



INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

"KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE"

Contribuições da Contabilidade em Emergia para a Política Nacional de Resíduos Sólidos

C. A. Di Agustini^a, L. P. Vendrametto^b

^aUniversidade Paulista - UNIP, São Paulo, doutorando em Engenharia de Produção e professor da FGV e USCS, agustini@fqvmail.br

^bUniversidade Paulista - UNIP, São Paulo, doutoranda em Engenharia de Produção, lilianagenda@gmail.com

Resumo

O atual Projeto de Lei de Resíduos Sólidos brasileiro impactará 5.564 municípios, que precisarão se mobilizar para adotar políticas e ações de tratamento de resíduos em conformidade com a Lei. Poderá responsabilizar milhões de empresas e de pessoas físicas, porque no caso de dano envolvendo resíduos sólidos, a responsabilidade pela execução de medidas mitigatórias, corretivas e reparatórias será do causador do dano, solidariamente, com seu gerador. Ciclo de vida do produto, destinação final ambientalmente adequada, fluxo de resíduos sólidos e gestão integrada são objetos do Projeto de Lei. Este apresenta a contabilidade em emergia como alternativa para avaliar de forma consistente os impactos dos resíduos sólidos sobre a biosfera, pois sua amplitude ultrapassa os limites da fronteira econômica e dos sistemas de produção (extração, produção, uso e descarte), penetrando no ambiente dos ecossistemas. Apresenta também algumas experiências com essa metodologia como instrumento para suporte a gestão integrada de resíduos sólidos, estabelecendo indicadores de desempenho e avaliação de impactos ambientais. A humanidade tem caminhado para a degradação do ambiente natural, o *homo sapiens* precisa decidir se continuará poluir as reservas naturais com enormes prejuízos à biosfera, ou gerenciará os resíduos de forma integrada com os ecossistemas a fim de mantê-los sustentáveis. A contabilização em emergia é um passo importante para avaliar a capacidade da Terra sustentar a nossa espécie.

Palavras-Chave: Resíduos sólidos, legislação, ciclo de vida, emergia, indicadores de sustentabilidade.

1 Introdução

O governo brasileiro está prestes a aprovar o Projeto de Lei de Resíduos Sólidos, em tese, exigirá que 5.564 municípios se mobilizem para adotar políticas e ações de tratamento de resíduos em conformidade com a Lei. Esta ainda poderá responsabilizar milhões de empresas e pessoas físicas geradoras de resíduos sólidos. Este trabalho apresenta a contabilidade em emergia e experiências com essa metodologia como instrumento para suporte a gestão integrada de resíduos sólidos, estabelecimento de indicadores de desempenho ambiental e avaliação de impactos ambientais. Segundo a Agenda 21 (ONU, 1992): "Aproximadamente 5,2 milhões – incluindo 4 milhões de crianças – morrem por ano de doenças relacionadas com o lixo. Metade da população urbana nos países em desenvolvimento não têm serviços de despejo de lixo sólido.". Os resíduos não se limitam a um determinado local porque a biosfera não reconhece limites territoriais/geo-políticos. Em 13/8/2008, o Sr. Angaangaq, xamã do povo Eskimo-

Kalaallit, da Grooelândia, em visita a São Paulo, a convite da Fundação Getúlio Vargas, alertou que o modo de vida do paulistano afeta o povo Eskimó no Ártico: *"... em minha terra temos uma montanha de gelo que antigamente tinha 5 quilômetros na base. Agora tem apenas 2,4. ... os carros liberam pedaços de borracha dos pneus que são levados ao pólo e causa um grande derretimento. O problema vai muito além de salvar a foca bonitinha. Não podemos fazer uma lei só para a foca, a lei tem que ter sentido para todos"*.

Das 27 cidades-capital no Brasil, 12 capitais ainda não tem aterro, nos demais 5.537 municípios brasileiros o problema não é menor. O processo de análise e decisão para otimização do tratamento de resíduos sólidos urbanos tem sido estruturado e fundamentado em modelos que contemplam variáveis das seguintes naturezas:

- **Técnica ou método para tratamento:** aterro sanitário, biodigestor, usina de compostagem e incineração (CALDERONI, 2003);
- **Viabilidade econômica:** análises para mensuração da quantidade de dinheiro gasto em cada técnica o método para tratamento, versus as possíveis receitas em dinheiro ou ganhos com tarifas e reaproveitamento de materiais com a reciclagem (CALDERONI, 2003);
- **Análise física dos métodos e materiais:** mensuração de materiais utilizados nas técnicas ou métodos para tratamento, resíduos gerados versus a população envolvida (BARREIRA *et al.*, 2007);
- **Impactos ambientais:** mensuração dos componentes tóxicos presentes no solo e no ar, nas emissões gasosas de partículas, poluição de mananciais, poluição visual, odor etc. (CALDERONI, 2003).

