

# ASPECTOS ECONÔMICOS DA RECICLAGEM DE MATERIAIS

Prof. Helio de Brito Costa, Dr. Eng.  
CTC/UFSC – Departamento de Engenharia Mecânica

## RESUMO

A questão da viabilidade econômica da reciclagem de resíduos sólidos é abordada de um ponto de vista macroeconômico. Consideram-se os casos de uma empresa que recicla seus próprios resíduos; de uma indústria que emprega como insumos materiais recicláveis; de uma prefeitura municipal; e da sociedade como um todo. Procura-se mostrar, em cada caso, que os ganhos reais com o processo de reciclagem devem ser estimados levando-se em conta os custos evitados pelo mesmo, ou seja, os custos em que se incorreria caso os resíduos não fossem reaproveitados.

**Palavras-chave:** reciclagem; gestão ambiental; valorização de resíduos sólidos; viabilidade econômica.

### 1. Introdução

Hoje os grandes problemas ambientais ultrapassaram as fronteiras nacionais e por isso tiveram de passar a ser tratados em nível global. Apesar dos esforços de controle e redução da poluição, de redução e reciclagem de resíduos, a quantidade de resíduos gerados por pessoa e muitos outros problemas ambientais continuam a crescer. Entre estes, basta citar o aquecimento global, a depleção de ozônio, o aumento da extinção de espécies, o aumento da população, a fome e da miséria nos países pobres, a desertificação e a perda de bilhões de toneladas de solo fértil pela erosão a cada ano.

Foi já neste contexto que surgiu, na década de 1970, o conceito de *desenvolvimento sustentável (DS)*, cujos princípios foram ratificados na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992 (Rio-92) (Sato & Santos, 1999).

O desenvolvimento econômico será sustentável quando a velocidade da inevitável agressão ambiental for menor do que a velocidade com que a natureza consegue reagir para compensar esses danos. Ou seja, quando toda a atividade econômica (1) não retirar dos ecossistemas mais do que a sua capacidade de regeneração, e (2) não despejar nos ecossistemas mais do que a sua capacidade de assimilação. Só assim poderão ser atendidas as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades (Merico, 1996; McKinney & Schoch, 1998).

O conceito de desenvolvimento sustentável implica que o melhor produto e o melhor processo produtivo são aqueles que são melhores para o meio ambiente. O reaproveitamento de resíduos e o melhor aproveitamento de matérias-primas surgem como as únicas soluções para a continuidade do progresso tecnológico já implementado sem uma degradação irreversível do meio ambiente.

Todo resíduo industrial não aproveitado deve ser encarado como uma forma de poluição industrial, ou seja, de desperdício e ineficiência dos processos produtivos; na melhor das hipóteses, como perda de matérias-primas e insumos. Uma análise global dos impactos ambientais de um processo industrial indica que os problemas ambientais devem ser evitados não na saída da indústria, mas pelo controle do próprio processo, detectando-se e corrigindo-se falhas e ineficiências, de acordo com a metodologia da qualidade total, ao mesmo tempo que se buscam novas aplicações para os materiais residuais gerados no processo (CEMPRE/SENAI, 2000).

Neste contexto, a reciclagem de materiais pode ser entendida como *valorização de resíduos*.

Que a sustentabilidade ambiental não é incompatível com o lucro econômico demonstram-no os exemplos de grandes corporações industriais (AT&T, 3M, Kodak, etc.) que conseguiram combinar qualidade dos produtos e processos com respeito ao meio ambiente, com máximo aproveitamento de insumos e reaproveitamento de toda e qualquer emissão decorrente do processo ou da atividade fabril como um todo (Lerípio *et al.*, 1996; Graedel & Allenby, 1996; BANAS, 2000).

