



CICLO DE VIDA DO PRODUTO, TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE: BREVE ANÁLISE DA GESTÃO AMBIENTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL.

Rosangela da Silva Cardoso (UFPB)
rosangelacardoso@ct.ufpb.br

Paulo José Adissi (UFPB)
adissi@ct.ufpb.br

Lucia Helena Xavier (FUNDAJ)
luciahelenaxavier@yahoo.com.br

Victor de Almeida Xavier (IBM)
victor.xavier@gmail.com

Após a Revolução Industrial, o avanço tecnológico e a inovação foram fatores determinantes para a evolução dos diferentes sistemas produtivos e possibilitaram o crescimento e desenvolvimento econômico de diferentes nações. Por outro lado, a gestão ambiental também se beneficiou, de forma significativa, dos avanços tecnológicos e possibilitou a minimização de impactos ambientais ocasionados por indústrias de diversos segmentos. Uma forma de adequação da gestão ambiental às ferramentas tradicionais empresariais é a logística reversa que surge como alternativa diante da problemática ocasionada pelos produtos pós-consumidos, resíduos e produtos pós-venda fora de conformidade. Neste artigo é feita uma breve análise crítica da logística reversa como uma ferramenta de apoio à gestão ambiental de resíduos sólidos no Brasil. Como resultado da análise é proposto um gráfico que evidencia a relação entre o ciclo de vida e o potencial tecnológico em função da velocidade de reincorporação do material ao ciclo produtivo, através da logística reversa e da exaustão de matéria-prima, respectivamente.

Palavras-chaves: Análise do Ciclo de Vida, Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos, Logística Reversa.

1. Introdução

O aprimoramento tecnológico e o processo de inovação nas organizações têm possibilitado o incremento da produção e também do consumo. Em uma breve análise histórica, pode-se verificar que a partir da Revolução Industrial, grandes avanços foram alcançados em um espaço de tempo relativamente curto e, por isso, adequações tornaram-se necessárias no sentido de ampliar a potencialidade das descobertas tecnológicas e atender às demandas de diferentes origens – principalmente as de origem econômica, social e ambiental (FREEMAN, 1974; SCHAFF, 1995; GUIDETTI, 2007).

Hoje, a compatibilização das necessidades de fornecedores, produtores e clientes através de mecanismos de gestão da produção, gestão da qualidade e planejamento estratégico tem garantido o aumento da competitividade e sobrevivência de muitas organizações em diferentes setores produtivos. Benefícios sociais, econômicos e ambientais também podem ser verificados em função da adoção de medidas de adequação aos critérios de responsabilidade social, governança corporativa e gestão ambiental, respectivamente (TZENG E HENDERSON, 1999; HEISKANEN, 2005).

Em relação à gestão ambiental, especificamente, verifica-se que as empresas brasileiras têm se tornado cada vez mais responsáveis por todo o ciclo de vida de seus produtos, motivadas pela consolidação da legislação ambiental e ao aumento da consciência ecológica dos consumidores, bem como do mercado (OMETTO *et al*, 2006).

É notável que as indústrias fabriquem numerosos produtos para satisfazer as necessidades humanas, mas ao mesmo tempo, geram muitos subprodutos perigosos como emissões, efluentes e resíduos, que dispersam no ambiente, provocam mudanças na qualidade ambiental e afetam a saúde de seres humanos, animais, plantas e ecossistemas (SINGH *et al*, 2007). Dentre os fatores decorrentes do modelo de consumo vigente, destaca-se a exploração abusiva dos recursos naturais, o alto consumo energético e o aumento tanto no volume quanto na variedade de resíduos produzidos.

Em última instância, o gerenciamento ambiental envolve prevenir ou mitigar os efeitos indesejáveis das atividades antropogênicas. Os gerentes devem cada vez mais reconhecer que a melhoria do desempenho ambiental resulta em benefícios econômicos, ambientais e ainda sociais. Nesse contexto, todos os atores são co-responsáveis na hora de decidir a alternativa mais adequada para promover a proteção ambiental.

