a qual eleva-se perante a possibilidade de comercialização prévia dos créditos de carbono, o que pode alavancar parte dos investimentos necessários.

Assim como as UTEs a gás natural, estas alternativas não necessitam de investimento em transmissão, uma vez que sempre ficam localizadas nas proximidades dos centros consumidores. Entretanto, as UTRs têm dimensões menores que a escala normal das UTEs movidas a gás natural, o que suscita um problema de escala para comparar os empreendimentos. De qualquer forma, é possível usar gás do lixo para os depósitos existentes, o que configura custo nulo de combustível, e optar entre (ou compatibilizar) as tecnologias para otimizar o aproveitamento dos RSUs a serem produzidos, cujo custo de combustível é negativo, referente à quantidade de RSU que não precisou ser disposta em aterro.



TABELA 2 – Atratividade das alternativas de geração com resíduos

	CELULIGNINA	DIGESTÃO ACCELERADA	GÁS DO LIXO
Toneladas/dia	300	200	200
MW	25	3	3
Investimento (US\$/kW)	840	1.500	1.000
Vida Útil (anos)	30	30	15
Prazo de Instalação (Meses)	18	9	12
Custo de Combustível (US\$/MWh)	-1,30	-10,66	0
Custo de Operação e Manutenção (US\$/MWh)	5,99	10,70	7,13
Emissões Evitadas de GEE (t CO <sub>2</sub> /MWh)	1,45	6,28	6,28
Potencial Brasileiro (MW)	2.968	535	267
% Expansão da Matriz 2000-9 (45,1 GW)	6,6	1	0,5
Taxa Interna de Retorno (%) com energia vendida pelo Valor Normativo de Biomassa	34	19	19*
Índice Custo Benefício (US\$/MWh), com taxa de desconto de 20% ao ano	28,77	43,03	44,69

\* Considerando fator de capacidade de 65%, enquanto os demais são de 80%.

Nota: Sem considerar incidência de impostos

Fonte: Elaboração Própria.

A expectativa do custo de geração de energia em usinas termelétricas (UTES) a gás natural, em ciclo combinado, linha de base da expansão do setor elétrico brasileiro, é de aproximadamente US\$ 43,32/MWh (LA ROVERE ET AL, 2001). Como o combustível é importado e responsável por cerca de metade do valor, mesmo com taxa interna de retorno de 21%, o custo da energia fica sujeito às variações dos preços internacionais do petróleo e cambiais, além de depender da clareza das regras e da manutenção dos acordos.

Já no caso da geração de energia usando biomassa residual, em que o combustível é cotado em moeda nacional e, na maioria das vezes, remunera para ser consumido, o custo de geração reflete somente a amortização dos investimentos, que não variam além dos contratos, podendo ser mais atrativa mesmo tendo menor taxa interna de retorno, devido à redução do risco no custo, fornecimento e uso do combustível. O obstáculo para este tipo de aproveitamento energético é o maior custo de investimento em geração, quando comparado ao gás natural.

A compatibilização no uso destes combustíveis, com o intuito de reduzir o custo final da energia, já foi analisada. Um estudo que tomou por base a região de Guaratinguetá, em São Paulo, avaliou os aspectos técnicos e econômicos da geração elétrica consorciando UTE a gás natural em ciclo combinado com incineração de RSU para aproveitamento do vapor. Apesar da avaliação técnica ser favorável, o custo de investimento da incineração, US\$ 4.500,00/kW, inviabilizou o sistema (HOLANDA e BALESTIERI, 1999).

#### 4 - COMPENSAÇÃO DE EMISSÕES E OUTROS BENEFÍCIOS DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RSUs:

O aproveitamento energético de RSUs pode compensar as emissões de gases do efeito estufa das usinas termelétricas (UTE) movidas a combustíveis fósseis, como visto na seção 2, através das emissões evitadas em duas fontes: os depósitos de lixo e a queima do combustível substituído, de acordo com a seção 3. No caso da tecnologia de digestão acelerada, o fator calculado foi de 1 unidade de energia de UTR para 9,5 unidades de energia de UTE.

A tabela 3 mostra a variação na atratividade de UTEs e UTHs antes e depois da alteração dos valores normativos. Esta ação foi tomada com o intuito de elevar a atratividade das UTEs abastecidas por gás natural. Para tanto, a ANEEL criou, em julho de 2001, duas faixas de usinas, uma até 350 MW e outra maior, cujos Valores Normativos (VN) foram incrementados em 47% e 26%, respectivamente. Com esta alteração os Valores Normativos destes empreendimentos suplantaram os da energia gerada por biomassa.

