



## Síntese em emergia do aterro sanitário Sítio São João: uma análise de sustentabilidade

**Frimaio, Geslaine (UNIP)** – gfrimaio@gmail.com

**Almeida, Cecília M.V.B. (UNIP)** – cmvbag@unip.br

**Giannetti, Biagio F. (UNIP)** - biafgian@unip.br

**Bonilla, Sílvia H. (UNIP)** – bonilla@unip.br

**Resumo:** *As mudanças ocorridas no sistema de produção após a Revolução Industrial desencadearam desafios ambientais, que vão desde como utilizar de maneira racional os recursos naturais até como lidar com o descarte de resíduos do sistema produtivo, principalmente em grandes metrópoles, cujos espaços para disposição de resíduos vêm se tornando cada vez mais escassos. Uma das alternativas de tratamento dos resíduos sólidos urbanos, são os aterros sanitários, que proporcionam confinamento seguro e minimizam impactos ambientais. Este estudo utiliza a metodologia síntese em emergia, para avaliar a sustentabilidade do aterro sanitário Sítio São João, na cidade de São Paulo. O estudo avalia ainda o projeto de compensação ambiental, exigido pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente, verificando se promove a sustentabilidade e minimiza os impactos ambientais causados pelo aterro sanitário. O estudo aponta que a emergia total do aterro sanitário corresponde a  $5,72 \times 10^{22}$  sej. O índice de sustentabilidade de 0,4, demonstra que o aterro não é sustentável, em virtude do sistema utilizar, maior quantidade de recursos provenientes da economia, do que recursos renováveis. A emergia da compensação ambiental é de  $8,33 \times 10^{16}$  sej, e é insuficiente para minimizar os impactos ambientais causados pelo aterro sanitário Sítio São João.*

**Palavras-chave:** *Aterro sanitário; Sustentabilidade; Emergia; Compensação Ambiental.*



## 1. Introdução

As mudanças ocorridas no sistema de produção após a Revolução Industrial desencadearam desafios ambientais que atualmente compreendem desde como utilizar de maneira racional os recursos naturais até como lidar com o descarte de resíduos gerados pelo sistema produtivo.

Atualmente o aumento de produção de bens descartáveis constitui uma séria questão, principalmente em grandes metrópoles cujos espaços para disposição de resíduos vêm se tornando cada vez mais escassos.

A quantidade de resíduos coletados no Brasil corresponde a 228.413 toneladas por dia (Colavitti, 2003).

O município de São Paulo com população em torno de 10 milhões de habitantes, é considerado o maior gerador de resíduos sólidos urbanos (RSU) do território nacional, totalizando 17 mil toneladas, que corresponde a 7,44%, da quantidade de resíduos coletados no país, sendo que 10 mil toneladas correspondem aos resíduos domiciliares (Vieira, 2010)

O tratamento inadequado dos resíduos pode causar problemas de aspectos sanitários, ambientais e sociais, como disseminação de doenças, comprometimento da qualidade de vida da população, contaminação do ar pelo gás metano (produzido pela decomposição de matéria orgânica), contaminação do solo e de águas através do chorume.

Uma das alternativas de tratamento dos resíduos sólidos são os aterros sanitários, proporcionando confinamento seguro que minimiza os impactos ambientais, por obedecerem normas específicas e critérios de engenharias para sua instalação e operação.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1992), “aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou à intervalos menores se for necessário.”

Este estudo realiza a síntese em emergia da compensação ambiental, realizada no aterro sanitário Sítio São João, localizado na estrada do Sapopemba, km 33, na cidade de São Paulo. Operado por regime de concessão pela Ecurbis Ambiental S/A, desde 2004. Ocupa uma área de 80 hectares, dos quais 50 hectares correspondem à área destinada à deposição de resíduos sólidos urbanos. O aterro sanitário Sítio São João começou a operar em 1992 e sua fase de encerramento ocorreu em 2009.

## 2. Metodologia

A metodologia utilizada no objeto de estudo é a síntese em emergia, desenvolvida por Odum (1996), que a priori consiste no levantamento de todos os dados da fase de implantação e operação do Aterro Sanitário Sítio São João e da compensação ambiental.

Visitas in loco e pesquisas em literatura propiciaram o levantamento de dados. As visitas proporcionaram quantificar a maioria dos materiais, equipamentos e mão-de-obra para implantação e operação dos sistemas. A contabilidade dos serviços do ambiente, como ocupação de solo, calor geotérmico, insolação e evapotranspiração, necessitaram de dados



presentes em literatura e pesquisa em órgãos específicos.