Este trabalho apresenta a contabilidade em emergia como alternativa não mutuamente excludente as demais, para análise, decisão e otimização do processo de tratamento de resíduos sólidos urbanos; mas complementar, cuja amplitude ultrapassa os limites da fronteira econômica, penetrando no ambiente da biosfera, possibilitando (GIANNETTI, *et al.*, 2007):

- **Avaliar impactos sobre os serviços ambientais** de maneira concreta;
- **Monitorar os fluxos de energia, emergia e recursos financeiros** que transitam entre os sistemas ambientais e sociais;
- **Construir indicadores de sustentabilidade** de processos e sistemas.

2 Aspectos da legislação brasileira

A legislação brasileira é abrangente em relação a questão ambiental. A seguir preceitos legais vigentes aplicáveis aos processos de geração, tratamento e destinação de resíduos sólidos:

I- Constituição Federal (BRASIL, 1988): "Art. 225º. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações."

II- Diretrizes para o Saneamento Básico, Lei 11.445 (BRASIL, 2008): estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, e considera como saneamento básico, o conjunto de serviços, infra-estruturas e instalações operacionais de:

- **abastecimento de água potável;**
- **esgotamento sanitário;**
- limpeza urbana e **manejo de resíduos sólidos:** atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas; e

- drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Para os efeitos desta Lei, o serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos é composto pelas seguintes atividades:

- de coleta, transbordo e transporte dos resíduos sólidos: lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
- de triagem para fins de reuso ou reciclagem, de tratamento, inclusive por compostagem, e de disposição final dos resíduos sólidos: lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas
- de varrição, capina e poda de árvores em vias e logradouros públicos e outros eventuais serviços pertinentes à limpeza pública urbana.

III- Política Nacional de Resíduos Sólidos, projeto de Lei nº 1.991/2007 (BRASIL, 2008): em 4/7/2007, através da EM nº 58/MMA/2007 (BRASIL, 2008), a Ministra de Estado do Meio Ambiente, Marina Silva, apresentou à apreciação do Presidente da República, o projeto de lei que dispõe sobre as diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos no Brasil. O Projeto de Lei nº 1.991/2007, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil, está estruturado com as seguintes diretrizes principais:

- Proteção da saúde pública e da qualidade do meio ambiente;
- Não-geração, redução, reutilização e tratamento de resíduos sólidos e destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- Desenvolvimento de processos que busquem a alteração dos padrões de produção e consumo sustentável de produtos e serviços;
- Educação ambiental;
- Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias como forma de minimizar impactos ambientais;
- Incentivo ao uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- Gestão integrada de resíduos sólidos;
- Capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos; e
- Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis direta ou indiretamente pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações no fluxo de resíduos sólidos.

O Projeto de Lei nº 1.991/2007 define:

- **Ciclo de vida do produto, análise e avaliação:** etapas que envolvem a produção, desde sua concepção, obtenção de matérias-primas e insumos, até seu consumo e disposição final;
- **Destinação final ambientalmente adequada:** de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais;
- **Fluxo de resíduos sólidos:** movimentação de resíduos sólidos desde o momento da geração até a disposição final dos rejeitos;
- **Geradores de resíduos sólidos:** pessoas físicas ou jurídicas que geram resíduos sólidos por meio de seus produtos e atividades, inclusive consumo;
- **Gestão integrada de resíduos sólidos:** ações voltadas à busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões políticas, econômicas, ambientais, culturais e sociais, tendo como premissa o desenvolvimento sustentável;
- **Resíduos sólidos:** resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem urbana, industrial, de serviços de saúde ou rural;
- **Limpeza urbana:** ações exercidas, direta ou indiretamente, pelo Distrito Federal e pelos Municípios, relativa aos serviços de varrição de logradouros públicos; limpeza de dispositivos de drenagem de águas pluviais; limpeza de córregos e outros serviços, tais como poda, capina, raspagem e roçada, bem como o acondicionamento e coleta dos resíduos sólidos provenientes destas atividades;
- **Tratamento ou reciclagem:** transformação dos resíduos sólidos, que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, tornando-os em novos produtos, na forma insumos, ou em rejeito.