TABELA 3: TAXAS INTERNAS DE RETORNO

		TAXA INTERNA DE RETORNO (%)	
		BÁSICA	HÍBRIDA
VN antigo	UTE	12	13
VN NOVO	UTE GN ATÉ 350	26,4	25,6
	UTE GN MAIOR 350	20,4	20,1

Fonte: Elaboração Própria

A tabela acima mostra que a alteração do Valor Normativo interferiu no efeito do consórcio, pois antes da alteração a atratividade aumentava e agora diminuiu. Mesmo com o aumento do investimento da UTH face à UTE de 14%, uma parcela do combustível não estará vinculada ao câmbio, será ofertada sem custo de transmissão e evitará diversos custos ambientais e sociais.

Para reduzir o impacto negativo do aumento do investimento das UTHs pode-se assumir a receita possível através da comercialização dos certificados de emissão evitada. Neste caso, estas UTHs podem obter taxa interna de retorno entre 21% e 24%, considerando os custos da tonelada de dióxido de carbono equivalente entre US\$ 1 e US\$ 10, respectivamente. Os incrementos sobre a taxa interna de retorno da usina termelétrica a gás natural padrão variam entre 5% e 20%.

Para constituir as UTHs podem ser consideradas rotas tecnológicas de aproveitamento energético de lixo mais baratas e/ou mais eficientes, para as quais os incrementos na taxa interna de retorno serão maiores, decorrentes do custo de abatimento de emissões de gases do efeito estufa de cada alternativa.

De acordo com a pesquisa de Chesnaye (2000) sobre os custos de abatimento para os diversos gases, os dados preliminares obtidos no Brasil indicam para que o abatimento através da emissão evitada do metano seja mais barato que o seqüestro de carbono, considerado o reflorestamento de espécies nativas da Mata Atlântica.

No caso acima o custo de abatimento aproximou-se de US\$ 0,07 negativos/t CO<sub>2</sub>, enquanto o custo de reflorestamento típico é de US\$ 2/t CO<sub>2</sub>. Existem alternativas em que este custo pode chegar a US\$ 8 negativos/t CO<sub>2</sub>.

O plano de expansão da oferta de energia elétrica no Brasil indica o aumento da participação de Usinas Termelétricas na matriz energética, tendendo a passar de 9% para 25% em 2009 (ELETROBRAS, 1999), quando a oferta de energia será de 109.4 GW. Isto corresponde a adicionar 45 GW a matriz de 2000.

Como o potencial brasileiro de gerar energia com resíduos atinge 500 MW, com a tecnologia de digestão acelerada, o que significa cerca de 2% do mercado futuro das UTEs, o aproveitamento das UTHs compensaria as emissões da geração em UTEs que somassem a potência de cerca de 4 GW com gás natural em ciclo combinado. Com isto,

as UTHs tornariam possível anular as emissões de 15% da expansão prevista, se fosse toda em UTEs a gás natural em ciclo combinado.

Por fim, é preciso considerar o valor referente à opção por utilização de áreas para servirem à disposição final de resíduos sólidos. Além destas áreas estarem sempre mais distantes – pela escassez de espaço –, o que configura aumento no custo de transporte e nas emissões de poluentes da queima de combustível, caracteriza-se o paradoxo das municipalidades estarem vivenciando o dilema entre dispor os resíduos ou responder à demanda por expansão econômica e habitacional, apesar deste valor ainda não ter sido mensurado.

#### 5 - CONCLUSÕES:

Este trabalho identificou que a geração de energia com restos alimentares é uma medida de mitigação de gases do efeito estufa, pois evita as emissões de vazadouros de resíduos e da queima de combustíveis fósseis para gerar energia.

Como melhor opção para seu uso foi identificado o consórcio com combustíveis fósseis, nas UTHs. Estas usinas, por terem 10% da energia gerada com resíduos, atingem balanço nulo de emissões de gases do efeito estufa, o que precisa ser analisado de forma estratégica.

Apesar de aumentar o investimento e reduzir a taxa de retorno, quando comparada a UTEs tradicionais e com base em valores atuais, as UTHs terão maior atratividade em pouco tempo. Esta estimativa decorre da confluência das seguintes variáveis: projeção das oscilações dos preços dos combustíveis fósseis e das variações cambiais, receita potencial decorrente da operacionalização do mercado internacional de carbono e garantia de preços, mediante concessão pública de longo prazo, da parcela do combustível oriunda de resíduos.