Para melhor entendimento do sistema, a metodologia utiliza os diagramas de energia que possui uma simbologia própria. Os trajetos dos fluxos de energia dentro de cada diagrama indicam os fluxos energéticos provenientes de fontes externas e obedecem a primeira lei da termodinâmica onde a energia que entra em um sistema não é criada e nem destruída.

Os fluxos de saída do diagrama compreendem a energia degradada, obedecendo a segunda lei da termodinâmica. Como a energia perde sua concentração e capacidade de realizar trabalho, ela abandona o sistema de forma degradada (Odum, 1996).

O tratamento dos dados consistiu, na contabilização, utilizando-se de conversões e/ou transformações, que permitirão estimar todos os fluxos individualmente em joules para posteriormente convertê-los em joules de energia solar (sej). A transformidade permite transformar os fluxos para uma métrica comum, pois estima quantos joules de energia foram necessários para produzir um joule de energia solar .

A contabilidade considera os recursos utilizados para a implantação e operação dos sistemas em estudo. As transformidades e as energias por massa foram retiradas da literatura. A vida útil de construções foi estimada em 17 anos para o aterro (vida útil do aterro) e 20 anos para a compensação (período de concessão da Ecourbis Ambiental S/A). A depreciação de equipamentos foi estimada em 10 anos, de acordo com Thomson (2004).

Conforme o diagrama, os fluxos de entrada do sistema de compensação do aterro sanitário Sítio São João foram classificados em três categorias: renováveis (R), que estão localizados à esquerda do diagrama, os recursos não renováveis (N) e provenientes da economia (F), situados na parte superior do diagrama, conforme Figuras 1,2 e 3.

O objetivo deste estudo é utilizar a metodologia para avaliar os aspectos ambientais e realizar o levantamento de indicadores que possibilitem mensurar a sustentabilidade, os custos ambientais do aterro e da compensação ambiental.

Os cálculos de síntese em energia do aterro sanitário apresentaram o valor de  $5,72 \times 10^{22}$  sej. A camada de 25 centímetros de britas, utilizadas no revestimento das células de RSU é o que apresenta maior resultado (99,06%).

Este estudo possibilitou calcular a transformidade do biogás do aterro sanitário Sítio São João, que corresponde a  $1,23 \times 10^{13}$  sej/m<sup>3</sup>.

