

CONTABILIDADE AMBIENTAL EM EMERGIA DO PROJETO DE COMPENSAÇÃO AMBIENTAL ECOÍRIS

C.M.V.B.Almeida^a, G. Frimaio^b, S.H. Bonilla^c, C.C. da Silva^d, B.F. Giannetti^e

^a Prof. Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UNIP, São Paulo-SP

^b Prof. Mestre do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus Inconfidentes, MG

^c Prof. Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UNIP, São Paulo-SP

^d Prof. Doutor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus Inconfidentes, MG

^e Prof. Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UNIP, São Paulo-SP

Palavras-chave:

Energia, Compensação
Ambiental, Produção,
Sustentabilidade

Resumo Um sistema de compensação ambiental foi implantado pelo aterro sanitário Sítio São João, na cidade de São Paulo, em atendimento ao artigo 36 da Lei Federal nº 9985/00, regulamentada pelo Decreto Federal nº 4340/02. Este estudo utiliza a síntese em EMERGIA para avaliar o sistema. Os resultados deste estudo indicam que o sistema de compensação ambiental possui EMERGIA total de $4,39 \times 10^{16}$ sej. Foram calculadas as transformidades da alface ($3,07 \times 10^5$ sej/J) e da couve manteiga ($1,10 \times 10^4$ sej/J), como também a transformidade das mudas de árvores. Para produzir cada joule de energia de uma muda de árvore nativa, são necessários $7,13 \times 10^{11}$ joules de EMERGIA solar.

Key words:

Emergy, Environmental Compensation, Seeding Production, Sustainability

Abstract

An environmental compensation for Sítio São João Landfill was established in São Paulo in compliance with article 36 of Federal Law No. 9985/00, regulated by Federal Decree No. 4340/02. This study uses the EMERGY synthesis to evaluate this system. The results of this study indicate that the system of ecological compensation has an EMERGY cost of 4.39×10^{16} sej. Transformities of lettuce (3.07×10^5 sej / J) and kale (1.10×10^4 sej / J) were calculated, as well as the seedlings' transformities. To produce each joule of energy of a native tree seedling, it takes 7.13×10^{11} joules of solar EMERGY.

1 INTRODUÇÃO¹

Em abril de 2009, o aterro sanitário Sítio São João implantou em uma área de 800 m² um projeto de compensação ambiental em atendimento ao artigo 36 da Lei Federal nº 9985/00, regulamentada pelo Decreto Federal nº 4340/02, em que o empreendedor firma termo de Compromisso de Compensação Ambiental correspondente a 0,5% do valor do empreendimento, nas unidades de conservação indicadas pela Câmara de Compensação Ambiental da Secretaria do Meio Ambiental (SMA, 2007). O aterro, localizado na zona leste da cidade de São Paulo, começou a operar em 1992, ocupando uma área de 80 hectares, dos quais 50 ha foram destinados para a deposição de resíduos sólidos urbanos. A área em que se localiza este aterro caracterizava-se por um local coberto pelo bioma Mata Atlântica, sendo que para sua instalação foi necessária a retirada da vegetação nativa, alterando a paisagem local. O aterro sanitário recebeu até seu encerramento aproximadamente $2,9 \times 10^7$ toneladas de resíduos sólidos urbanos que se caracterizam como resíduos domiciliares, resíduos domiciliares não-residenciais, resíduos inertes, resíduos dos serviços de saúde (previamente tratados), restos de móveis e similares, resíduos provenientes de feiras livres e mercados, além de lodos desidratados de estações de tratamento de esgotos (SMA, 2007 e Ecourbis, 2010).

A Ecourbis Ambiental S/A, empresa que administra o aterro por regime de concessão, considerou como meta final dos diversos projetos de recuperação florestal, o atendimento à Resolução SMA nº 8 de 31.01.08 (que atualizou as resoluções SMA nº 21/01 e 47/03), que preconiza a recuperação de áreas degradadas com elevada diversidade. A recuperação

pode ser obtida com o plantio de mudas e/ou outras técnicas tais como: semeadura direta, indução e/ou condução da regeneração natural. Ao final das atividades de plantio, deve ser alcançada uma diversidade mínima de oitenta espécies arbóreas das formações vegetais de ocorrência regional.