Com base nesse entendimento, muitas empresas têm priorizado o uso de tecnologias alternativas de produção, investido na elaboração de mecanismos normativos, no prolongamento da vida útil dos produtos, na implantação de medidas para minimização dos impactos causados pelo descarte de resíduos, bem como, vertentes que considerem a preservação ambiental em função, basicamente, do potencial poluidor dos materiais descartados pós-consumo.

2. Gestão ambiental e Análise do Ciclo de Vida

O cenário industrial atual é composto de diferentes materiais, classificados em cinco grandes grupos: metálicos, cerâmicos, poliméricos, compósitos e naturais. A utilização de diversos materiais ou de compósitos (materiais que são compostos por dois ou mais materiais diferentes) num novo produto com o intuito de obter melhoria de propriedades físicas e mecânicas vêm se tornando bastante comuns, o que dificulta a seleção e até mesmo o

processo de reciclagem. As embalagens e os descartáveis são cada vez mais sofisticados, com inúmeros atrativos para estimular o consumo e após seu uso, caso não seja dado o destino correto, podem causar impacto ao ambiente através de suas propriedades como: baixa degradabilidade, capacidade de impermeabilizar, curta vida útil e, em alguns casos, ocupando grandes volumes, limitando o espaço para destinação.

Especialmente na década de 90, foi atribuída uma grande importância às técnicas de valorização de resíduos. Tal perspectiva reforçou, por um lado, as alternativas de redução, reutilização e reciclagem (3 R's) mas, por outro lado, retornou o debate sobre a viabilidade técnica, econômica, social e ambiental destas alternativas. Ressaltando o incremento de inovação tecnológica ao processo usualmente empregado para a destinação de resíduos sólidos no Brasil, Oliveira e Rosa (2003) sugerem o aproveitamento energético e evidenciam benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Entretanto, pouco se conhece ainda a respeito do potencial toxicológico de diferentes materiais e poucos estudos ainda contemplam formas de tratamento e destinação de produtos que apresentam diferentes tipos de materiais e, por isso, são categorizados ao final de sua vida útil como resíduo com potencial de contaminação ambiental e antropogênica. Como exemplo pode-se citar as embalagens plásticas que são consideradas, conforme a legislação brasileira (ABNT, 2004) como resíduo inerte. Entretanto, as mesmas embalagens contendo resíduos perigosos ou com camadas múltiplas podem vir a ser classificadas como resíduos perigosos.

De acordo com Espinosa *et al* (2004), em função do aumento no número de equipamentos portáteis produzidos e comercializados houve um aumento significativo na destinação de pilhas e baterias que, por sua vez, possuem metais tóxicos como cádmio, mercúrio e ferro, cuja destinação deve ser regulamentada e controlada. Neste sentido, foi o primeiro país na América Latina a regulamentar a destinação de pilhas e baterias.

O aumento da quantidade e diversidade de materiais descartáveis é outra questão que remete à redução da duração do ciclo de vida dos produtos, o que provoca alterações de gestão nas empresas pela adoção de critérios para uma efetiva responsabilidade sócio-ambiental em relação aos seus produtos pós-venda e pós-consumo.

2.1. A gestão de resíduos sólidos do Brasil e a logística reversa

Conforme apresentado por Nunes *et al* (2006), os resíduos sólidos no Brasil são geridos, prioritariamente, pelo poder público. Algumas iniciativas privadas têm encontrado dificuldade na gestão de resíduos sólidos em função do alto custo de processamento para as principais alternativas de destinação. Ometto *et al* (2004) enfatizam o avanço da política ambiental como subsídio para a viabilidade de técnicas para a Análise do Ciclo de Vida e ainda para a gestão de resíduos.