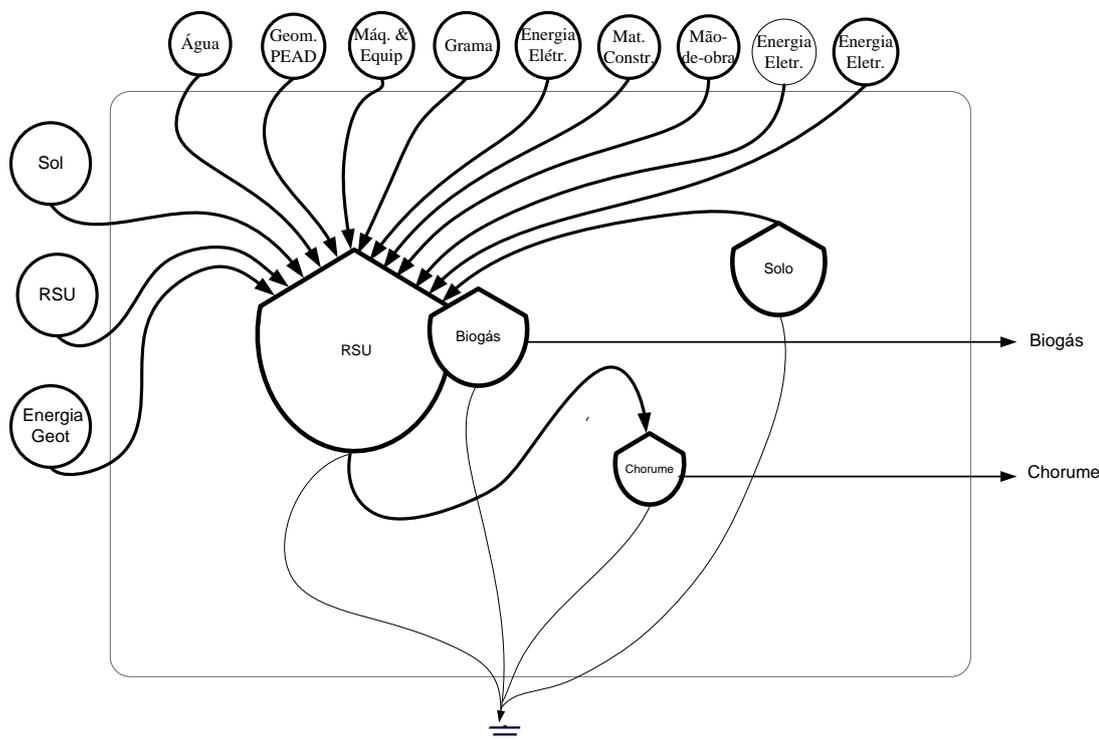


Figura 1 – Diagrama de energia do aterro sanitário Sítio São João

Os indicadores utilizados pela emergia são descritos conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos indicadores.

Descrição	Indicador	Equação
Rendimento em emergia (energy yield ratio): É a relação entre a emergia total (Y) e a emergia dos insumos (F), ou seja, é a emergia do sistema dividido pela entrada dos fluxos de emergia provenientes da economia. É um indicador que fornece a emergia líquida do sistema, demonstrando a capacidade do processo para explorar os recursos locais provenientes da natureza, podendo estes serem renováveis ou não. O valor mínimo é a unidade	EYR	$Y/F$ ou $(R+N+F)/F$
Índice de carga ambiental (environmental loading ratio): È definido como a relação entre emergia de entrada dos recursos locais não renováveis e de recursos provenientes da economia pela emergia do recurso local renovável .	ELR	$(N+F)/R$
Investimento em emergia que avalia se o processo usa adequadamente os recursos locais. Um índice baixo indica que o ambiente provê mais recursos para o processo que a economia (materiais e serviços).	EIR	$F/(R+N)$
Índice de Sustentabilidade: Mede a taxa de sustentabilidade. Valores maiores indicam sustentabilidade por períodos de tempo maior. Um sistema para ser considerado sustentável por longo prazo deve ter uma baixa carga ambiental e alto rendimento em emergia.	SI	$EYL/ELR$
Percentual de recursos renováveis: Indica a porcentagem de fluxo de emergia que é proveniente de fontes renováveis. Os sistemas com alto valor deste índice são mais sustentáveis.	%R	



Os indicadores apresentaram os seguintes resultados:

EYR = 1 Este indicador aponta que o rendimento em energia do sistema é mínimo, isso significa que a quantidade de recursos provenientes da economia em relação aos recursos renováveis e não renováveis é praticamente sua totalidade.

EIR = 2.541,57 – Indica que o ambiente provê menos recursos naturais locais para o processo que recursos da economia (materiais e serviços).

ELR – 2.550,70 - indica que o sistema tem uma relação desfavorável entre os recursos provenientes da economia e recursos não-renováveis e relação aos recursos locais renováveis, pois quanto maior o índice, mais desfavorável ao sistema analisado.

SI – 0,4 - A obtenção de 0,4 como resultado demonstra que o sistema não é sustentável, em curto, médio ou longo prazo, em virtude do sistema requerer, para sua implantação e operação, a maioria dos fluxos provenientes da economia.

%R = 0,04% - Este índice demonstra que o sistema utiliza apenas 0,04% de recursos renováveis, ou seja, o sistema é totalmente mantido e dependente dos insumos provenientes da economia.

Em 2009, o aterro sanitário implantou um projeto de compensação ambiental atendendo ao cumprimento de algumas medidas mitigatórias e de exigências de compensações ambientais realizadas pelo CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente). Segundo a Ecourbis Ambiental S/A, foi considerada projetos de recuperação florestal, que preconiza a recuperação de áreas degradadas com elevada diversidade, que pode ser obtida com o plantio de mudas.

O projeto de compensação ambiental, ocupa uma área de 800m<sup>2</sup> situada nas adjacências do aterro sanitário, e tem como objetivo principal a produção anual de 50.000 a 80.000 mudas de espécies nativas da floresta atlântica do planalto paulistano. O projeto, denominado EcoÍris, utiliza insumos provenientes de um sistema de compostagem e de produção húmus (minhocultura), utilizando resíduos provenientes de feiras livres, implantados no próprio sistema de compensação ambiental.