Ao tratar da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, o Projeto de Lei nº 1.991/2007, no seu Art. 12º, incumbe ao Distrito Federal e aos Municípios a gestão dos resíduos sólidos gerados em seus respectivos territórios. Estes são responsáveis pelos serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos a elaboração de Planos de Gestão Integrada, executados em função dos resíduos sólidos gerados ou administrados em seus territórios, contendo, dentre outros, no mínimo:

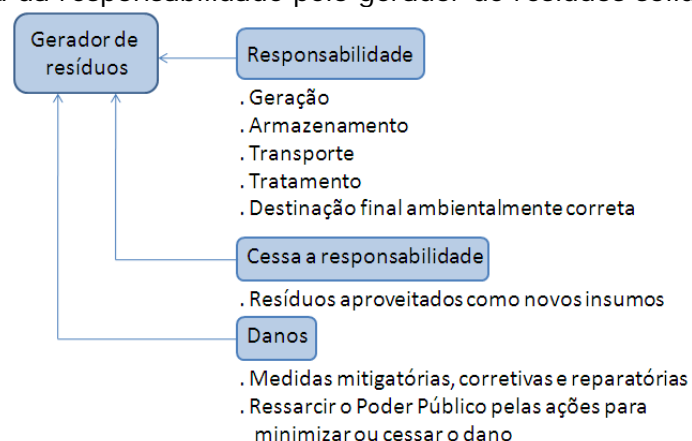
- Diagnóstico da situação dos resíduos sólidos identificados;
- Identificação de regiões favoráveis para disposição final adequada de rejeitos;
- Identificação das possibilidades do estabelecimento de soluções e formas de prevenção dos riscos ambientais;
- Procedimentos operacionais e especificações mínimas, que deverão ser adotados nos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e à disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- Estabelecimento de indicadores de desempenho operacional e ambiental;
- Programa econômico, contendo o sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos, a forma de cobrança desses serviços para recuperação total dos custos;
- Estrutura de comunicação necessária, para ciência da população quanto à quantidade de resíduos sólidos gerados e aos problemas ambientais e sanitários derivados do manejo inadequado; e
- Identificação e monitoramento dos passivos ambientais.

Já no seu Art. 17º, determina as responsabilidades e competências em relação aos resíduos sólidos gerados:

- Compete ao gerador de resíduos sólidos a responsabilidade pelos resíduos gerados, compreendendo as etapas de acondicionamento, disponibilização para coleta, coleta, tratamento e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos;
- A contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente adequada de rejeitos de resíduos sólidos, não isenta a responsabilidade do gerador pelos danos que vierem a ser provocados;
- Somente cessará a responsabilidade do gerador de resíduos sólidos, quando estes forem reaproveitados em produtos, na forma de novos insumos;
- No caso de dano envolvendo resíduos sólidos, a responsabilidade pela execução de medidas mitigatórias, corretivas e reparatórias será da atividade ou empreendimento causador do dano, solidariamente, com seu gerador; e
- Caberá aos responsáveis pelo dano ressarcir o Poder Público pelos gastos decorrentes das ações empreendidas para minimizar ou cessar o dano.

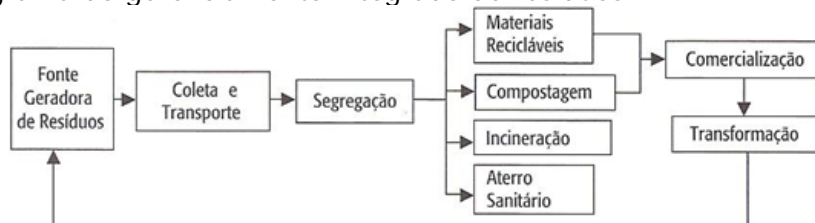
Uma novidade importante contida neste Projeto é a responsabilidade pelo gerador de resíduos, abrangendo o ciclo que compreende: geração, armazenamento, transporte, tratamento, destinação final ambientalmente adequada, execução de medidas mitigatórias em caso de dano, e ressarcir o Poder Público pelos gastos decorrentes das ações para minimizar ou cessar o dano.

