

CONVERSÃO DO LIXO EM ENERGIA uma questão de ponto de vista

Felix A. Farret

O lixo sólido urbano e os refugos empresariais devem figurar entre as grandes questões que a todos preocupam neste final de milênio. Ocorre que enormes quantidades de rejeitos de origem industrial, comercial e residencial têm sido espalhados de modo displicente e desordenado por todo o planeta, aí incluído o espaço sideral próximo, negligenciando-se as possibilidades de reaproveitamento de um vasto conjunto de materiais e substâncias. Neste cenário sombrio para o próprio futuro da humanidade, convém examinar cuidadosamente todas as alternativas de utilização de resíduos, em especial como fonte de energia. Aparentemente inviável para a iniciativa privada, o uso dos subprodutos do lixo não pode deixar de ser estimulado pelo poder público, na medida em que pode produzir benefícios para a população, melhorando as condições de saúde pública, reduzindo a poluição ambiental ou aumentando a eficiência de aproveitamento dos recursos naturais, renováveis ou não.

O meio ambiente e a geração de energia

Alguns princípios gerais devem nortear as políticas governamentais que possam influenciar na convivência do homem com o meio ambiente. O aspecto mais forte desta convivência reside na necessidade humana de consumir energia cuja única fonte é a natureza. Há, então, que se formular as bases racionais para o equilíbrio entre ambos, de modo que um não extinga o outro. Assim, parece haver consenso na atualidade no sentido de que a utilização dos recursos naturais deve estar orientada de maneira a não modificar o ambiente apenas numa única direção. Portanto:

- Nada deve ser utilizado de uma fonte renovável que não possa ser regenerado no mesmo período.
- Devem ser lançados no meio ambiente apenas aqueles materiais que possam ser absorvidos na mesma localidade.
- Devem ser mantidas em nível de baixo risco de danos as quantidades de energia e de material lançadas no meio ambiente.

As etapas do ciclo de existência do lixo estão visíveis na Figura 1. Porém, no aspecto geração de energia a partir do Lixo Urbano Sólido (LUS), este ciclo tem colidido frontalmente com as formas de geração de energia vigentes em todo o mundo e no Brasil, particularmente nos grandes centros industriais e agropecuários. Observa-se que cada produto e cada serviço está ligado, em todo o seu ciclo vital, com a emissão de energia e materiais que, em larga proporção, não são utilizáveis e retornam inalterados ao ambiente natural, o qual deve reabsorvê-los. A redução dessas emissões representa uma contribuição destacada à proteção ambiental e um decréscimo na poluição convencional.

O abastecimento mundial de energia ainda está baseado nos combustíveis fósseis (80 a 90%), cuja queima leva, entre outros efeitos, à produção maciça de dióxido de carbono. Portanto, esse deve ser o alvo a se prestar maior atenção, tendo em vista a obtenção de resultados significativos. Um bom começo seria evitar o uso dos combustíveis em geral, tarefa gigantesca e complexa por mexer em muitos dos sustentáculos mundiais da vida moderna. Se não houver outra alternativa local, pode-se pensar então em substituir os combustíveis com alto conteúdo de carbono, como o carvão, por combustíveis com menor conteúdo de carbono, como o gás.

Uma segunda fonte importante de abastecimento de energia elétrica, a energia nuclear, ainda é alvo de debates sobre a sua utilização. Contudo, o desejo do público de aceitar os riscos diretos agora e passar os indiretos para as gerações futuras está se modificando na mesma proporção em que aumenta o perigo à sobrevivência na terra e que cresce a importância de outras formas de energias alternativas em razão do desenvolvimento tecnológico e da consciência ecológica. Essa e outras considerações permitem definir a meta de um sistema de abastecimento de energia sustentável: contribuir ao máximo para afastar a energia nuclear tão logo quanto possível.

Se as fontes renováveis de energia tivessem realmente de substituir as energias fósseis e nuclear nos níveis atuais de consumo, elas teriam que ser multiplicadas por um fator 40, pois, presente-mente, respondem apenas por cerca de 2,5% da utilização das fontes de energia mundiais. A dramática necessidade de expansão na utilização dessas fontes também não é desejável pelos problemas que geraria, como o uso da terra e algumas formas de emissão.

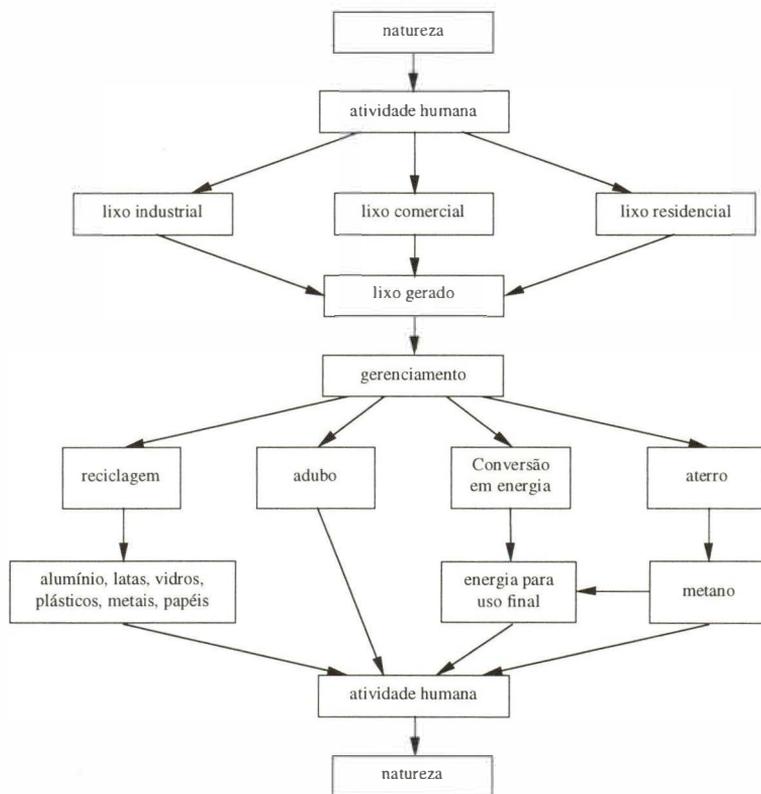


Figura 1
O ciclo de existência do lixo.