No atual estágio do desenvolvimento tecnológico, não é exagero afirmar que, em princípio, não há material que não possa ser reciclado, se houver incentivo suficiente. Por outro lado, é inegável que os aspectos tecnológicos e econômicos da reciclagem podem ser muito complexos. No nível industrial, sua prática requer organizações e profissionais habilitados e tecnologias adequadas, capazes de assegurar qualidade e segurança a sistemas que podem ser de grande complexidade, e com o mínimo de impacto ambiental.

## **2. Abordagem sistêmica para a valorização dos resíduos sólidos**

Tradicionalmente as considerações econômicas de curto prazo têm sido todo-poderosas nas decisões quanto à reciclagem de materiais. Mas os critérios usados para decidir se a reciclagem “vale a pena” em um caso particular não deveriam ficar limitados a fatores econômicos imediatos; ou, se o ficam, os custos econômicos deveriam refletir todos os fatores em jogo. O preço corrente da maioria dos minerais naturais, por exemplo, reflete apenas os custos imediatos de sua extração; o preço que o consumidor paga não inclui as *externalidades* constituídas pelos custos ambientais, sociais e outros. Isto significa que a produção mineral e as indústrias mineradoras têm sido intensamente *subsidiadas* pelo público, pois o público terá em última instância de arcar com o custo da devastação ambiental causada pelas atividades de mineração. Portanto, freqüentemente os custos econômicos imediatos não incluem os custos “ocultos” para a sociedade (as *externalidades*) na fabricação de um produto: poluição, degradação de paisagens, desperdício de recursos hídricos, dissipação de energia, esgotamento de recursos não-renováveis, geração de resíduos que têm de ser dispostos ou tratados, etc. (Barton, 1979; Merico, *op. cit.*; McKinney & Schoch, *op. cit.*; Calderoni, 1999).

Uma abordagem macroeconômica da reciclagem de resíduos sólidos pode indicar os ganhos que ela pode proporcionar, tanto do ponto de vista da sociedade como um todo, quanto de cada um dos agentes envolvidos nesse processo (empresas que desejam valorizar os resíduos que geram, empresas recicladoras, empresas que utilizam como insumos materiais recicláveis ou reciclados, prefeituras municipais, etc.) (Calderoni, 1999; CEMPRE/SENAI, *op. cit.*).

Um aspecto fundamental desta abordagem é a consideração dos custos *evitados* pelo processo de reciclagem, ou seja, os custos em que se incorreria caso os resíduos não fossem reaproveitados. Isto implica considerar o custo da reciclagem como custo *alternativo* em relação aos tratamentos e disposição final usuais, ou seja, a questão torna-se saber não quanto a reciclagem custa, mas quanto ela custa a mais (ou a menos) que a não-reciclagem.

Para muitos administradores municipais e gestores de organizações industriais, o ganho obtível com a valorização dos resíduos parece muito menor do que o que realmente seria possível, pelo simples fato de não considerarem os custos que seriam evitados caso o resíduo fosse de alguma forma reaproveitado (reciclado), em vez de simplesmente descartado.

O *custo do processo* de reciclagem abrange os custos de coleta, triagem, armazenamento e processamento dos materiais, bem como custos administrativos, e é embutido no preço de mercado dos materiais recicláveis. No entanto, os custos e ganhos do processo incidem de modo diferenciado sobre os diversos agentes que tomam parte no processo.

### 3. Ganho possível para a indústria que recicla seus próprios resíduos

Para uma indústria que procura *valorizar* os resíduos que gera, ou seja, trata-os como matéria-prima para outros produtos, o ganho deve ser calculado como

$$G = V - C + E,$$

sendo:

- V = valor de venda dos materiais reciclados (resíduos valorizados), se for o caso;
- C = custo do processo de reciclagem; e
- E = o custo *evitado* pelo processo de reciclagem. (incluindo custos de armazenamento, tratamentos diversos, transporte, disposição em aterro, etc.)

De um modo geral, a maior ou menor viabilidade do reaproveitamento dos resíduos dessa indústria vai depender de fatores tais como:

- proximidade da instalação de reprocessamento;
- custo do transporte de resíduos;
- volume de resíduos disponíveis para o reprocessamento;
- custo de armazenagem do resíduo no ponto de geração ou fora do local de origem;
- utilidade para o produto reciclado;
- mercado para o produto reciclado.