Fig.1. Diagrama da responsabilidade pelo gerador de resíduos sólidos.



Num trabalho sobre análises físicas de compostos das usinas de compostagens, Barreira *et al* (2008) avaliam a qualidade do composto produzido em 14 usinas de compostagem em operação no estado de São Paulo, e ressaltam a falta de legislação específica no Brasil sobre a mistura de componentes encontrada nos resíduos sólidos analisados. De acordo com REIS *et al* (2005), o gerenciamento integrado de resíduos deve abranger as fases de coleta, transporte, e tratamento, combinando soluções e tecnologias com a realidade local, para que o resíduo não seja uma fonte de problemas, no presente e no futuro.

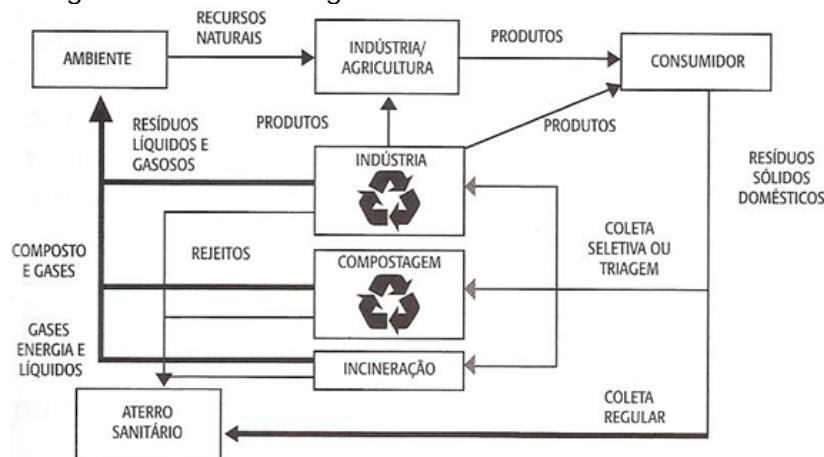
Fig.2. Diagrama do gerenciamento integrado de resíduos.



Fonte: Reis, *et al*, 2005.

Philippi Jr. (2005) alerta que o gerenciamento integrado de resíduos sólidos deve minimizar a geração na fonte, a fim de alcançar sustentabilidade econômica, ambiental e social.

Fig.3. Fluxo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos domésticos.



Fonte: Philippi Jr, 2005.

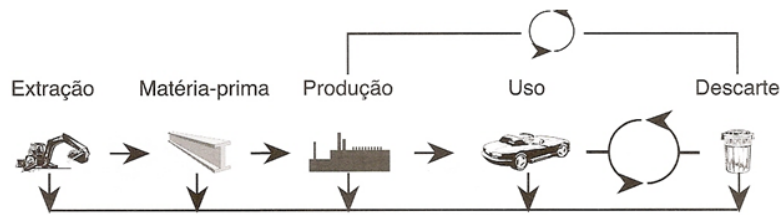
3 Ciclo de vida e contabilidade em emergia

O Projeto de Lei nº 1.991/2007, nos Art. 7º e 10º, cita a Análise e Avaliação do Ciclo de Vida do Produto como instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Segundo Giannetti & Almeida, 2006: "A avaliação do ciclo de vida é um método utilizado para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços. A análise de ciclo de vida de um produto, processo ou atividade é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto."

Segundo a Setac- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (1993): "A avaliação inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, ou seja, a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição; o uso, o emprego, a manutenção; a reciclagem, a reutilização e a disposição final."

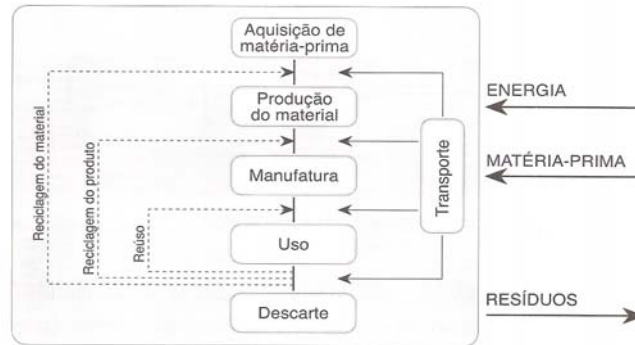
O ciclo de vida é que a história do produto, desde a fase de extração das matérias-primas, passando pela fase de produção, distribuição, consumo e uso, até a sua transformação em lixo ou resíduo (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006).