Tomando-se, então, como base que, tanto o uso como a geração de energia não têm como ser ambientalmente neutros, a única maneira de limitar os seus efeitos seria a redução significativa de seu consumo total. Para tanto, existem em todo o planeta formas potenciais de uso e de conservação de energia que devem ser aproveitadas ao extremo, intensificando-se a utilização de tecnologias poupadoras de energia. Tais medidas poderiam estimativamente reduzir o consumo de energia pela metade, lá pelo ano 2050, necessitando-se, para isso, de uma taxa de aumento na produtividade anual de energia de 3% a 5%.¹ Da mesma forma, se menos energia fóssil

¹ PIMENTA, J. L. Células de combustível: energia limpa para o desenvolvimento sustentável, *Eletricidade Moderna*, Abr. 1999, p. 224-236.

ou nuclear devesse ser utilizada, o próximo passo seria a geração de energia a partir das fontes renováveis, que deveriam ser expandidas também a uma taxa de 3% a 5% ao ano.

Nesse particular, foi criado o Programa ZERI (Zero Emission Research Initiative), mantido pela Universidade das Nações Unidas, com sede no Japão. O idealizador e coordenador da iniciativa é o empresário belga Gunter Pauli, um dos maiores propagadores da idéia. Pauli escreveu diversos livros mostrando as vantagens da estratégia global de Emissão Zero. No programa de Pauli estão envolvidos mais de 4500 cientistas ligados a mais de 30 entidades de todo o mundo, que discutem pela Internet temas focalizando estratégias, fórmulas e conceitos para se alcançar emissão zero em nível mundial. Uma das grandes preocupações do programa é o destino do lixo sólido urbano, considerando sua eliminação pura e simples para geração de subprodutos, entre eles, a eletricidade.

A Europa encontra-se muito a frente do restante do mundo em termos de utilização do lixo sólido urbano. Mais de 27 milhões de toneladas do lixo sólido são usadas para gerar eletricidade e para aquecimento.² A Suíça, por exemplo, exige que todos os incineradores sejam equipados para saída de energia e está acrescentando 10 novas instalações. A Suécia processa atualmente quase 1,5 milhões de toneladas/ano de LUS. Da mesma forma, a Holanda objetiva recuperar 40% da energia do lixo. Em Bruxelas, Bélgica, processos de recuperação térmica de LUS abastecem mais de 5% da eletricidade daquele país, enquanto na França, 25% do total do LUS é incinerado para produção de energia. Nos EEUU, a indústria do lixo sólido urbano separa o material recolhido para quatro finalidades: reciclagem, adubo, aterro e combustão. Para tanto, a Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos define o LUS de maneira a distinguir bens duráveis, containeres, embalagens, restos de comida, lixo urbano em geral e lixo inorgânico cuja origem pode ser residencial, comercial, institucional e industrial. Aí não se consideram o lixo industrial propriamente dito, o lixo da agricultura, o esgoto sanitário e todos os demais tipos de lixos perigosos incluindo as baterias e o lixo hospitalar. Naquele país, mais de 200 milhões de toneladas de LUS são geradas por ano distribuídos entre papel e papelão, que somam juntos 38,9% do total, lixo urbano (14,6%), plástico (9,5%), metal (7,6%), comida (6,7%), vidro (6,3%) e outros (16,4%).

Possibilidades do lixo como fonte de energia

De acordo com a mentalidade atual dos órgãos públicos e empresas privadas, poucos são os indicativos que apontam para a produção economicamente viável de energia elétrica a partir da biomassa ou de outras formas de gás como o do lixo. Ecologia, poluição, custos e rendimento global são algumas das complica-

² ADVANCED ALTERNATIVE ENERGY CORPORATION. Business Opportunities. URL: www.aecorp.com, jun/1999. TVE INTERNATIONAL, Intermediate Technology Development Group, The Schumacher Centre for Technology and Development. Information Service Unit. Rugby, England. URL: www.oneworld.org/itdg ou www.irdg.org.pe, 1998.

ções para esse tipo de central de incineração. Em compensação, trata-se de energia renovável, que pode reaproveitar materiais indesejados.

Para entender melhor a questão, deve-se considerar a forma como o biogás é produzido a partir do lixo. Sabe-se que o biogás resulta da ação de bactérias sobre o material orgânico na falta de oxigênio, razão pela qual este processo também é conhecido como digestão anaeróbica. As fontes mais abundantes do biogás são a carniça animal, o lixo humano e os resíduos agrícolas. As bactérias digerem lentamente o material e produzem um gás composto por metano e dióxido de carbono, numa proporção de 3/2, aproximadamente. O óleo combustível produz aproximadamente 19 gramas de CO₂ por MJ, enquanto o gás natural produz 14 gramas de CO₂ por MJ. O custo energético para a coleta do lixo sólido urbano em Porto Alegre é de 360 MJ/ton. Em São Paulo, para a coleta final e depósito em aterros sanitários ou indústrias de reciclagem, a taxa de manuseio é de 460 MJ/ton, sendo considerada a mesma para qualquer composição de lixo. A geração total de energia na central de incineração de lixo é de 240 GWh/ano, produzindo 3.8×10^{-6} kgCO₂/ano.