Uma Bolsa de Resíduos pode ser neste caso um instrumento muito útil para a valorização dos mesmos. Objetiva divulgar e intensificar a troca de resíduos entre produtores e consumidores industriais, trazendo assim benefícios tanto para o meio ambiente, pela redução do volume de resíduos a ser disposto e tratado, quanto para os empresários, pela redução dos custos de controle de poluição ou pela utilização de tais resíduos como matéria-prima.

O custo evitado pelo processo de reciclagem neste caso engloba diversos componentes, nem todos imediatamente identificáveis.

O gerenciamento dos resíduos sólidos industriais envolve algumas etapas necessárias independentemente do reaproveitamento ou não dos resíduos, tais como: caracterização qualitativa e quantitativa dos resíduos; classificação quanto à periculosidade (NBR 10004); segregação, armazenamento e transporte adequados, com cuidados especiais inclusive quanto a critérios de compatibilidade, no caso de resíduos perigosos (classe I conforme NBR 10004); minimização da geração de resíduos perigosos (Henney *et al.*, 2000).

Outras etapas do gerenciamento serão especialmente necessárias caso os resíduos venham a ser descartados, e correspondem portanto a custos *evitados* no caso do seu reaproveitamento. Incluem-se aqui tratamentos para redução do volume, requeridos principalmente no caso de resíduos semi-sólidos provenientes de operações de filtragem, decantação, destilação e dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos ou gasosos; ou a incineração (com os custos concomitantes de controle da emissão de poluentes) no caso de resíduos secos. Como o custo da destinação e do transporte está relacionado ao volume do resíduo, é conveniente o emprego de medidas que reduzam o volume a ser transportado ou destinado.

No caso de resíduos perigosos que serão descartados devem também ser considerados os custos dos tratamentos para redução de periculosidade, tais como estabilização, solidificação, oxidação-redução, neutralização, etc (Henney *et al.*, *op. cit.*; Estrella, 1996).

Evidentemente, deverão ser considerados também os custos do transporte e destinação final em aterro.

#### 4. Ganho possível para a indústria que utiliza insumos recicláveis

O mesmo enfoque pode ser aplicado à indústria que emprega como insumo os materiais recicláveis. Embora, em primeira instância, para essa indústria só seja evidente o custo dos insumos, *em comparação com o emprego de materiais não reciclados* (feitos a partir de matéria-prima virgem) esse custo embute um *ganho* que pode ser expresso como

$$G = -V + W + M + H + A + D$$

onde  $V$  = valor da venda dos materiais recicláveis (que, para esta indústria, é despesa);  
 $W$  = ganhos decorrentes da economia no consumo de energia;  
 $M$  = ganhos decorrentes da economia de matérias-primas;  
 $H$  = ganhos decorrentes da economia de recursos hídricos;  
 $A$  = ganhos com a economia de controle ambiental (poluição da água, do ar, etc.);  
 $D$  = demais ganhos econômicos (vida útil dos equipamentos, subsídios, etc.).

Os ganhos decorrentes da economia no consumo de energia ( $W$ ) devem-se ao fato de que a produção a partir de materiais reciclados requer um consumo de energia consideravelmente menor do que a produção a partir de matéria-prima virgem.

A vantagem da reciclagem de materiais sob o ponto de vista *termodinâmico* pode ser evidenciada em diversas instâncias. No caso do alumínio metálico, por exemplo, que é obtido através da redução eletrolítica do seu óxido,  $Al_2O_3$ , contido no minério bauxita, uma estimativa da energia mínima necessária para extraí-lo a partir desse óxido é dada pela *entalpia de formação* do mesmo:  $-399,1$  kcal/mol a  $25^\circ C$  (Mahan, 1972), o que equivale a  $8,25$  MWh por tonelada de alumínio metálico.