Fig. 3. Ciclo de vida do "berço à cova" de um automóvel.



Fonte: Giannetti, *et al*, 2006.

Fig. 4: Principais estágios do ciclo de vida de um produto.



Fonte: Giannetti, *et al*, 2006.

Dentre as várias aplicações da análise e avaliação do ciclo de vida, segundo Giannetti & Almeida, 2006, destacam-se a sua utilização no setor público para:

- desenvolver políticas de longo prazo para regulamentação do uso de materiais, para conservação de reservas, redução de impactos ambientais causados por materiais e processos durante o ciclo de vida de um produto;
- avaliar a redução de reservas e implementar tecnologias alternativas para utilização de resíduos; e
- fornecer informações ao público sobre as características de produtos e processos.”.

Apesar de citado no Projeto de Lei nº 1.991/2007 que a Análise e Avaliação do Ciclo de Vida do Produto é instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a sua aplicação para os fins que se propõe deve ser cuidadosamente analisada, pois existem fatores que podem limitar a sua implementação:

- as fases de extração da matéria-prima e/ou manufatura dos produtos podem ser realizadas fora do território nacional. A nossa legislação não alcança esses locais, exceção feita se houver acordos internacionais específicos;
- as fases de extração da matéria-prima e/ou manufatura dos produtos, se realizadas dentro do território nacional, podem ser em outros municípios, dificultando muito o rastreamento para responsabilizar o gerador do resíduo;
- a análise e avaliação do ciclo de vida do produto fragmenta o sistema em partes estáticas; não oferece uma visão dinâmica do processo; e
- os mecanismos que podem interferir na produção de bens na análise e avaliação do ciclo de vida do produto limitam-se a descrições físicas; não incluem processos como: demanda de mercado, variáveis sociais etc..

A contabilidade em emergia

Essa contabilidade não pode ser esgotada neste. Informações adicionais podem ser obtidas em Odum, 1996; Brown e Ulgiati, 1997. É uma metodologia desenvolvida por Odum (1996) para contabilizar os fluxos de massa e energia que ingressam e saem de um sistema sob uma unidade comum - a emergia - com a possibilidade de calcular indicadores que avaliam ecossistemas, naturais e antrópicos, do ponto de vista da sustentabilidade dos ecossistemas e dos serviços ambientais. Assim, a contabilidade em emergia é uma alternativa, não mutuamente excludente com as demais, complementar e de dimensão diferenciada, cuja amplitude ultrapassa os limites da fronteira econômica e dos sistemas de produção, penetrando no ambiente dos ecossistemas e dos recursos naturais. A emergia tem a vantagem concreta de avaliar de forma consistente os impactos das diferentes atividades