No Brasil, o biogás, muito usado em propriedades rurais, na cozinha e para iluminação, gera economia de combustível fóssil, principalmente carvão, óleo e gás, pela possibilidade de produzir calor e eletricidade e evitar o transporte de combustível. Além disso, é ambientalmente inofensivo por ser neutro em emissão de dióxido de carbono e não emitir gases sulfurosos. À medida em que os combustíveis sólidos tornam-se mais escassos e caros, com o agravante de emitirem altos níveis de dióxido de carbono, os benefícios e possibilidades do biogás como fonte de energia são paulatinamente melhor reconhecidos pela população, pelos governos e pelas empresas privadas.

O gás com origem no lixo pode ser de grande contribuição como fonte alternativa de energia, principalmente pelo papel de consumidor destes resíduos. Seu uso tem uma destacada vantagem sobre outras fontes alternativas de energia, em especial as de origem solar, eólica e hídrica: a independência das condições climáticas. Ainda assim, em propriedades rurais, onde há biomassa em abundância (plantações de árvores, casca de arroz, dejetos animais e vegetais), resolve-se o problema da criação de lixeiras, despoluindo o meio ambiente e aproveitando melhor os restos culturais. Também tem como vantagem extra, a produção de biofertilizantes, que podem ser utilizados no próprio local. Trata-se de um adubo natural que evita qualquer forma de contaminação.³ Nas cidades, o incentivo à utilização do lixo para produção de energia, de fertilizantes e adubos ou para outras formas de aproveitamento, pode reduzir as despesas com saúde pública, horas de licença médica dos trabalhadores, produção industrial, criação de empregos (para coleta e processamento), controle de insetos (moscas, mosquitos, pernilongos), contami-

³ HUGHES, W. L. *Energy for rural development. renewable resources and alternative technologies for developing countries*. Washington D. C., Advisory Committee on Technology Innovation, Board on Science and Technology for International Development, Commission on International Relations, 1976.
WARD, D. S., KARAKI, S., LÖF, G. O. G., SMITH, C. C., LOWENSTEIN, M. Z., WINN, C. B., LARSON, M. E. VALENTINE, I. E. *Solar heating and cooling of residential buildings – sizing, installation and operation of systems*. U. S. Department of Commerce, Solar Heating Application Laboratory, Colorado State University, 1977.

nação dos mananciais d'água, mau cheiro e outros fenômenos por todos conhecidos. Seja como for, os incentivos públicos reuniriam dois benefícios imediatos: o consumo do lixo e a geração de energia. Para viabilizar esta atividade, as autoridades governamentais deveriam buscar urgentemente uma forma de cálculo que contabilize todos os seus efeitos para traduzi-los em incentivos à utilização do lixo, semelhante ao tentado nos EEUU, com o Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA), de 1978.

Em São Paulo, a cidade mais industrializada do Brasil, responsável por cerca de 50% da produção nacional de bens de consumo e serviços e, portanto, com problemas industriais de maior escala, ainda não se conseguiu encontrar uma forma de implantação de programas de reciclagem do lixo. Os altos custos da coleta, a possibilidade de utilização direta em aterro (90 a 95%), a mentalidade não preparada para considerar com mais convicção o meio ambiente como um bem comum que deve ser saudavelmente preservado e a carência da iniciativa voluntária, fizeram com que, contra todas as expectativas, o estado paulistano ainda considere muito mais conveniente a incineração em massa do lixo para gerar energia ao invés de adotar outras formas ambiental e economicamente coerentes com a região.⁴ Estudos indicaram que as diferentes alternativas consideradas podem ser comparadas com base no conteúdo de carbono lançado na atmosfera para os diferentes combustíveis usados nos processos de fabricação. Em contraste com os americanos, que usam mais combustíveis fósseis (mais poluentes), o Brasil usa mais a energia elétrica, o que poderia viabilizar as fontes alternativas de energia e em particular o LUS.

Os estados do sul do Brasil têm-se destacado nos cuidados com o meio ambiente. Porto Alegre, por exemplo, possui a maior floresta urbana do país (mais de um milhão de árvores) e dispõe de serviço de coleta seletiva do lixo já há alguns anos. O exemplo das capitais tem sido seguido pela maioria das cidades do interior destes estados, demonstrando que as autoridades governamentais e a iniciativa privada estão realmente preocupadas com o meio ambiente. A utilização da biomassa igualmente chama a atenção na região, quer pela queima pura e simples da madeira, quer pela produção de gás com biodigestores.

Quanto às instalações necessárias para geração de energia elétrica, o gás combustível não encontra grandes dificuldades no conjunto gerador, salvo o motor, que deve ser adaptado para que funcione com metano ou biogás. A adaptação pode ser feita por mecânicos especializados, que colocam um dispositivo para aumentar o diâmetro do duto de vazão do gás, permitindo uma maior circulação no motor.⁵ Tipicamente, a utilização do biogás para gerar pequenas potências precisa de motores que funcionem à base de gás, acoplados a turbinas e geradores de eletricidade, como mostra a Figura 2.

⁴ LEÃO, A. L. e TAN, H. Potencial of municipal solid waste (MSW) as a source of energy in São Paulo: its impact on CO₂ balance. *Biomass and Bioenergy*, v. 14, n. 1, 1988, p. 83-89.

⁵ AUERBACH, L. M. *A Homesite power unit - methane generator*. Relatório da Alternative Energy Systems, Madison, United States, 1974.

Uma forma mais drástica de geração de energia elétrica a partir do lixo ou da biomassa, é a utilização da queima em massa para produzir vapor sob pressão para acionamento de turbinas. O abastecimento primário de matéria-prima combustível é garantido, já que o lixo é gerado de forma permanente nas cidades e as árvores podem ser replantadas à medida em que forem derrubadas e queimadas. A produção de cinzas, porém, é apreciável e deve-se também pensar num destino adequado para elas.



Figura 2

Diagrama esquemático de um conjunto gerador de energia elétrica usando biogás.

Tendências na geração do lixo urbano sólido

A evolução da composição do lixo sólido urbano em São Paulo, em termos de massa percentual, pode ser observada na Tabela 1. Nas características da composição do lixo mostradas, também podem ser incluídos o conteúdo de umidade que fica entre 40 e 60% e a densidade em kg/m^3 .