A Tabela abaixo mostra dados referentes a materiais comuns do lixo urbano (Calderoni, *op. cit.*).

#### Economia no consumo de energia pela produção a partir de matéria-prima reciclada:

| Material | Consumo de energia (MWh/t) – matéria-prima virgem | Consumo de energia (MWh/t) – matéria-prima reciclada | Ganho (%) |
|----------|---|--|-----------|
| Alumínio | 17,6  | 0,7  | 95        |
| Plástico | 6,74  | 1,44   | 78,7      |
| Papel    | 4,98  | 1,47   | 71        |
| Aço      | 6,84  | 1,78   | 74        |
| Vidro    | 4,83  | 4,19   | 13        |

Os ganhos decorrentes da economia de matérias-primas ( $M$ ) advêm do fato de que grande parte delas é consumida e virtualmente perdida para o processo produtivo quando da extração ou preparação dos materiais que já estão disponíveis como recicláveis. Compare-se, por exemplo, uma determinada massa de aço com as massas de minério de ferro, carvão, calcário, oxigênio, etc., necessárias para a sua obtenção; ou uma dada quantidade de alumínio com as correspondentes quantidades de bauxita e criolita (segundo a ABAL (2002), cada tonelada de

alumínio reciclada poupa a extração de 5 toneladas do minério bauxita); ou de vidro com as correspondentes quantidades de areia, barrilha, calcário e feldspato; de plástico com o correspondente petróleo; etc.

Os ganhos com a economia de controle ambiental (A) decorrem do fato de que a produção a partir de matéria-prima virgem normalmente provoca um grau de poluição da água, do ar e do solo, muito maior do que a produção a partir dos materiais correspondentes reciclados. Por exemplo, no caso do aço, do alumínio, do vidro e do papel, a emissão de efluentes líquidos e gasosos é drasticamente reduzida pela reciclagem (Powelson *apud* Calderoni, *op. cit.*).

A reciclagem também proporciona economia no volume de água consumido no processo produtivo, chegando, por exemplo, a 50% no caso do vidro e a 40% no caso de latas de aço (Calderoni, *op. cit.*).

Cabe lembrar que a qualidade dos materiais recicláveis não é necessariamente inferior à dos materiais “virgens”. Metais e vidros, por exemplo, desde que se evite a sua contaminação, podem ser reciclados indefinidamente sem perda de propriedades. No caso do papel, a fibra secundária não pode ter qualidade melhor do que a da fibra de grau mais baixo presente no rejeito, e sofre algum encurtamento ao ser reprocessada, de modo que 100% de reciclagem é impossível por razões técnicas e práticas; contudo, a qualidade do papel reciclado é perfeitamente adequada para muitas aplicações (Barton, *op. cit.*). Os plásticos tendem a sofrer alguma degradação durante a reciclagem (e aliás, também durante o uso), mas com os devidos cuidados essa degradação pode ser minimizada, de modo que os plásticos reciclados encontram inúmeras aplicações de grande utilidade, tais como cordas, tecidos, componentes automotivos, etc. (Ehrig, 1992; Ferro, 1999; Hermann *et al.*, 2001).

Todos esses fatores tendem a tornar o preço dos materiais recicláveis consideravelmente menor do que o dos insumos provenientes de matéria-prima virgem. No caso das latas de alumínio para bebidas, por exemplo, a sua reciclabilidade é um grande fator de competitividade, contribuindo para a sua absoluta predominância no mercado de bebidas (ABAL, 2000).

## 5. Ganho possível para as prefeituras municipais

Para a prefeitura de um município que encaminha seus resíduos para a reciclagem (via de regra mediante coleta seletiva ou, pelo menos, postos de entrega voluntária), o ganho (G) com a reciclagem deve ser computado como

$$G = V - C + E$$

onde V = valor da venda dos materiais recicláveis pela prefeitura;

C = custo do processo de reciclagem para a prefeitura (incluindo coleta, triagem, beneficiamento, acondicionamento, estocagem, etc.);

E = custo *evitado* de coleta, transporte, transbordo e disposição final (presumivelmente, aterro ou incineração, mas, eventualmente, também a disposição em locais inadequados, como lixões, rios, terrenos públicos, etc.).