humanas (produtiva, comercial, consumista, econômica e social) sobre a biosfera. O fundamento desta metodologia foi aprofundado por Odum (1983), que consagrou a palavra "*emergy*" (escrito com "m"). No início dos anos 90 a contabilidade em energia tomou corpo no meio científico, a partir da publicação de Brown e Ulgiati (1997). A contabilidade em energia reúne índices de valoração de recursos naturais e bens produzidos e consumidos, de um sistema em termos de fluxos de energia. São estudos físicos para valorar a quantidade de energia - expressa em energia solar equivalente - relacionado à produção e uso de diversos recursos, incluindo os naturais. A metodologia usa uma medida universal, a *emergy*: energia que a biosfera investe, direta ou indiretamente, para produzir bens e serviços, incluindo os bens e serviços da sociedade. A unidade de medida é o SEJ (Solar Emery Joule). Segundo Odum (1996), a *emergy* é uma medida universal da riqueza real do trabalho da natureza e da sociedade feitas em uma base comum. A contabilidade em energia requer que se determine a transformidade solar ou dos elementos que serão mensurados, ou seja, a quantidade de energia solar diretamente ou indiretamente necessária para produzir um Joule de produto. A transformidade é dada pela *emergy* de um produto dividido por seu conteúdo energético. A unidade de medida é o SEJ/J (para alguns bens pode também ser calculado transformidade em termos de SEJ por grama de produto). Assim, a contabilidade em energia consiste na contabilidade dos fluxos de energia e materiais necessários para obter direta ou indiretamente qualquer recurso (produto industrial, recurso natural, processo energético etc.), quantificando os fluxos de energia relacionados à dotação de recursos naturais da terra e a todos os processos de transformação que o homem põe em suas atividades. A contabilidade ambiental em energia, conforme afirma Odum (1996), tem se mostrado de grande utilidade para avaliar as implicações ambientais dos sistemas humanos nos sistemas que fornecem a sustentação da vida no planeta. A contabilidade em energia é uma ferramenta fundamentada na termodinâmica de sistemas abertos e na teoria de sistemas, cujo objetivo é contabilizar, em uma "moeda" comum, a produção de um produto ou a geração de um serviço. Contabilizam-se, além dos recursos pagos, os recursos não pagos pela economia que são fornecidos pelo meio ambiente. Estes últimos são conhecidos como recursos livres fornecidos pela ecossfera e não são considerados nos balanços tradicionais. O sistema econômico é considerado um sistema termodinâmico aberto contido num ecossistema, a biosfera, com o qual troca energia e matéria. A contabilidade em energia é a ferramenta apropriada para avaliar e/ou comparar sistemas, pois permite converter todas as contribuições que o sistema produtivo recebe (materiais, energia, dinheiro, informação) na mesma base de medida: o joule de energia solar incorporada, representado por sej. Desta forma, os sistemas em estudo podem ser comparados quanto à eficiência no uso dos recursos, produtividade, carga ambiental e sustentabilidade global. O procedimento para avaliar um sistema empregando a contabilidade em energia consiste em: conhecer o sistema em estudo e definir seus limites; conhecer o contexto em que o sistema está inserido; fazer um balanço de massa; elaborar o diagrama com os fluxos de energia; construir as tabelas com os dados do diagrama e selecionar os valores das transformidades ou *emergy* por unidade (sej/g, sej/R\$ etc.). Da contabilidade em energia surgem indicadores de sustentabilidade, segundo Odum (1996), com o objetivo de quantificar a eficiência no uso dos recursos, a produtividade, a carga ambiental e a sustentabilidade global.

Contribuições da contabilidade em energia na avaliação de impacto ambiental

A utilização da contabilidade em energia para avaliação de impacto ambiental e risco ecológico em processos e atividades que envolvem as interações entre as atividades humanas, industriais e a natureza não é inédita. O documento Avaliação de Impacto Ambiental elaborado pelo IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, que fornece orientação aos diversos agentes envolvidos no processo de avaliação de impacto ambiental, recomenda procedimentos e ferramentas que objetivam imprimir maior efetividade ao

KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE

instrumento de avaliação de impacto ambiental. O capítulo 6, que trata da Elaboração do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, o IBAMA recomenda a formação de Equipe Multidisciplinar para elaboração do EIA/RIMA. No item 6.5, Bibliografia para Aprofundamento, várias publicações de Odum são referências para análise de impacto ambiental e risco ecológico (ABSY, 1995). O Anexo I do documento Avaliação de Impacto Ambiental: Agentes Sociais, Procedimentos e Ferramentas, que trata da Análise de Alguns Métodos e Principais Técnicas Utilizadas na Elaboração de EIA/RIMA, na técnica Simulação Dinâmica de Sistemas, que representa a simulação ou reprodução de um sistema real na forma de um modelo, a técnica desenvolvida por Odum é citada como instrumento para análise de impacto ambiental. Neste, a emergia é recomendada como ferramenta adequada (ABSY, 1995). No capítulo 7, que trata da Análise do EIA/RIMA ou Outros Documentos Técnicos Exigidos no Licenciamento Ambiental, no item 7.4, Bibliografia para Aprofundamento, Odum é citado como referência para análise de impacto ambiental (ABSY, 1995).