Em São Paulo, verifica-se uma tendência de redução na densidade da composição do lixo ao longo dos anos. De 500 em 1927, caiu para 300 em 1957 e para 230 em 1969, mantendo-se neste nível a partir daí com pequenas variações. Pode-se notar o rápido aumento no consumo de plásticos, couros, têxteis e borrachas e a redução acentuada na madeira e materiais orgânicos em geral, ainda que este último item seja o mais proeminente por relacionar-se com a alimentação.

Os EEUU lideram mundialmente a geração de lixo urbano sólido e podem espelhar melhor as tendências de uma sociedade baseada precipuamente no consumo. Naquele país, a geração de LUS aumentou de 88 milhões em 1960 para mais de 210 milhões de toneladas atualmente (Tabela 2). Durante este período, a geração de lixo per capita passou de 1,23 para 2 $\text{kg}/\text{pessoa}/\text{dia}$, quantidade que deve ser mantida mais ou menos a mesma até o ano 2000, quando a quantidade total de lixo gerado deverá alcançar a marca de 223 milhões de toneladas.

Em 1960, aproximadamente 30% (27 milhões de toneladas) de LUS foram incinerados, a maioria sem recuperação da energia ou sem qualquer controle de poluição do ar ambiente (Tabela 2). Durante as duas décadas seguintes, a combustão diminuiu continuamente, à medida que os antigos incineradores eram fechados até chegar a 13,7 milhões de toneladas em 1980. Menos de 10% do total do LUS gerado em 1980 foi incinerado. Com a edição do PURPA e o surgimento de um mercado garantido de energia, a combustão de LUS

aumentou para 31,9 milhões ou 16% da geração de 1990. As principais instalações de conversão de lixo em energia foram projetadas com controles de poluição do ar ambiente e dispõem de sistemas de aproveitamento de energia. Durante os anos noventa, a quantidade absoluta de LUS queimado e convertido em energia permaneceu razoavelmente constante, apesar de sua participação ter diminuído levemente. Espera-se que até o ano 2000, a quantidade de LUS queimado atinja a cifra de 34 milhões de toneladas.

Tabela 1
Evolução da composição do LUS em São Paulo (em massa %).

Composição	Ano					
	1927	1957	1969	1976	1991	1996
Orgânico	82,5	86	52,2	62,7	60,6	52,2
Papel	13,5	16,7	29,2	21,4	13,8	19,2
Plásticos			1,9	5	11,5	14,8
Metais	1,7	2,2	7,8	4	3,5	2,6
Couro, Têxteis, Borracha	1,5	2,7	3,8	2,9	4,4	5,7
Vidro	0,9	1,4	2,6	1,7		2,3
Madeira			2,4	1,6	0,7	
Entulho				0,7		
Outros		0,1				0,7

Sob um ponto de vista universal dos materiais, o vidro não é tão intensivo em termos energéticos como os plásticos, e sua reciclagem representa cerca de 37% dos custos na produção de energia. A reciclagem de vidro, todavia, não é tão complicada como a do plástico, devido a menores restrições quanto a impurezas. O vidro pode ser separado pela cor, por exemplo. O papel é um material muito intenso energeticamente, mas a sua reciclagem poupa muito menos energia do que a do plástico. Considerando que os níveis de contaminantes, como plásticos e adesivos, são apreciáveis e que o conteúdo de umidade no LUS é elevado, a geração de energia por combustão surge como a melhor opção de aproveitamento. Com o desenvolvimento de pequenos incineradores associados à geração de energia local, a reciclagem caseira pode ser uma opção ecológica futura. Os metais, por sua vez, são bastante adequados para a reciclagem, especialmente o alumínio e o cobre. Couro, têxteis e borrachas podem ser considerados apenas para geração de energia e não para reciclagem. A combustão de matéria orgânica é nociva ao meio ambiente, principalmente em grandes conglomerados urbanos e deve ser evitada pelo seu baixo poder energético e intensa emissão de CO₂. A parte orgânica deve ser apenas separada e usada no âmbito doméstico como fertilizante ou comida para animais. A queima de madeira em lareiras ou fogões na Inglaterra foi banida em todo o país há vários anos.

Tabela 2
Produção histórica e projetada de LUS nos Estados Unidos (em milhões de ton).

Disposição	Combustão*	Recuperação por reciclagem e adubo	Aterro	Produção total
1960	27	R 5,6	R 55,3	87,8
1970	25,1	8,6	R 89,5	R 121,6
1980	13,7	R 14,4	R 124,3	R 152,4
1990	31,9	32,9	R 132,3	R 197,1
1991	33,3	37,3	126,2	196,8
1992	32,7	41,5	128,8	203
1993	32,9	45	129	206,9
1994	32,5	49,3	127,3	209,1
2000	34	66,9	122	222,9

⁶ U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Municipal Solid Waste Factbook*. Banco de Dados versão 3.0, Washington, DC, Mar/1996.

⁷ U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Characterization of Municipal Solid Waste in the United States: atualização 1995*. EPA/530-S-96-001, Washington, DC, Mar/1996.

Fonte: U. S. Environmental Protection Agency para 1960, 1970, 1994 e 2000.⁶ Os dados históricos de 1991, 1992 e 1993 foram revisados pela fonte citada.⁷

* Inclui a combustão de LUS por queima pura e simples ou formas relacionadas de refugo, incineração sem recuperação de energia e combustão com recuperação de energia a partir de materiais separados na fonte.

R = Dados revisados. Os totais podem diferir da soma dos componentes devido ao uso de arredondamentos independentes.