O projeto de compensação ambiental EcoÍris tem como um dos objetivos a produção anual de 50.000 a 80.000 mudas de espécies nativas da floresta atlântica do planalto paulistano. Este projeto, denominado EcoÍris, utiliza insumos provenientes de um sistema de compostagem e de produção húmus (minhocultura) no próprio local, que são alimentados por resíduos provenientes de feiras livres, para a produção das mudas do viveiro. O projeto 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 o projeto da ONG Cidade sem Fome, que compreende uma horta comunitária, cuja produção de hortaliças é distribuída aos funcionários do aterro sanitário, de acordo com Ecourbis Ambiental S/A (2010). Segundo a Ecourbis Ambiental S/A, o projeto de compensação ambiental está ainda ligado ao "Projeto da Barreira Vegetal do Trecho Sul do Aterro Sanitário Sítio São João" que abrange duas categorias de plantio: plantios paisagísticos e de recuperação florestal (Ecourbis, 2010).

Vários estudos utilizam a síntese em EMERGIA² para avaliar sistemas de disposição final de resíduos, no entanto a literatura não contempla avaliação de aterros sanitários ligados a projetos de compensação ambiental.

¹ No decorrer do texto aparece o termo EMERGIA escrito com maiúsculas. Isto se deve à importância conceitual do termo e para evitar que seja confundido com a palavra energia. A palavra EMERGIA é um aportuguesamento do termo em inglês 'EMERGY' que é um neologismo. Na sua origem, o termo 'EMERGY' foi criado da contração dos termos em inglês 'EMbody enERGY' (energia incorporada). Há autores que preferem ressaltar o M da palavra, grafando eMergia. Neste caso o M é proveniente da primeira letra da palavra memória e substitui a letra n da palavra energia, neste caso a acepção de eMergia é de "memória da energia". Ambas as formas ("energia incorporada" = EMERGIA e "memória da energia" = eMergia) são consideradas equivalentes e complementares.

A síntese³ em EMERGIA⁴ tem sido amplamente utilizada para avaliar sistemas agrícolas, a exemplo da contabilidade ambiental em EMERGIA da produção de soja no Mato Grosso (Cavalett & Ortega, 2007) e da Avaliação da Sustentabilidade de Laranja (Pereira et al, 2008). Giannetti et al (2011a e 2011b) avalia a sustentabilidade de uma fazenda produtora de café no município de Coromandel, Estado de Minas Gerais, num período de dez anos. A fazenda atende a legislação brasileira vigente, mantendo oitenta hectares de terra nativa que ultrapassam os 20% previstos em lei. Dentre as conclusões, os autores ressaltam que, para atingir a sustentabilidade mínima, a área de vegetação da fazenda deveria ocupar pelo menos duzentos hectares.

Um sistema de produção de eucaliptos é avaliado pela síntese em EMERGIA por Romanelli (2007), estabelecendo os fluxos de recursos e identificando os principais fatores da produção. O autor conclui que para elevar a sustentabilidade deste tipo de plantio é necessário promover a eficiência da colheita e reduzir o uso dos insumos proporcionalmente à produtividade. A produção de mudas foi também avaliada.

O objetivo deste estudo é realizar a contabilidade ambiental em EMERGIA do Projeto de Compensação Ambiental EcoÍris que inclui a produção de hortaliças e de mudas de espécies nativas da floresta atlântica do planalto paulistano. Os resultados da produção de mudas são comparados aos resultados de Romanelli (2007), que avalia uma produção comercial de mudas de eucalipto na região de Itatinga, no Estado de São Paulo.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo é a síntese em EMERGIA, desenvolvida por Howard T. Odum (1996) e capaz de avaliar a utilização de recursos naturais ou antropogênicos por um determinado sistema.

Para o levantamento de todos os dados da fase de implantação e operação do Projeto de Compensação Ambiental EcoÍris, foram realizadas visitas *in loco* que permitiram quantificar materiais, equipamentos e mão-de-obra para implantação e operação do sistema. A contabilidade dos serviços do ambiente, como ocupação de solo, calor geotérmico, insolação e evapotranspiração, foi efetuada por meio de pesquisa em órgãos específicos e na literatura.