4 Contribuições da contabilidade em emergia na gestão de resíduos sólidos

Selecionamos na literatura algumas contribuições da contabilidade em emergia que podem contribuir para a Política Nacional de Resíduos Sólidos:

- **Avaliação em emergia do uso de recursos na coleta de resíduos sólidos urbanos no município de São Paulo – Brasil** (ARAUJO, 2005). Discute os tratamentos dos resíduos sólidos domiciliares da cidade de São Paulo no ano de 2002, e os compara aos dados das cidades de Modena e Siena (Itália), sob a metodologia da contabilidade em emergia. Em 2002 a cidade contava com uma população de cerca de 10,4 milhões de habitantes e gerava, em média, 1,13 kg/dia de resíduo sólido por habitante. Em comparação com as outras cidades analisadas, São Paulo é a cidade que mais consome recursos na coleta e separação de materiais recicláveis e sua mão-de-obra é o recurso mais custoso.

Tab. 1. Tabela comparativa de emergia entre os locais analisados.

Local	Processo	Emergia (sej/ano)	Emergia (sej/grama)
Siena interna	Coleta seletiva	$9,76 \times 10^{17}$	$1,34 \times 10^8$
Siena externa	Coleta seletiva	$6,97 \times 10^{17}$	$3,97 \times 10^7$
São Paulo	Coleta mista	$3,60 \times 10^{18}$	$1,33 \times 10^7$

Fonte: Araujo, 2005.

- **Análise ambiental para comparação de gerenciamento de resíduos** (MARCHETTINI; RIDOLFI; RUSTICI, 2007). Discute a avaliação de três tipos de tratamento de resíduos sólidos (compostagem, aterro e incineração) a partir da contabilidade em emergia. Utilizam-se os seguintes indicadores: a) investimento em emergia: mede o uso dos recursos por grama de resíduos, b) economia em emergia: que mede a emergia que pode ser extraída de um grama de resíduo e c) EYR: razão do rendimento em emergia. Os resultados mostram que a compostagem utiliza a menor quantidade de recurso por grama de resíduo em comparação aos métodos incineração e aterro, enquanto a incineração e a compostagem são mais eficientes em recuperar a emergia do refugo. Para incineração é considerado a energia contido no refugo, para os outros dois métodos, os componentes orgânicos são considerados. A Compostagem é um pouco mais eficiente do que a incineração que mais tarde será capaz de recuperar a grande quantidade de emergia. Os dois indicadores mostram como o aterro sendo o pior sistema de recuperação de emergia.

Tab. 2. Tabela comparativa entre os 3 sistemas.

Sistema	EYR ¹	Energia Líquida ² (sej/grama)
Compostagem	3,93	3,59 x 10 ⁸
Aterro	0,19	-4,21 x 10 ⁸
Incineração	3,20	3,84 x 10 ⁸

Fonte: Marchettini, *et al*, 2007.

- **Avaliação ambiental emergética e projeto para construção de unidade de tratamento de resíduos líquidos na Sicília – Itália** (SIRACUSA; LA ROSA, 2006). Determinar se a instalação de um aterro aquoso para tratamento de resíduos líquidos resulta em economia recursos financeiros e benefícios ambientais. Os resultados mostraram que o projeto analisado não só traria economia dos recursos financeiros, redução do consumo de energia elétrica e redução da pressão ambiental local, proporcionando a opção de reciclagem da água. Além disso, a contabilidade em energia, que utiliza dados das entradas dos ecossistemas naturais e da economia, permite a avaliação quantitativa das economias ambientais devido ao reuso da água como também do impacto ambiental devido ao processo de tratamento dos resíduos sólidos. Em relação aos tratamentos de resíduos líquidos, podem-se considerar sustentáveis quando ocorre a coleta e purificação da água que poderá ser utilizada como uma fonte de recurso renovável para atividades humanas nas áreas de agricultura irrigada com grande problema de desertificação (como o Sul da Sicília). Em termos de restauração ambiental, uma grande vantagem em usar a usina tradicional e o aterro aquoso é o aumento da biodiversidade que é o princípio de muitos serviços dos ecossistemas.