Centrais de conversão de lixo em energia

É difícil falar em energia sem relacioná-la ao meio ambiente, pois qualquer uma de suas formas de produção exige modificações substanciais no local das instalações, praticamente proporcionais à quantidade de energia gerada. Os principais reflexos causados pela geração de energia elétrica em grande escala são: inundação de áreas, desmatamento, dizimação da flora e fauna regionais, deslocamento de populações, ruídos, aspectos visuais (painéis solares, barragens, tubulação, fiação, torres eólicas, torres de transmissão e distribuição), perigos da alta tensão, lixo, derramamento de produtos químicos e tóxicos (chumbo e ácido de baterias, entre outros). Acrescida à geração, o fato de ter que se levar energia através das linhas de transmissão e distribuição para populações distantes dos grandes centros, pode ser também dispendioso e danoso para o meio ambiente.⁸

Por outro lado, é fundamental levar em conta que a instalação de unidades geradoras de energia elétrica de forma distribuída tem grande importância econômica, ecológica e social. Uma forma muito particular de produção de energia é a que se faz a partir do lixo, por necessitar apenas de uma central com faixa de potência muito

⁸ HADJSAID, N., CANARD, J. F. e DUMAS, F. Computer applications in power. *IEEE-Power Engineering Society*, v. 12, n. 2, Abr/1999.

pequena, prescindindo de grandes investimentos financeiros. Torna-se, portanto, de custo acessível, principalmente para prefeituras e para pequenos e médios empresários e proprietários rurais que, de uma forma ou de outra, já alteram o ambiente com seus meios de vida e de produção. Além de oferecer energia elétrica, fator de pleno desenvolvimento, as instalações geradoras também oferecem benefícios como conforto e comodidade, propiciando às populações rurais melhores condições para permanência no campo e diminuindo a crescente massa de desempregados que formam cinturões de miséria ao redor dos grandes centros.

No Brasil, país de vastas dimensões e diferenças sócio-econômicas, a implantação distribuída em pequenos grupos geradores usando refugos e o lixo como fonte de energia, poderia tornar-se uma alternativa bastante recomendável. Porém, mesmo em se tratando de pequenas unidades, é preciso tomar todos os cuidados para que a sua instalação não cause prejuízos ainda maiores do que o lixo, prejudicando o meio ambiente tanto no seu aspecto visual como na qualidade de vida. Também é necessário verificar se a central conversora pode ser afetada ou não por uma eventual mudança ambiental. As observações devem ser feitas em função das medidas de proteção das instalações.

O Brasil ainda carece de um melhor aproveitamento do lixo como fonte de geração de energia, em especial se comparado aos EEUU que, em 1996, possuía 102 organizações comercializando energia. Ao contrário da expectativa, o número destas organizações, em território americano, tem diminuído a uma taxa de 10% ao ano em período recente, tendendo a índices ainda mais baixos, algo em torno de 2%, devido à retirada dos subsídios governamentais. A maioria das organizações situa-se na parte leste dos EEUU, onde o material para aterro é mais escasso.

Na área de Soltau, cerca de 80 Km ao sul de Hamburg, na Alemanha, 20 fazendas usam excrementos de animais como fonte de energia renovável. Cada fazendeiro tem as suas próprias instalações de biogás, que operam efetivamente descentralizadas do sistema público. O calor gerado é utilizado pelos fazendeiros para aquecer as suas casas, as edificações da fazenda e os estábulos, bem como para o aquecimento de água. No verão, o calor é usado para secar a colheita. A eletricidade produzida é aproveitada nas casas e instalações, em atividades diversas, como tirar leite das vacas, debulhar milho e inspecionar a criação.

Tipo de processo e capacidade

Via de regra, as instalações de energia a partir do lixo podem ser divididas em dois processos: as de queima em massa e as de obtenção de combustível com o aproveitamento de refugo. As instalações de queima em massa processam o lixo bruto; neste caso, o material deixa de ser fragmentado, classificado por tamanho ou se-

parado antes da queima. Mesmo assim, peças enormes, tais como refrigeradores e fornos, além de baterias e substâncias perigosas, são separadas antes da queima. Materiais não combustíveis, entre eles os metais, podem ser removidos, antes ou depois da combustão, geralmente por meios magnéticos.

O lixo para combustão é comumente depositado em buracos de grandes dimensões e transportado para a fornalha por meio de guindastes. Como resultado da queima, há uma redução em aproximadamente 90% do volume original. As cinzas restantes são usadas em serviços de terraplanagem e podem ser divididas em duas categorias: cinzas pesadas e cinzas leves. A cinza pesada fica depositada no fundo de peneiras ou da fornalha. A cinza leve, geralmente considerada o problema mais sério para o meio ambiente, compõe-se de pequenas partículas que sobem durante a combustão e são removidas dos gases azuis com filtros de tecido ou por raspadores.

Quando o lixo é pré-processado em instalações recuperadoras de combustível, os materiais não combustíveis são removidos para aumentar o valor energético do combustível. A quantidade de materiais não combustíveis removida varia muito em sua forma e conteúdo. Na maioria dos sistemas, a remoção dos metais se dá por meio de separadores magnéticos e a do vidro, areia e grãos é feita por peneiramento. Para refinar ainda mais a separação, alguns sistemas utilizam classificadores a ar, bem como peneiras e tambores rotativos.

As instalações menores para queima de lixo podem ser modulares, em geral pré-fabricadas e adquiridas montadas em módulos ou construídas no local, ou em fornalhas com parede d'água que contém tubos de aço bem próximos uns dos outros, nos quais circula água, pelos lados da câmara de combustão. As instalações do tipo parede d'água são projetadas sob encomenda e construídas no local. A energia provinda da queima do lixo aquece a água e produz vapor. Algumas instalações de parede d'água usam também queimadores rotativos para virar o lixo e assim melhorar a combustão.