Algumas medidas de fomento importantes que o governo pode considerar para esta geração são: a elaboração de um Valor Normativo diferenciado e a extensão dos benefícios para substituição de fontes fósseis por renováveis, atualmente válida para sistemas isolados, para todo o sistema interligado (ANEEL, 1999)

Para atingir o máximo destes benefícios, outras medidas que devem ser aplicadas são o consórcio de municípios pequenos e o aproveitamento energético de resíduos agro-florestais, puros ou com os urbanos, além da discussão sobre o modelo institucional para a operacionalização do setor.

Também deve ser considerada a possibilidade de utilização de tecnologias com menor eficiência, em função de permitirem aproveitamento imediato, com incremento gradual no nível de engajamento da população, sobretudo na seleção dos materiais, até que seja possível viabilizar opções com melhor desempenho.

Esta integração pode alterar a forma de custeio da gestão de resíduos, substituindo a figura do poluidor-pagador, ainda em processo de instauração – a qual é inerente à gestão de resíduos – pela figura responsável pelo mercado de combustíveis e energia, o consumidor.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ANEEL (1999). *Resolução n° 245*. Versa sobre a Conta de Consumo de Combustíveis.
- \_\_\_\_ (2001). *Resolução n° 22*. Versa sobre Valores Normativos.
- CHESNAYE, F. et alli (2001). *Cost-effective reductions of non-CO2 greenhouse gases*. Energy Policy, 29. p. 1325-1331.
- ELETOBRAS (1999). *Plano decenal de expansão do setor elétrico brasileiro*.
- HOLANDA, M. R., BALESTIERI, J. A. P. (1999). *Cogeneration in a solid-wastes power-station: a case-study*. Applied energy, 63. 125-139 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996). *Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions – IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol 1, 2, 3* – IPCC, IEA, OECD.

- LA ROVERE, E. L. et alli. (2001). *Assessment of CDM Project Candidates and Selection of Five Proposals in The Brazilian Context. South South North*, available at <http://www.southsouthnorth.org>, since august 2001.
- NOGUEIRA, L.A.H. E WALTER, A.C.S. (1997) *Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: experiências e perspectivas*. CENBIO.
- OLIVEIRA, L.B. (2000). *Aproveitamento energético de resíduos sólidos e abatimento de gases do efeito estufa*. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. Tese (de mestrado em Planejamento Energético com ênfase Ambiental).
- PETROBRAS (2000). *Preço do gás natural para geração elétrica*. Diretoria de Gás e Energia.
- PINATTI, D.G et al (1999). Report on bioenergy in Brazil. In: *Annual meeting of international energy agency*. Auburn University Conference Center. Auburn, Alabama, USA
- ROSA, L.P. e LACERDA, W. (1996). *Tormentas cariocas*. COPPE. Rio de Janeiro.
- ROSA, L.P. and TOLMASQUIM, M.T. (1993). *An analytical model to compare energy efficiency indexes and CO<sub>2</sub> emissions*. Energy Policy 21.3.
- ROSA, L.P. and RIBEIRO, S.K. (1998). *The share of responsibility between developed and developing countries in climate change. Greenhouse gas mitigation*. In: RIEMER, P.W.F., SMITH, A.Y. and THAMBIMUTHT, K.V. *Proceedings from the International Energy Agency Conference on GHG*. Vancouver. 1997, Pergamon Press.
- \_\_\_\_\_ (2001). *The present, past and future contributions to global warming of CO<sub>2</sub> emissions from fuels: a key for negotiation in the climate convention*. Climatic Change, 48. P. 289-308.
- ROSA, L.P. (2001). *O Apagão. Por que veio? Como sair dele?* Ed. Revan. Rio de Janeiro. 125 p.
- SCHEAFFER, R. (2000) *Electric Power Options in Brazi*. PPE/COPPE/UFRJ e Pew Center, pg.32
- USAID (1997) *Characterization of landfill sites in Brazil for landfill gas recovery*. 116p.
- USEPA (1996). *Opportunities to reduce anthropogenic methane emissions in the United States*. [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- \_\_\_\_\_ (2001). *Landfill methane outreach program*. [www.epa.gov/outreach](http://www.epa.gov/outreach).
- UKDTI (2001). *Non-fossil fuel obligation*. [www.dti.gov.uk](http://www.dti.gov.uk)