5 Conclusões

Segundo a World Water Council (WWC, 2009), estima-se que a população mundial próxima dos 7 bilhões de pessoas esteja gerando cerca de 40 milhões de toneladas de resíduos sólidos/ano e jogando 2 milhões de toneladas de resíduos nos cursos d'água todos os dias. A partir dos anos 60, face os graves problemas ambientais provocados pelos resíduos, fortaleceu-se a idéia do seu tratamento, e a partir dos anos 80, a idéia da prevenção, minimização, reciclagem e reutilização. A base legal que abrange a questão dos resíduos sólidos no Brasil não economiza ações, adjetivos e verbetes, como se fossem palavras de ordem sobre: preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais, impacto ambiental, educação ambiental, recuperar o meio ambiente degradado, reparar os danos causados, valores ambientais, proteção do meio ambiente, sustentabilidade econômica, ambientalmente adequada, consumo sustentável, minimizar impactos ambientais, consumo sustentável, gestão integrada, tecnologias ambientalmente saudáveis, prevenção dos riscos ambientais e indicadores de desempenho ambiental. Em conformidade com as palavras de ordem que permeiam a base legal abordada neste, a contabilidade em energia é um profícuo instrumento para ser aplicado à Política Nacional de Resíduos Sólidos, em sintonia com os objetivos de minimizar impactos ambientais, adotar gestão integrada, aplicar tecnologias ambientalmente saudáveis, prevenir riscos ambientais e estabelecer indicadores de desempenho ambiental.

6 Referências

- ABSY, Miriam L. (Coord.). Avaliação de Impacto Ambiental: Agentes Sociais, procedimentos e ferramentas. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis, 1995.
- ARAUJO, Eli S. Estudo do Uso de Recursos Diretos e Indiretos na Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação (mestrado) – UNIP. São Paulo, 2005.

¹ Energia recuperada/emergia investida.

² Vantagem em energia associada a cada sistema. Energia investida menos energia recuperada.

- BARREIRA, L.P.; A. PHILIPPI Jr.; M.S. RODRIGUES; J.A.S. TENÓRIO. Physical Analyses of Compost from Composting Plants in Brazil. *Waste Management* 28, p-1417-1422, 2008.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil: de 5 de outubro de 1988.
- _____. Lei 11.445. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm, consulta em 1/10/2008.
- _____. Projeto de Lei 1.991/2007. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Projetos/PL/2007/msg673-070906.htm, consulta em 29/9/2008.
- _____. Exposição de Motivos 58. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Projetos/EXPMOTIV/MMA/2007/58.htm, consulta em 29/9/2008.
- CALDERONI, Sabetai. O\$ Bilhão\$ Perdido\$ no Lixo. Humanitas Editora/FFLCH/USP, 4^a. Ed. São Paulo, 2003.
- GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B.. *Ecologia Industrial. Conceitos, Ferramentas e Aplicações*. 1 ed. São Paulo: Edgarg Blücher LTDA., 2006.
- GIANNETTI, B. F.; BARRELLA, F.S.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B.. *Aplicações do Diagrama Emergético Triangular na Tomada de Decisão Ecoeficiente*. São Paulo, Produção, v. 17, p. 246-262.
- GIANNETTI, B. F.; NEIS, A. M. ; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B.. *Decisões e Sustentabilidade Ambiental*. In: COSTA NETO, P. L. O.. (Org.). *Qualidade e Competência nas Decisões*. 1 ed. São Paulo: Edgarg Blücher LTDA., 2007, v. 01, p. 315-336.
- MARCHETTINI. N.; RIDOLFI. R.; RUSTICI. M. An Environmental Analysis for Comparing Waste Management Options and Strategies. *Waste Management* 27, p-562 - 571, 2007.
- ODUM, Howard .T. *Systems Ecology: An Introduction*. John Wiley, New York, 1983.
- _____. *Environmental accounting. Emery and Environmental Decision Making*. John Wiley & Sons, New York, 1996.
- ONU – Organização das Nações Unidas. *Nosso Futuro Comum*, Rio de Janeiro, 2^a edição, Editora Fundação Getúlio Vargas, 1991.
- PHILIPPI Jr. (Ed.). *Saneamento, Saúde e Ambiente*. São Paulo: Editora Manole Ltda., 2005.
- REIS, Lineu B. do; FADIGA, Eliane A.A.; CARVALHO, Cláudio E. *Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável*. São Paulo: Editora Manole Ltda., 2005.
- SETAC – Guidelines for Life-Cycle Assessment: a “Code of Practice”, Setac, Bruxelas, 1993.
- SIRACUSA. G.; LA ROSA. A.D. Design of a constructed wetland for wastewater treatment in a Sicilian town and environmental evaluation using the emery analysis. *Ecological Modeling* 197, p- 490 - 497, 2006.
- WWC – World Water Council, <http://www.worldwatercouncil.org>, consulta em 13/3/2009.