O viveiro possui ainda um projeto educativo denominado Ver de Perto, cuja finalidade é oferecer às escolas e comunidades da região informação sobre as diferentes etapas da produção de mudas florestais e sensibilizar seus visitantes sobre a importância da conservação e recuperação ambiental.

A área de compensação abriga também o projeto da ONG Cidade sem Fome, que compreende uma horta comunitária, cuja produção de hortaliças é distribuída aos funcionários da Ecourbis Ambiental S/A.

A Figura 2 demonstra os fluxos de energia do sistema no diagrama de energia, considerando as fases de implantação e operação da compensação ambiental do aterro sanitário Sítio São João.

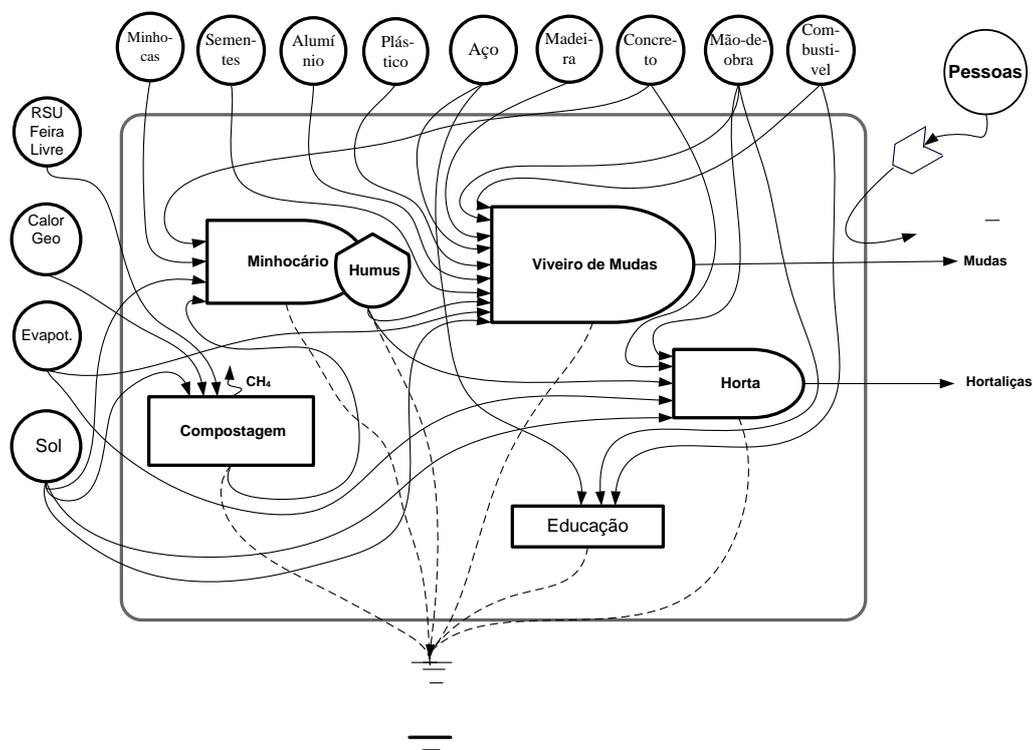


Figura 2 – Diagrama de energia da compensação ambiental do aterro sanitário Sítio São João.

A compensação ambiental possui energia de  $8,33 \times 10^{16}$  sej. Através dos cálculos da síntese em energia da compensação ambiental, foram obtidos os seguintes resultados:

EYR = 1,0 - Este resultado indica que o retorno por unidade de energia para cada investimento realizado na compensação ambiental é mínimo, pois o valor próximo de 1 representa que não há ganho em energia, em virtude do sistema ser muito dependente dos fluxos de energia provenientes da economia (F).

Neste sistema, cada joule de energia solar representa um custo muito elevado. No caso da compensação ambiental, representa recursos investidos que não irão propiciar ganhos em energia para o sistema. Para que este indicador apresente melhores índices, o sistema de compensação teria que explorar de maneira mais eficiente os recursos naturais fornecidos gratuitamente pela natureza.

O estudo aponta que os insumos que consomem mais energias provenientes da economia em primeiro lugar é o minhocário, representando 34,29%, seguido consumo de diesel do veículo Kombi (27,45%) e das sementes do viveiro de mudas cujo percentual é de 21,61%.