Nos custos de aterros e incineradores deverão ser considerados tanto os custos de implantação como os de operação e manutenção, o mesmo aplicando-se à frota dos veículos utilizados no transporte e no transbordo.

Parece evidente que a *coleta seletiva* – definida como a separação prévia, na própria fonte geradora, de materiais passíveis de reaproveitamento – é um requisito importante para viabilizar a reciclagem do lixo municipal. Sua vantagem mais óbvia é diminuir drasticamente a contaminação

dos recicláveis, evitando elevados custos de limpeza e separação de materiais (IPT/CEMPRE, 1995).

A pouca expansão da coleta seletiva no Brasil tem sido atribuída ao seu alto custo em comparação com a coleta convencional. No entanto, diversos estudos mostram que os custos da coleta seletiva podem ser substancialmente reduzidos através de medidas como: aumento da escala da mesma, garantindo suprimento abundante e estável de matéria-prima; negociação de contratos com a indústria que garantam oferta estável; planejamento e gestão integrados; terceirização dos serviços; otimização dos circuitos de coleta; beneficiamento dos recicláveis; etc. Isso sem mencionar vantagens como a melhor qualidade dos materiais recuperados devida à menor contaminação; a redução do volume que deve ser disposto; o estímulo à cidadania pela participação da população e parcerias com catadores, sucateiros, empresas, escolas, associações ecológicas, etc. (Calderoni, *op. cit.*; Kligermann, 2000).

## 6. Ganho possível para a sociedade como um todo (ganho macroeconômico)

A abordagem apresentada sugere que, para a sociedade como um todo, a reciclagem de resíduos sólidos poderá resultar em um *ganho líquido*, expresso por

$$G = (V - V) - C + E + W + M + H + A + D,$$

onde V = valor da venda dos materiais recicláveis;  
 C = custo do processo de reciclagem;  
 E = custos das prefeituras e das indústrias com a disposição final dos resíduos sólidos, *evitados* em função do processo de reciclagem;  
 W = economia no consumo de energia;  
 M = economia de matérias-primas;  
 H = economia de recursos hídricos;  
 A = economia devida à redução dos custos de controle ambiental;  
 D = demais ganhos econômicos – não só da indústria, mas também ganhos para os governos federal e estadual: redução de dispêndios com saúde pública; divisas (por exemplo, petróleo, insumos para produção de materiais como vidros, metais, etc.); geração líquida de empregos.

É interessante notar que a parcela V tem efeito nulo no ganho global. Isto se verifica porque, numa visão de conjunto, o item V – venda dos materiais reciclados – é ao mesmo tempo receita para uns e despesa para outros agentes envolvidos no processo de reciclagem, de modo que, para o conjunto da sociedade, o ganho advém somente dos demais fatores envolvidos.

Com base em uma abordagem macroeconômica semelhante e em uma ampla pesquisa sobre o tratamento do lixo urbano no município de São Paulo, Calderoni (*op. cit.*) conclui que a reciclagem do lixo domiciliar é economicamente viável no município de São Paulo e no Brasil, e não reciclar significa deixar de auferir rendimentos da ordem de bilhões de reais todos os anos. Quanto à reciclagem efetivamente realizada, a maior parte dos ganhos proporcionados é atribuída às indústrias que utilizam insumos recicláveis.

## 7. Conclusões

A necessidade da reciclagem de resíduos sólidos sob o ponto de vista ambiental é incontestável, diante do fato de que toda a produção dos bens gerados em todos os países, mais

cedo ou mais tarde acabará despejada no meio ambiente, a menos que seja reciclada. A sua viabilidade técnica, de um modo geral, pode ser considerada assegurada, em face dos avanços tecnológicos do processamento de materiais nas últimas décadas. A sua viabilidade econômica, por outro lado, só se evidencia plenamente ao se considerarem os *custos decorrentes da não reciclagem* dos resíduos.