De acordo com a ABELPRE (Figura 1), após a matéria orgânica, o plástico é o tipo de material mais expressivo no lixo brasileiro. Entretanto, existem diferentes tipos de plásticos industrializados e, estes não são abordados nas políticas estaduais de resíduos sólidos conforme suas especificidades (XAVIER *et al*, 2006), fator que pode comprometer o processo decisório acerca das alternativas de descarte de material plástico, conforme considerações de Gomes *et al* (2008).



Figura 1 - Percentual da tipologia do lixo brasileiro.

No Brasil, grande parte destes resíduos é destinada em aterros sem estrutura adequada, resultando, desta forma, na contaminação de solos e água nas proximidades destes aterros. De acordo com Pimenteira *et al.* (2004), através da reciclagem dos resíduos sólidos gerados no Brasil seria possível uma economia significativa de energia, bem como redução na emissão de gases do efeito estufa, especialmente a emissão de CO₂.

A respeito da reciclabilidade dos materiais, Shinzato e Hypolito (2005) apresentam estudo no qual é realizada a recuperação de alumínio a partir de resíduos sólido resultante do processo produtivo que anteriormente eram dispostos em aterros, sem qualquer tratamento. Em última instância, verificou-se, neste caso a possibilidade de recuperação de um insumo tido, anteriormente, como resíduo. Pode-se afirmar, de acordo com os resultados desse estudo, que ao retornar com o material (neste caso o alumínio) para o ciclo produtivo, sua vida útil é prolongada e há a redução de uma quantidade significativa de material descartado de forma indevida.

Um estudo realizado no Brasil, no qual foram pesquisadas as diferentes formas destinação de lâmpadas contendo mercúrio, verificou-se que, em função do desconhecimento dos mecanismos de regulamentação da destinação destes resíduos ou em função da dificuldade em separar os diferentes materiais que compõem as lâmpadas, a maior parte destas é destinada de forma indevida (RAPOSO E ROESER, 2001).

A proposta do conceito de logística reversa ou logística verde como uma vantagem estratégica evidencia um grande sinergismo entre a gestão ambiental de resíduos sólidos e a logística (SHARMA *et al.*, 2007). O aproveitamento da estrutura logística existente no ambiente empresarial (seja ele público ou privado) tende a reduzir custos na implantação de medidas para o gerenciamento ambiental.

Entretanto, de acordo com Xavier (2005), grande parte dos custos do reaproveitamento de produtos pós-consumo é proveniente da etapa de transporte. Assim, estudos que contemplam a logística reversa têm abordado essa problemática e soluções têm sido propostas por meio do emprego da inovação em prol do desenvolvimento sustentável (GONZÁLEZ-TORRE *et al.*, 2003, GONZÁLEZ-TORRE e ADENSO-DÍAZ, 2006).

3. Resultado

O incremento tecnológico de um produto pode ser interpretado sob diferentes óticas. Sob a ótica econômica, um produto que demande alto potencial tecnológico tende a ter um custo maior do que produtos similares disponíveis no mercado. Com o passar do tempo e o avanço

das pesquisas e ferramentas tecnológicas, este mesmo produto com alto potencial tecnológico tem seu valor de mercado reduzido em função de novos produtos que são produzidos e, por isso, tornam-se mais baratos. Sob a ótica do consumidor, estes produtos que se tornam substituíveis são tidos como obsoletos e, por isso, mais próximos da etapa final de sua vida útil.

Cabe ressaltar o fato de que os produtos são muitas vezes substituídos sem ao menos terem chegado ao final de sua vida útil, e que, juntamente com produtos fora de uso, passam a compor o conhecido ‘lixo tecnológico’. Desta forma, analisando-se a situação descrita acima, sob a ótica ambiental, pode-se inferir que o avanço tecnológico e a inovação tendem a reduzir o tempo de ciclo de vida de um determinado produto.