A grande maioria das instalações de conversão de lixo em energia, todavia, emprega a queima em massa. Em levantamento realizado nos EEUU, em 1996, das 101 instalações, 86 eram do tipo queima em massa e 15 do tipo combustível de refugo.⁹ Duas das instalações de queima em massa descartavam o lixo conjuntamente com o esgoto. Apesar de apenas 22% destas instalações menores serem modulares, 6 das 13 instalações localizadas na região centro-norte dos EEUU (Tabela 3) eram do tipo modular. Mais da metade eram de queima em massa do tipo parede d'água e mais de 40% delas estavam localizadas no nordeste dos EEUU, região onde o material para aterro é relativamente menos escasso.

⁹ GOVERNMENTAL ADVISORY ASSOCIATES, INC. *Municipal Waste Combustion in the United States: 1996-97*. Yearbook, Directory and Guide, Westport, CT, 1997.

Tabela 3
Instalações de conversão de lixo em energia por tipo de processo e região, 1996.

Tipo de processo	Número de instalações				
	Nordeste	Sul	Centro-Norte	Oeste	Total
Queima em massa, modular	5	10	6	1	22
Queima em massa, parede d'água	27	16	4	5	52
Queima em massa, refratária	1	1	0	1	3
Queima em massa, queimador rotativo	5	2	0	0	7
Todos os combustíveis de refugo	5	5	3	2	15
Total	43	34	13	9	99

Fonte: Governmental Advisory Associates.

Uma das instalações não indicou o tipo de processo. Duas delas que indicaram o processo como queima em massa com descarga junto com o esgoto não foram incluídas no total. A informação refere-se somente a instalações que comercializam energia.

A capacidade média das instalações de conversão de lixo em energia dos EEUU é de mais ou menos 1000 ton/dia (Tabela 4). As instalações com combustível obtido do refugo tem em média mais de duas vezes a capacidade das instalações de queima em massa (quase 1900 ton/dia em comparação com 850 ton/dia). As instalações das regiões nordeste e sul têm uma capacidade média maior do que 1000 ton/dia, ao passo que a capacidade média das instalações no centro-norte e oeste estão entre as 700 e 800 ton/dia (Tabela 5). As instalações modulares são bem menores, variando de 89 ton/dia no centro-norte a 256 ton/dia no nordeste (Tabela 6).

Tabela 4
Capacidades de projeto das instalações de conversão de lixo em energia por tipo do processo (ton/dia), 1996.

Tipo de processo	Média	Mínimo	Máximo	Número de instalações
Queima em massa	849,8	24	3150	86
Todos as de combustível de refugo	1873,8	294	4000	13
Todas as instalações	965,4	24	4000	99

Fonte: Governmental Advisory Associates.

Duas das instalações não listaram as capacidades de projeto e uma não listou o tipo de processo.

Por ser um país baseado no consumo, os EEUU têm enfrentado problemas sérios com o LUS e incentivos de toda sorte têm sido oferecidos pelo governo para a iniciativa privada, visando a utilização e destruição do lixo. Mais de 80% das 102 instalações de conversão de lixo em energia produzem eletricidade. Das 84 instalações que produzem

zem eletricidade, 20 são cogeneradoras de vapor e eletricidade. Somente 18 destas instalações produzem apenas vapor e 12 das instalações são modulares. Nenhuma das instalações de combustível a partir do refugio produz apenas vapor, comparadas com mais da metade das instalações modulares, que, em sua maioria, são instalações antigas.

Tabela 5
Capacidades de projeto das instalações de conversão do lixo em energia por região (ton/dia), 1996.

Região	Média	Mínimo	Máximo	Número de instalações
Nordeste	1021,2	50	2688	42
Sul	1012,1	40	3150	34
Centro-Norte	780,4	72	4000	14
Oeste	734,4	24	2160	10
Todas as instalações	955,7	24	4000	100

Fonte: Governmental Advisory Associates.

Duas das instalações não listaram a capacidade de projeto.

Em anos recentes, a maior parte das instalações americanas é responsável pela geração de energia elétrica. O mercado garantido sob a égide do PURPA minimiza o risco financeiro para tais instalações que estejam produzindo eletricidade, condição que pode mudar se os preços da energia elétrica caírem como consequência da reestruturação do mercado dos produtos elétricos.

Tabela 6
Capacidades médias de projeto das instalações de conversão do lixo em energia por tipo de processo e região (ton/dia), 1996.

Tipo de processo	Capacidade média de projeto				
	Nordeste	Sul	Centro-Norte	Oeste	Todas as instalações
Queima em massa, modular	255,6	149,7	88,7	100,0	154,9
Queima em massa, parede d'água	1185,1	1450,9	559,3	778,0	1179,6
Queima em massa, refratária	240,0	1000,0	—	420,0	553,3
Queima em massa, queimador rotativo	1051,2	355,0	—	—	852,3
Todos os processos, combustível a partir de refugio	1030,0	1825,0	1931,3	1455,0	1873,8

Fonte: Governmental Advisory Associates.

Uma das instalações não listou o tipo de processo. Duas das instalações que listaram o processo como queima em massa com descarte de esgoto não foram incluídas nos totais. Três das instalações não listaram a capacidade de projeto.

Equipamentos de controle da poluição do ar

Vários tipos e projetos de equipamentos de controle da poluição do ar são usados por quase todas as instalações de conversão de

lixo em energia. Raspadores secos e filtros de saco usados combinadamente mostraram ser mais eficientes do que a maioria dos precipitadores eletrostáticos na remoção de gases ácidos e partículas dos gases de chaminés. Nos EEUU as emissões de mercúrio e óxidos nitrogenados também são obrigatoriamente controladas na maioria das regiões (ver Tabela 7) e as instalações modulares, que usavam exclusivamente sistemas de pós-queima ou de duas câmaras, não foram mais permitidas com apenas estes sistemas de controle. Como resultado, algumas foram modificadas e outras fecharam definitivamente.

Tabela 7
Equipamento de controle da poluição do ar em instalações de conversão de lixo em energia por tipo de processo (%), 1996.