Para melhor entendimento do sistema, a metodologia utiliza os diagramas⁵ de energia (Figura 1). Os fluxos de entrada dos sistemas estudados são classificados em três categorias: recursos locais e gratuitos da natureza, renováveis (R) e não renováveis (N), e provenientes da economia (F). Para o tratamento dos dados foram estimados individualmente todos os fluxos de recursos que o sistema utiliza. Alguns insumos foram contabilizados levando-se em consideração sua massa, a exemplo de maquinários e materiais de construção. No caso das sementes, foi utilizada a razão EMERGIA/dinheiro do Brasil ($EMERGY/money\ ratio = EMR = 1,20 \times 10^{13} \text{ sej/US\$}$, Romanelli, 2007).

À direita do retângulo (Figura 1) encontram-se as saídas do sistema, que correspondem aos produtos produzidos pelo sistema. São considerados produtos da compensação ambiental: as mudas pioneiras

² A síntese em EMERGIA é uma metodologia desenvolvida por Howard T. Odum e serve como ferramenta de gestão ambiental maximizando a vitalidade econômica com menos uso da tentativa e erro. Com esta ferramenta a sociedade pode melhorar a eficiência, inovar com menos falhas e se adaptar às mudanças mais rapidamente.

³ As avaliações em EMERGIA podem ser tanto sintéticas quanto analíticas. A síntese é o ato de combinar os elementos em conjuntos coerentes para a compreensão da totalidade dos sistemas, enquanto a análise é a divisão de sistemas para entender o conjunto por meio das partes. Na contabilidade ambiental em EMERGIA, também chamada neste artigo de síntese em EMERGIA, primeiro se considera o sistema (formado por suas partes e interações) mediante o uso de diagramas de energia. Os diagramas servem para identificar os fluxos de energia, recursos e informações que orientam o sistema. Ao avaliar os sistemas complexos, utilizando a síntese em EMERGIA, os principais fatores de produção da economia humana se integram aos recursos gratuitos do meio ambiente com o objetivo de dar resposta a questões de políticas públicas e à gestão ambiental.

⁴ O termo EMERGIA é um conceito chave na metodologia de síntese em EMERGIA. EMERGIA é a energia disponível de uma determinada forma usada em transformações diretas ou indiretas para gerar um determinado produto ou serviço. A unidade de emergia é o joule de energia solar, também denominado de EMjoule, e cuja abreviação é sej. Usando a EMERGIA, a luz solar, os combustíveis, a eletricidade e os serviços humanos, entre outros recursos, podem ser colocados em uma base comum: em joules de energia solar requeridos na sua produção.

⁵ Os diagramas são utilizados para explicitar os fluxos de entrada de um sistema que são avaliados e somados para obter a EMERGIA de um determinado produto. A finalidade do diagrama é representar o sistema de forma sistêmica. Os recursos necessários para o funcionamento do sistema são assinalados no diagrama e fazem parte do inventário que compõe a contabilidade ambiental sob a visão da biosfera.

A fase posterior compreendeu encontrar com base na literatura, o valor da transformidade ou da EMERGIA por unidade de cada insumo. A transformidade permite mensurar a quantidade de joules de energia necessários para produzir um joule de determinado produto ou serviço (sej/J). A multiplicação das quantidades de cada insumo por sua respectiva transformidade⁶ permite colocar os fluxos de energia do sistema em uma métrica comum, o joule de energia solar (sej). Exemplo⁷, sabendo que a transformidade da gasolina é de $1,11 \times 10^5$ sej/J, para produzir 100 joules de gasolina são necessários 11.100.000 joules de energia solar (EMERGIA = transformidade x energia = $1,11 \times 10^5$ sej/J x 100 J).

Odum (1996), em sua metodologia desenvolveu o índice de rendimento em EMERGIA (EYR, *EMERGY yield ratio*), o índice de investimento em EMERGIA (EIR, *EMERGY investment ratio*), o índice de carga ambiental (ELR, *environmental loading ratio*) e a relação de troca de EMERGIA (EER, *EMERGY exchange ratio*) e que são capazes de fornecer informações relevantes dos sistemas estudados, considerando a capacidade de carga do ambiente.