Se por um lado os produtos providos de maior potencial tecnológico (Ex.: equipamentos eletro-eletrônicos) tendem a possibilitar a co-existência de uma maior diversidade de tipos de materiais em um único produto, no outro lado desta cadeia produtiva existem os insumos (Ex.: minerais brutos, extratos vegetais, etc.) e ainda os produtos artesanais, que demandam menos tecnologia e, ao mesmo tempo, possuem uma menor diversidade de materiais em um único produto.

Com base nesse entendimento, pode-se propor, conforme apresentado na Figura 2, uma influência significativa entre o potencial tecnológico (alto ou baixo) de um determinado produto e a velocidade na qual será reincorporado ao ciclo produtivo, através da logística reversa.

(-) CICLO DE VIDA ÚTIL DO PRODUTO (alta velocidade da logística reversa)	(+) ALTA TECNOLOGIA DO PROCESSO DE REUSO OU RECICLAGEM (alta exaustão de matéria-prima)		(+) CICLO DE VIDA ÚTIL DO PRODUTO (baixa velocidade da logística reversa)
	ALTA VELOCIDADE ALTA TECNOLOGIA Ex. embalagens descartáveis (plásticos e mistas).	BAIXA VELOCIDADE ALTA TECNOLOGIA Ex.: eletro-eletrônicos	
	ALTA VELOCIDADE BAIXA TECNOLOGIA Ex.: embalagens descartáveis de (vidro, alumínio, papel, etc)	BAIXA VELOCIDADE BAIXA TECNOLOGIA Ex.: produtos artesanais (compostos de apenas um tipo de material)	
	(-) BAIXA TECNOLOGIA DO PROCESSO DE REUSO OU RECICLAGEM (baixa exaustão de matéria-prima)		

Figura 2 - Potencial tecnológico X Ciclo de Vida do produto

Conforme os valores apresentados anteriormente a respeito da geração de resíduos no Brasil (vide Figura 1), os materiais plásticos representam uma quantidade bastante expressiva dentre os materiais secos (material residual exceto matéria orgânica), em segundo lugar está o papel e papelão, que apesar de serem materiais que possuem pouca diversidade de materiais, possuem um ciclo de vida significativamente curto. De posse dessa informação, e com base na proposta da Figura 2, pode-se inferir que a gestão ambiental de resíduos sólidos no Brasil requer medidas que contemplem, prioritariamente, produtos com alta tecnologia agregada e curtos ciclos de vida. Em outras palavras, recomenda-se no Brasil o incentivo de políticas ambientais que considerem o gerenciamento ambiental de produtos pós-consumo que apresentam, de modo geral, um número diversificado de materiais em um único produto, bem como alto grau de descartabilidade.

4. Conclusão

A partir do conteúdo analisado neste artigo, pôde-se evidenciar a contribuição dos avanços tecnológicos e da inovação na produção no aprimoramento das técnicas necessárias ao gerenciamento ambiental. Tal contribuição foi exemplificada através da proposta de logística reversa que possibilitou a eficácia do gerenciamento de resíduos sólidos. Foram abordados ainda casos brasileiros onde o gerenciamento de resíduos sólidos se beneficiou da inovação tecnológica para a melhoria do seu desempenho.

Pode-se concluir, a partir da proposta do Gráfico 1, há a evidência de uma forte influência entre o grau de tecnologia incorporado à um produto, a duração do seu ciclo de vida e a velocidade da logística reversa, sendo esta última interpretada como ferramenta adequada para a gestão ambiental de resíduos sólidos.

Agradecimento

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio do CNPq, como parte integrante do projeto de pesquisa 477832/2006-7.