Este estudo possibilitou calcular a transformidade das mudas de árvores nativas da mata atlântica, que corresponde a  $1,35 \times 10^{12}$  sej/muda. Foram calculadas ainda as transformidades da alface e couve produzidas na horta do aterro, que compreendem





Conforme Tabela 2, são apresentados os indicadores do aterro sanitário e do aterro sanitário com a compensação para efeito de comparação.

Tabela 2 – Comparação dos indicadores da síntese em energia.

INDICADORES	ATERRO SANITÁRIO	ATERRO C/COMPENSAÇÃO
EYR	1,0	1,0
EIR	2.541,57	2.532,30
ELR	4.550,70	2.541,36
SI	0	0
%R	0,04	0,04

### 3. Discussão dos Indicadores

O Rendimento em Energia (EYR) do aterro não se altera quando contabilizada a compensação ambiental. A energia líquida do sistema continua sendo uma unidade. A compensação ambiental não provoca melhora no rendimento da energia líquida, em virtude do sistema ser muito dependente de recursos provenientes da economia. Os recursos da economia mais significativos ao sistema compreende a implantação do minhocário (34,29%), seguido pelo consumo de diesel (27,45%) e posteriormente pelas sementes nativas da floresta atlântica do planalto paulistano (21,61%).

Quanto à comparação do Investimento em energia (EIR), do aterro em relação à compensação ambiental, apresenta uma diferença pouco sensível, o mesmo acontecendo com o índice de carga ambiental, isso quer dizer que a compensação possibilita uma melhora neste indicador, porém pouco significativa, pois o sistema continua dependente de recursos de materiais, insumos e serviços.

O índice de Sustentabilidade (SI) demonstra que o sistema do aterro sanitário Sítio São João, se caracteriza como um sistema que não apresenta sustentabilidade a curto, médio ou longo prazo. A adição da compensação ambiental, que compreende uma nova entrada de recursos renováveis no sistema não apresenta resultados significativos, que podemos facilmente visualizar pelos resultados totais da síntese em energia, cuja diferença de potência é de seis casas decimais.

O indicador de percentual de recursos renováveis (%R), quando comparado os índices obtidos no aterro sanitário e no aterro contabilizada a compensação ambiental, não demonstra alteração em seu valor. Portanto, a compensação ambiental exigida pelo CONSEMA não é suficiente para que o índice deste indicador seja alterado, pois a entrada e utilização de recursos renováveis é muito pequena em relação aos recursos provenientes da economia.

### 4. Conclusão:

Os resultados apontaram que a compensação ambiental contribui de maneira pouco significativo à sustentabilidade do aterro sanitário Sítio São João. Não houve alteração na energia líquida do sistema, mesmo adicionando a compensação ambiental como entrada de um recurso renovável (R) ao sistema.

Para que a contribuição da compensação ambiental provocasse mudanças significativas nos indicadores que realizaram a análise do sistema, esta contribuição teria que



ter dimensões muito maiores, em virtude do aterro sanitário ser quase que totalmente dependente de insumos provenientes da economia.

A substituição de insumos provenientes da economia (F) por insumos renováveis (R) seria uma opção, a exemplo das sementes nativas que futuramente poderiam ser coletadas no local de plantio, substituindo desta forma a compra deste insumo.

Embora o aterro, de modo geral, cause estresse ao meio ambiente, e não apresente sustentabilidade, ele é extremamente necessário às grandes metrópoles, pois a reciclagem é incapaz de reduzir 100% de resíduos que vão para os aterros sanitários. Neste panorama os aterros vão continuar existindo, mesmo constituindo um sistema que não apresenta sustentabilidade, sem a presença deles o impacto ao meio ambiente seria muito maior.

#### Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – *Apresentação de projetos de aterros de resíduos sanitários sólidos urbanos - Procedimento* - NBR8419, abril de 1992.

COLAVITTI, F. O que fazer com o lixo. Revista **Galileu**. n.143, p.3950, jun. 2003.

ODUM, H.T. – *Environmental accounting – Emery and environmental decision making*, Ed. John Wiley & Sons Ltd. p.370, 1996.

THOMSON, B. – *Taxas de depreciação de bens do ativo imobilizado*, Anuário., São Paulo, Brazil, Ed. Thomson, 235p., 2004.

VIEIRA, Marta Régia. *Lixo x enchentes x cidadania x educação: relações inseparáveis que mudam uma sociedade*. Revista Gestão de Resíduos. n. 22, p. 14-19, fev. 2010.