Por meio dos fluxos de entrada do sistema, avaliam-se os indicadores da síntese em EMERGIA do sistema em estudo, enfatizando a interação entre os sistemas e o ambiente no qual está inserido (Tabela 1).

O rendimento em EMERGIA (EYR) é a relação entre a EMERGIA total ($Y = N + F + R$) e a EMERGIA dos insumos (F), ou seja, é o custo ambiental em EMERGIA do sistema dividida pela entrada dos fluxos de EMERGIA provenientes da economia (Equação 1). EYR é um indicador que fornece a EMERGIA líquida do sistema e serve para avaliar a capacidade do processo para explorar os recursos locais provenientes da natureza, podendo estes ser renováveis ou não.

$$EYR = (R + N + F) / F \quad (1)$$

Onde o numerador, dado pela soma dos recursos R, N e F, é a EMERGIA total e F é a EMERGIA proveniente da economia.

O índice de carga ambiental (ELR) é 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 (Equação 2).

$$ELR = (N + F) / R \quad (2)$$

Onde N e F são a EMERGIA dos recursos não renováveis e dos provenientes da economia, respectivamente, e R é a EMERGIA dos recursos renováveis.

O investimento em EMERGIA (EIR) avalia se o processo usa adequadamente os recursos locais (Equação 3). Um baixo EIR indica que o ambiente provê mais recursos para o processo que a economia (materiais e serviços).

$$EIR = F / (R + N) \quad (3)$$

Onde F é a EMERGIA dos recursos pagos e a soma $R + N$ são os recursos locais gratuitos.

Para calcular a relação de troca de EMERGIA (EER) (Equação 4) das mudas e hortaliças produzidas e o dinheiro pago, os preços dos produtos são convertidos em unidades de EMERGIA (denominador da Equação 4). Esta é a relação de troca de EMERGIA em um comércio ou de aquisição (Odum, 1996). Quando um produto é vendido e o dinheiro é recebido em troca, o EER dá uma medida da vantagem relativa a uma transação comercial de um parceiro sobre o outro.

⁶ O termo transformidade é um aportuguesamento do neologismo em inglês "*transformity*". Por definição, o quociente da EMERGIA de um produto pela sua energia é a transformidade do produto. Quando mais recursos são requeridos numa transformação maior é a sua transformidade. Por este motivo há uma transformidade mínima e uma máxima para cada processo. Abaixo de um determinado valor, o processo não é possível de acontecer, por falta de recursos suficientes. Acima de um valor limite, o processo é economicamente e ambientalmente inviável. De uma forma geral, os processos tendem a um valor ótimo. Os processos com valor ótimo de transformidade são aqueles permaneceram por um longo período sob competição econômica e/ou ambiental.

⁷ O exemplo numérico é de interesse didático, por mostrar a importância operacional da transformidade na contabilidade ambiental. Também, deve-se notar que a EMERGIA calculada é a energia que a biosfera investe para produzir bens e serviços (incluindo os bens e serviços da sociedade e os da natureza).