A experiência tem mostrado que a reciclagem pode ser não só economicamente viável como lucrativa, como no caso de resíduos urbanos como alumínio, aço, vidro, plásticos e papel, havendo também abundantes exemplos de empresas que obtêm lucros e melhoram sua competitividade ao reaproveitarem os seus resíduos.

Não é possível prever quanto tempo transcorrerá até que a prática da reciclagem, compreendida como *valorização dos resíduos*, se desenvolva plenamente, a ponto de possibilitar um aproveitamento total das matérias-primas. Parece certo é que isso não ocorrerá automaticamente, requerendo uma ação conjunta da sociedade e do governo, através de cada um dos segmentos envolvidos e da integração de todos eles.

O aumento da consciência de que a reciclagem pode proporcionar elevados ganhos econômicos certamente contribuirá para acelerar esse processo.

### Referências Bibliográficas

- ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. Site: [www.abal.org.br](http://www.abal.org.br). Acessado em 13/03/2002.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 1987.
- BANAS AMBIENTAL. Gestão ambiental aumenta a competitividade empresarial. Abril de 2000, p. 26-46.
- BARTON, A. F. M. *Resource recovery and recycling*. John Wiley & Sons, New York, 1979.
- CALDERONI, S. *Os bilhões perdidos no lixo*. 3ª ed., Humanitas, São Paulo, 1999.
- CEMPRE / SENAI. *Reduzindo, reutilizando, reciclando - a indústria ecoeficiente*. São Paulo, 2000.
- EHRIG, R. J., ed. *Plastics recycling: products and processes*. Hanser, Munich, 1992.
- ESTRELLA, S. P. *Diagnóstico de resíduos sólidos industriais em Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, julho de 1996.
- FERRO, S. Reciclagem inicia nova fase com aplicação em preforma. *Plástico Moderno*, maio de 1999, p. 8-16.
- GRAEDEL, T. E. & ALLENBY, B. R. *Design for environment*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.
- HENNEY, A. C. R.; GUSMÃO, A. C.; SILVA, H. V. *O Gerenciamento de Resíduos Industriais*. Instituto Brasileiro de Petróleo, 2000.

- HERMANN, A., REIMER, U., HOECKER, F., JERG, R., WEISSHAPPEL, H., MARTIN, M.M BOSSE, A., PFAENDNER, R., VENNEMANN, N. & BLEDZKI, A. K. Estabilização melhora as propriedades do polipropileno reciclado. *Plástico Industrial*, novembro de 2001, p. 38-45.
- LERÍPIO, A. A., THE', J. L., SELIG, P. M., BARCIA, R. M. Emissão Zero: um novo conceito de qualidade total. *Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*, Porto Alegre, 16 a 18 de setembro de 1996, p. 136-142.
- IPT / CEMPRE (Compromisso Empresarial para a Reciclagem). *Lixo municipal - Manual de gerenciamento integrado*. São Paulo, 1995.
- KLIGERMANN, D. C. A era da reciclagem x A era do desperdício. In: SISINNO, C. L. S. & OLIVEIRA, R. M. (orgs.) *Resíduos sólidos, ambiente e saúde – uma visão multidisciplinar*. Ed. Fiocruz, Rio de Janeiro, 2000, p. 99-110.
- MAHAN, B. H. *Química – um curso universitário*. Ed. Edgard Blücher, S. Paulo, 1972.
- McKINNEY, M. L. & SCHOCH, R. M. *Environmental Science – Systems and solutions*. Jones and Bartlett Publ., Sudbury, Massachussets, 1998.
- MERICO, L. F. K. *Introdução à economia ecológica*. Editora da FURB, Blumenau, 1996, 160 p.
- SATO, M. & SANTOS, J. E. *Agenda 21 em sinopse*. Editora da UFSCAR, São Carlos, 1999.