Tipo de equipamento	Tipo de processo		
	Queima em massa	Unidades modulares	Todos os processos/combustível do refugo
Raspadores secos	68,7	22,7	80,0
Filtros de tecidos/saco	53,1	22,7	60,0
Precipitadores eletrostáticos	39,1	63,6	46,7
Raspadores molhados	1,6	13,6	6,7
Sistema "Ammonia DeNox"	21,9	4,5	20,0
Injeção solvente seco	25,0	0,0	6,7
Sistema pós-queima	0,0	22,7	0,0
Sistema de controle de mercúrio	0,0	0,0	0,0
Outras tecnologias	3,1	13,6	20,0

Fonte: Governmental Advisory Associates.
Uma das instalações não listou o tipo de processo.

Proprietários e operadores

O sucesso da utilização do LUS como fonte de geração de energia nos países ricos arrefeceu bastante nos últimos tempos, por diversos fatores até certo ponto subjetivos. Entre estes podem-se citar: o avanço da reciclagem do lixo, os desafios legais no controle do fluxo e da circulação intermunicipal que tem permitido a deposição do lixo da forma mais barata possível, os incentivos públicos reduzidos, os lucros menores pela competitividade de outras formas de energia, especialmente na venda da eletricidade, e considerações políticas e ambientais relacionadas com a localização e a construção das centrais conversoras de lixo em energia.¹⁰ Assim sendo, para reduzir custos, além da proximidade da matéria-prima, os projetos de conversão de lixo em energia devem visar: a) baixos custos de capital, por ser originário de fundos públicos, dos créditos de taxas de investimentos e de tempos acelerados de depreciação; b) sistema

¹⁰RENEWABLE ENERGY ANNUAL. *Public policy affecting the waste-to-energy industry.* www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/renewable.energy.annual.mai/1999.

de cobrança dependente do fluxo de lixo para amortizar o débito; c) lucros obtidos com a venda da eletricidade, vapor ou ambos.

Para se ter uma idéia de quanto interesse pode ser despertado, basta examinar uma vez mais o caso dos EEUU. Quase metade (48) das instalações de conversão de lixo em energia é privada; três são “joint-ventures” pública/privada e as restantes são públicas. Vinte e cinco das instalações do setor público são operadas pelo setor privado. Assim, 70% de todas as instalações de conversão de lixo em energia são operadas pelo setor privado.

A indústria do gás de aterro

O lixo urbano sólido contém porções significativas de material orgânico que produz uma variedade de produtos gasosos quando amontoado, compactado e coberto por aterros. As bactérias anaeróbicas proliferam em tais meios não oxigenados, resultando na degradação dos materiais orgânicos e na produção primária de dióxido de carbono e metano.¹¹ É bastante provável que o dióxido de carbono escue do aterro por ser solúvel em água. O metano, por sua vez, menos solúvel em água e mais leve que o ar, está sujeito a produzir exalações. Nos EEUU 133 instalações que convertem gás de aterro em energia estão em operação ou temporariamente fechadas. A primeira destas instalações de conversão de gás de aterro em energia começou a operar em 1979, após a edição do PURPA, e aproximadamente 70% das existentes hoje começaram as suas atividades num período de 7 anos, de 1984 a 1990.

Características da energia

Na maioria das localidades onde se coleta gás de aterro utiliza-se a perfuração de orifícios de 9 a 30 metros de profundidade. As características que determinam a quantidade de gás disponível nestes aterros são o tipo e o índice de compactação do refugo enterrado, o tempo que está enterrado e a quantidade de chuvas na área.

Historicamente o gás de aterro tem sido extraído e queimado nos próprios locais, por não ser econômica a conversão em energia. As aplicações energéticas mais comuns usam o gás de baixo e médio poder calorífico para gerar eletricidade, ou como combustível para caldeiras. O gás de aterro pode ser também refinado para uso em canalizações de gás natural e pequenas quantidades do mesmo são usadas para tratamento do solo ou como combustíveis sintéticos.

A maioria das instalações de conversão de gás de aterro em energia gera gás de médio poder calorífico pela filtragem de partículas ou remoção do vapor de água. Este gás tem um valor energético de aproximadamente 4580 kcal/m³. O gás para canalizações (100% metano) pode ser gerado a partir do lixo, mediante um refinamento maior para remover a quase totalidade do dióxido de carbono e outros contaminantes.¹² Todavia, mais recentemente, o

¹¹ U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Characterization of Municipal Solid Waste in the United States: atualização 1995*. Op. cit.

¹² HADJSAID, N., CANARD, J. F. e DUMAS, F. Op. cit.

percentual das instalações produzindo gás para canalizações diminuiu como resultado dos baixos preços do gás natural.

Cerca de 75% das instalações de conversão de gás de aterro em energia nos EEUU produzem eletricidade. Os preços para venda desta eletricidade foram levantados, em 1994, para 82 delas (existentes e planejadas). A partir destes dados concluiu-se que os preços médios (em centésimos de kWh) foram 6,81, 5,76, 4,98 e 4,39, respectivamente, nas regiões oeste, nordeste, sul e centro-norte dos EEUU. Muitas destas aceitam tarifas no pico e fora do pico. As tarifas apresentadas são os pagamentos médios por kWh e podem variar de ano a ano (contato para informações via Internet: Mark Gielecki em mgielecki@eia.doe.gov, URL: www.eia.doe.gov/solar.renewables/renewable.energy.annual/contents.html).

Formas de produção energeticamente sadias¹³

Como se vê, destruir o lixo simplesmente pode não ser a forma mais inteligente de utilizar os refugos da civilização humana. Praticamente tudo pode ser reaproveitado. No Brasil, um exemplo marcante é o programa de reaproveitamento das “latinhas” de bebidas. A energia para produzir o alumínio purificado é enorme e o reaproveitamento das latinhas dispensa boa parte dela.