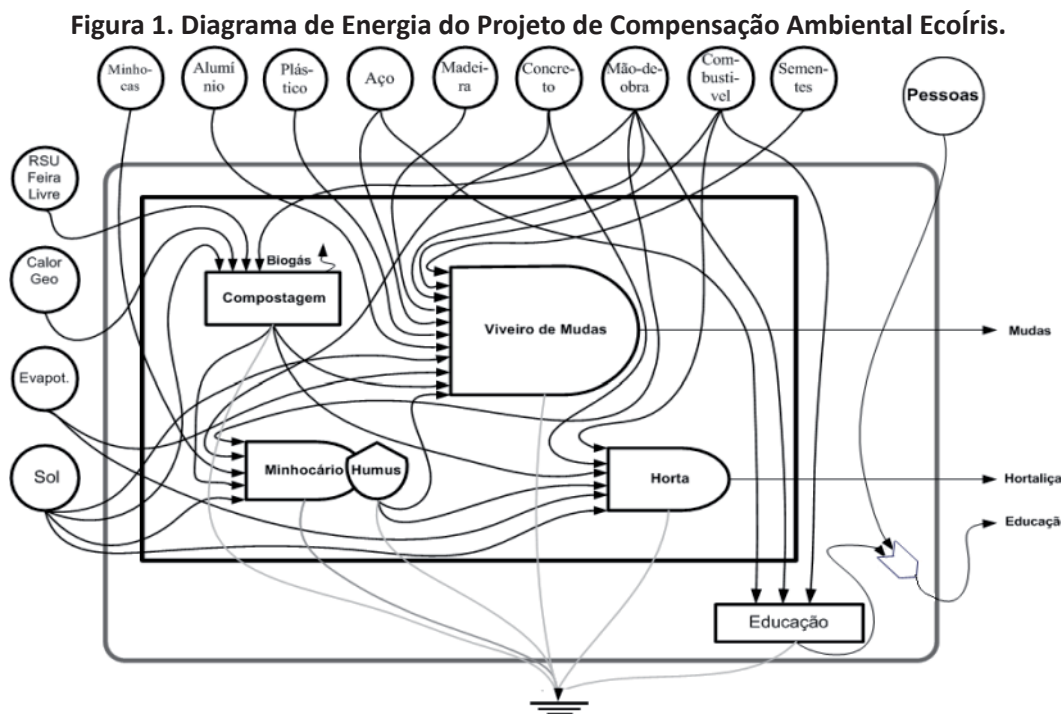
$$EER = (R + N + F / [\text{Preço} \times \text{EMR}]) \quad (4)$$

Onde o numerador é a soma dos recursos empregados avaliados em EMERGIA e o denominador (Preço x EMR) são os recursos empregados pela economia para gerar o valor monetário da compra. Neste artigo o EMR utilizado é a razão EMERGIA/dinheiro do Brasil (EMERGY/money ratio = EMR = $1,20 \times 10^{13}$ sej/US\$, Romanelli, 2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diagrama de energia do sistema da compensação ambiental é mostrado na Figura 1. No diagrama,

pode-se observar todos os fluxos de energia que circulam no sistema e a interação das pessoas com projeto de compensação ambiental. Os recursos renováveis que o sistema utiliza estão situados do lado esquerdo do retângulo, que representa os limites do sistema (Figura 1). O calor geotérmico contribui para decomposição da matéria orgânica da compostagem, enquanto a evapotranspiração corresponde à água necessária para o viveiro de mudas e a horta. Os insumos provenientes da economia estão situados na parte superior do retângulo, Figura 1, e são aplicados nas fases de implantação e operação do sistema de compensação ambiental. A mão-de-obra, a compra de sementes e o material de maternidade da minhocultura são exemplos de alguns desses insumos.



e não pioneiras do planalto paulistano, hortaliças produzidas na horta e também a informação que foi agregada às pessoas que tiveram contato com o sistema por meio de visitas ao local ou nas escolas que o projeto de compensação atende.

A Tabela 1 mostra os fluxos de material e de energia que fazem parte do sistema de compensação ambiental do aterro sanitário Sítio São João.

A EMERGIA total da compensação ambiental tem valor de $4,39 \times 10^{16}$ sej/ano. De acordo com a Tabela 1, os insumos que consomem mais energia são os provenientes da economia, com a mão de obra associada à aproximadamente 43% da EMERGIA total e as sementes a cerca de 40% sej/sej.

Segundo a EMATER (EMATER-DF, 2007) a

produção de alfaces de cultivo orgânico compreende 12.500 kg/ha. A produção de couve, segundo a Coordenação de Pesquisas em Ciências Agrônômicas (CPCA, 2010) é estimada em 48.750 kg/ha. A tabela 2 mostra o cálculo das transformidades das hortaliças produzidas pelo sistema.

As transformidades encontradas para as hortaliças são similares para hortaliças produzidas em um sistema de produção integrada de porcos, aves e hortaliças, $7,44 \times 10^5$ sej/J (Ortega et al, 2003). Este resultado indica que a produção de hortaliças pelo projeto da ONG Cidade sem Fome, inserido no projeto Ecoíris, pode competir com outros processos de produção de hortaliças no que se refere à eficiência no uso de recursos para a produção.