Referências

- ABELPRE** – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2006. <http://www.abrelpe.com.br/downloads/Panorama2006.pdf> (acessado em maio de 2006)
- ABNT. NBR 10.004** – Resíduos sólidos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.
- Espinosa, D.C.R., Bernardes, A.M. e Tenório, J.A.S.** Brazilian policy on battery disposal and its practical effects on battery recycling. *Journal of Power Sources*, Vol. 137, 1, p. 134-139, 2004.
- Freeman, C.** A teoria econômica da inovação industrial. Alianza Editorial. Madrid. 1974.
- Gomes, C.F.S., Nunes, K.A., Xavier, L.H., Cardoso, R. e Valle, R.,** Multicriteria decision making applied to waste recycling in Brazil. *Omega*, Vol. 36, 3, pp. 395-404, 2008.
- González-Torre, P.L., Adenso-Díaz, B. e Ruiz-Torres, A.** Some comparative factors regarding recycling collection systems in regions of the USA and Europe. *Journal of Environmental Management*, Vol. 69, 2, p. 129-138, 2003.
- González-Torre, P.L., Adenso-Díaz, B.** Reverse logistics practices in the glass sector in Spain and Belgium. *International Business Review*, Vol. 15, 5, p. 527-546, 2006.
- Guidetti, G. e Mazzanti, M.** Firm-level training in local economic systems: Complementarities in production and firm innovation strategies *Journal of Socio-Economics*, artigo aceito em 2007 para publicação, aguarda impressão.
- Heiskanen, E.** Reducing the natural resource intensity of private and organisational consumption: the potential of ICT and service innovations. *Progress in Industrial Ecology*, Vol. 2, (3-4), p. 453-474, 2005.
- Nunes, K.R.A., Mahler, Simões, C.F., Valle, R. E Neves, C.** Evaluation of investments in recycling centres for construction and demolition wastes in Brazilian municipalities. *Waste Management*, artigo aceito em 2006 para publicação, aguarda impressão.
- Oliveira, L.B. e Rosa, L.P.** Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. *Energy Policy*, Vol. 31, Issue 14, p. 1481-1491, 2003.

Ometto, A.R., Guelere Filho, A. E Souza, M.P. Implementation of life cycle thinking in Brazil's Environmental Policy. *Environmental Science & Policy*, Vol. 9, 6, p. 587-592, 2006.

Pimenteira, C.A.P., Pereira, A.S., Oliveira, L.B., Rosa, L.P., Reis, M.M. e Henriques, R.M. Energy conservation and CO₂ emission reductions due to recycling in Brazil. *Waste Management*, Vol. 24, 9, p.889-897, 2004.

Raposo, C. e Roeser, H.M. Contamination of the environment by the current disposal methods of mercury-containing lamps in the state of Minas Gerais, Brazil. *Waste Management*, Vol. 21, 7, p. 661-670, 2001.

Schaff, A. A Sociedade informática. São Paulo, Ed. UNESP, 1995.

Sharma, M., Ammons, J.C. e Hartman, J.C. Asset management with reverse product flows and environmental considerations. *Computers & Operations Research*, Vol. 34, 2, p. 464-486, 2007.

Shinzato, M.C. e Hypolito, R. Solid waste from aluminum recycling process: characterization and reuse of its economically valuable constituents. *Waste Management*, Vol. 25, 1, p. 37-46, 2005.

Singh, A., Lou, H.H., Yaws, C.L., Hopper, J.R. e Pike, R.W. Environmental impact assessment of different design schemes of an industrial ecosystem *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 51, 2, p. 294-313, 2007.

Tzeng, O.C.S. e Henderson, M.M. Objective and subjective cultural relationships related to industrial modernization and social progress *International Journal of Intercultural Relations*, Vol. 23, 3, p. 411-445, 1999.

Xavier, L.H., 2005. Sistemas logísticos e a Gestão ambiental no gerenciamento do ciclo de vida de embalagens plásticas. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE/UFRJ. Tese de doutorado.

Xavier, L. H., Cardoso, R. S. e Adissi, P.J., 2006. Legislação Ambiental sobre Destinação de Resíduos Sólidos: o caso das embalagens plásticas pós-consumo. SIMPEP, Bauru. p. 10.