De um ponto de vista mais amplo, observa-se que o planeta Terra transformou-se num imenso pátio com quantidades enormes de depósitos de recursos naturais, de combustíveis e de lixo. Entretanto, quantidades inestimáveis de coisas valiosas, renováveis ou não, têm sido extraídas da natureza, transformando-se em pouco tempo em equivalentes quantidades de lixo. Estes materiais, uma vez extraídos e processados em múltiplos estágios, tornam-se bens, duráveis ou não, que, após um período longo ou curto, são descartados de qualquer forma e em qualquer lugar da natureza, tudo associado a um consumo de inimagináveis quantidades de energia.

A Terra não tem como suportar esse estado de coisas por um período muito longo. Porém, qualquer reação que se possa ter não poderá acontecer em oposição às instituições industriais e econômicas já existentes, mas junto com elas. Em contraste com a atual produção linear, deverá ocorrer uma produção cíclica, na qual o produto final retorne como base para um novo produto.

Um interessante exemplo é citado pelo serviço de informação da TVE britânica.¹⁴ Um fazendeiro na Alemanha, de nome Prenzler, usa em sua fazenda os dejetos animais de 1200 porcos, 4000 galinhas e da própria família para geração de gás. A produção é suficiente para aquecer e iluminar as dependências da fazenda e acionar os motores da sede e das várias edificações durante todo inverno, exceto nos dias mais frios e períodos de maior atividade. O excremento animal necessário para fazer o biogás é lavado em um sistema de passagem, através de um chão falso pela ação da grava-

¹³ PIMENTA, J. L. Op. cit.
HILL, R. e BAUMANN, A. E.
Environmental costs of photovoltaics. *IEE Proceedings-A*, v. 140, n. 1, jan/1993, p. 76-80.

¹⁴ TVE INTERNATIONAL. Op. cit.

de e da urina dos porcos. As fezes e urina dos porcos caem em um espaço abaixo do chão, fluem para um buraco e daí para uma fossa séptica. Outros ingredientes podem ser adicionados, tais como fezes de galinha, refugos do lavatório da sede da fazenda e palha dos estábulos, os quais dão corpo à mistura. Graxas e banha são trazidos dos restaurantes de Hamburg, fazendo com que a produção de gás aumente em 20 vezes em relação ao que seria produzido pelos porcos. Além da economia em energia e limpeza, Prenzler recebe dinheiro público por estar usando o lixo.

Os excrementos animais da fazenda de Prenzler são transformados na fossa séptica por microorganismos que produzem gás metano e um fertilizante de alta qualidade e de pouco odor. O gás metano serve como combustível para um pequeno motor de carro, que gera calor e eletricidade para a fazenda e suas edificações. Até agora foram usados apenas os motores Ford e Opel, por serem feitos de uma composição metálica que resiste ao enxofre saído dos gases. O motor do carro precisa receber regularmente manutenção e serviços e o sistema como um todo requer manutenção diária, que leva em torno de uma hora. Sempre sobra alguma energia de todo o processo para ser vendida à companhia de eletricidade local. Na região de Santa Maria e em outras localidades do Rio Grande do Sul, podem ser encontrados sistemas integrados de geração de gás semelhantes ao de Prenzler.

Como se disse, para efetivar-se o esquema de cooperação e competição visando o aproveitamento do lixo sob gerenciamento público da cadeia produtiva, é fundamental a contribuição das instituições industriais e econômicas, tendo por base alguns princípios:¹⁵

- 1º) Numa economia sustentada, muitos tipos de resíduos podem tornar-se valiosos em outros processos industriais.
- 2º) Como os materiais e a energia estão continuamente sujeitos a uma forma de conversão, geralmente auxiliados pela energia solar, os setores econômicos também deveriam gradualmente se basear na energia solar.
- 3º) Formas mais limpas para geração de energia, como as células combustíveis, deveriam ser vistas com maior interesse.
- 4º) Cooperação e competição devem manter um balanço dinâmico, como ocorre no relacionamento de todas as espécies.
- 5º) Tal como a natureza se apóia na diversidade para o seu funcionamento e floresce e frutifica nas diferenças, também a vida e a economia humanas devem ser diversificadas.

Em termos universais, ciclos inteligentes de substância e produto devem ser reunidos em ciclos de responsabilidade, de forma que fabricantes e distribuidores de produtos e valores os tomem de volta, após sua vida útil, uma vez satisfeitos os interesses econômicos e comerciais que inicialmente tiveram ao colocá-los no mercado. Novas exigências e critérios de projeto devem ser levados em

¹⁵ AUERBACH, L. M. Op. cit. U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Municipal Solid Waste Factbook*. Op. cit.
LEÃO, A. L. e TAN, H. Op. cit. FRY, M. R. Environmental impacts of electricity generation: fuel cells. *IEE Proceedings-A*, v. 140, n. 1, jan/1993, p. 40-46.

conta, tais como: durabilidade acima da reciclagem, modularidade, compatibilidade dos componentes básicos comuns, ausência de poluentes, facilidade de desmontar e reciclar e estética agradável. Carros, máquinas de lavar, lavadoras a vácuo, escadas, cortadoras de grama e equipamentos de esquiagem estão entre os que são inúteis a maior parte do tempo de sua vida útil. A idéia de propriedade individual de tais bens de consumo, talvez, deva ser repensada.

Se os governos estão conscientes de tudo e mostram um interesse reticente, permanecem, então, as questões conflitantes: por que só alguns podem se locupletar com o meio ambiente para seus lucros, se toda a Terra, no final, terá de pagar a conta? Por que o Primeiro Mundo, que se tornou rico às custas do uso da natureza, um patrimônio da humanidade, está tão preocupado em preservar o meio ambiente do Terceiro Mundo sem permitir que essas riquezas sejam desfrutadas de forma razoável por todos? Não seria mais fácil começar pela recuperação de seu próprio meio ambiente?

Felix A. Farret é engenheiro eletricitista e professor do Departamento de Eletrônica e Computação da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.