Tabela 1. Contabilidade ambiental em EMERGIA: valoração dos fluxos de material e energia da compensação ambiental numa métrica comum, a energia solar.

Nota	Descrição	Un.	Classe	Quant. / (un/ano)	EMERGIA por unidade/ (sej/un)	EMERGIA/ (sej/ano)	%/ (sej/sej)	Referência
Fase de Implantação								
1	Solo ocupado	J	N	$3,14 \times 10^9$	$2,21 \times 10^4$	$6,94 \times 10^{13}$	<1	Romitelli, 2000
2	Blocos de concreto *	g	F	$6,74 \times 10^5$	$1,35 \times 10^9$	$9,10 \times 10^{14}$	2,0	Haukoos, 1998
3	Argamassa	g	F	$2,19 \times 10^4$	$3,31 \times 10^9$	$7,25 \times 10^{13}$	<1	Brown/Buranakarn, 2003
4	Aço (Máq.)	g	F	$1,34 \times 10^4$	$2,77 \times 10^9$	$3,71 \times 10^{13}$	<1	Haukoos, 1998
5	Aço (constr.)	g	F	$7,24 \times 10^3$	$2,16 \times 10^9$	$1,56 \times 10^{13}$	<1	Haukoos, 1998
6	Sombrite *	g	F	$7,50 \times 10^3$	$5,87 \times 10^9$	$7,40 \times 10^{13}$	<1	Odum, 1996
7	Plástico *	g	F	$3,06 \times 10^4$	$5,87 \times 10^9$	$1,80 \times 10^{14}$	1	Odum, 1996
8	Madeira *	g	F	$6,68 \times 10^5$	$2,14 \times 10^9$	$1,43 \times 10^{15}$	3,1	Buranakarn, 1998
9	Tubetes *	g	F	$1,90 \times 10^5$	$5,75 \times 10^9$	$1,09 \times 10^{15}$	2,4	Buranakarn, 1998
10	Alumínio *	g	F	$2,09 \times 10^4$	$1,27 \times 10^{10}$	$2,65 \times 10^{14}$	<1	Buranakarn, 2003
11	Mão-de-Obra	J	F	$2,26 \times 10^7$	$4,30 \times 10^6$	$9,72 \times 10^{13}$	<1	Silva, 2007
12	Minhocas *	g	F	$2,71 \times 10^9$	$7,40 \times 10^4$	$3,36 \times 10^{14}$	1	Odum, 1996
Fase de Operação								
13	RSU**	g		$8,44 \times 10^7$	$1,33 \times 10^7$	$1,12 \times 10^{15}$	2,5	Araújo, 2005
14	Evapotranspiração	J	R	$3,25 \times 10^7$	$2,59 \times 10^4$	$8,42 \times 10^{11}$	<1	Takahashi, 2007
15	Energia Geotérmica	J	R	$1,26 \times 10^9$	$1,49 \times 10^4$	$1,88 \times 10^{13}$	<1	Ulgianti/Brown, 2002
16	Insolação**	J	R	$1,07 \times 10^{10}$	1,00	$1,07 \times 10^{10}$	<1	Por definição
17	Sementes árvores	US\$	F	$1,50 \times 10^3$	$1,20 \times 10^{13}$	$1,80 \times 10^{16}$	39,9	
18	Sementes - horta	US\$	F	$9,86 \times 10^1$	$1,20 \times 10^{13}$	$1,18 \times 10^{15}$	2,6	Sweeney et al, 2006
19	Sacos plásticos *	g	F	$1,11 \times 10^6$	$3,80 \times 10^8$	$4,22 \times 10^{14}$	1	Odum, 1998
20	Mão de obra	J	F	$4,51 \times 10^9$	$4,30 \times 10^6$	$1,94 \times 10^{16}$	43,0	Silva,C.C. 2007
21	Diesel	J	F	$1,03 \times 10^8$	$1,11 \times 10^5$	$1,14 \times 10^{13}$	<1	Brown/Ulgianti, 2004
22	Gasolina	J	F	$2,63 \times 10^6$	$1,11 \times 10^5$	$2,92 \times 10^{11}$	<1	Brand/Wiliams,2002
EMERGIA Total					Y	$4,39 \times 10^{16}$		

* Os valores de EMERGIA por unidade foram multiplicados por 1,68. Esta correção é necessária devido aos diferentes valores de linha base que há na literatura. Neste artigo se emprega o valor de $15,83 \times 10^{24}$ sej/ano como sendo o fluxo de energia que a geobiosfera recebe anualmente na forma de radiação solar, energia geotérmica e das marés.

** Não contabilizado para evitar dupla contagem.

Comentário:

As primeiras 5 colunas são do inventário físico dos recursos gratuitos e pagos empregados pelo sistema. A classificação do tipo de recurso é dada na coluna 4 (R e N são recursos gratuitos, renováveis e não renováveis, respectivamente, e F são os recursos pagos). As colunas restantes fazem parte da contabilidade ambiental em EMERGIA. Na coluna 6 estão os valores empregados para transformar os fluxos de recursos em valores de EMERGIA (coluna 7). A penúltima coluna traz as porcentagens, valoradas em EMERGIA, da contribuição dos recursos empregados. Na última coluna estão as referências dos valores de EMERGIA por unidade (coluna 6).

Tabela 2. Cálculo das transformidades dos produtos da horta.

Produtos*	Área/ (ha)	Quantidade/ (kg/ha)	Fator de conversão/ (g/kg)	Conteúdo energético/ (cal/g)	Fator de conversão/ (J/cal)	Transformidade/ (sej/J)
alface	0,0078	12.500	1.000	35.000	4,186	$3,07 \times 10^5$
couve	0,0078	48.750	1.000	250.000	4,186	$1,10 \times 10^4$

Comentário:

Para realizar o cálculo da transformidade dos produtos da horta (apresentados na última coluna da tabela) é necessário multiplicar os valores das colunas 2, 3, 4, 5 e 6. A transformidade é um valor que, entre suas várias utilidades, serve para valorar a quantidade de energia disponível empregada para obter um joule de produto. O inverso da transformidade pode ser interpretado como sendo a produtividade em escala global.

De acordo com informações da Ecourbis Ambiental S/A, foram plantadas 61.556 mudas no período de 2009 a 2010, sendo: 24.445 mudas no aterro sanitário Santo Amaro, 33.421 mudas no aterro sanitário São Mateus e 3.700 mudas no aterro sanitário Sítio São João. Romanelli (2007), utiliza a mesma metodologia para avaliar uma produção intensiva de eucalipto (*eucalyptus spp.*) na região de Itatinga, no Estado de São Paulo. A EMERGIA por unidade encontrada pelo autor, $1,71 \times 10^{11}$ sej/muda, é da mesma ordem de grandeza da encontrada para as mudas produzidas pelo Projeto EcoÍris ($7,13 \times 10^{11}$ sej/muda), o que mostra que, apesar de o projeto ter sido concebido para compensar ambientalmente os danos causados pelo aterro, a produção de mudas pode ser considerada comercialmente competitiva.

A Tabela 3 apresenta os índices calculados a partir dos insumos utilizados pelo projeto de compensação ambiental EcoÍris.

O valor de EYR = 1,0 indica que não houve retorno por unidade de EMERGIA investida para este sistema e que o sistema é dependente dos fluxos de recursos provenientes da economia (F). O sistema de compensação ambiental tem EIR = 36,1. Este valor é aproximadamente 1500 vezes menor que o obtido para a produção comercial de mudas de eucalipto, EIR = 56.452 (Romanelli, 2007). O resultado indica que, apesar de ambos os sistemas utilizarem poucos recursos locais gratuitos para o processo de produção de mudas, o sistema de produção de compensação ambiental pode ser considerado mais competitivo, pois explora de maneira mais eficiente os recursos locais.

Tabela 3. Índice obtidos para o Projeto de Compensação Ambiental EcoÍris.

INDICADORES	VALORES
EYR	1,0
EIR	36,1
ELR	38,4
EER (alface)	0,3
EER (couve)	0,1

Comentário:

EYR, EIR e ELR foram calculados empregando as equações 1, 2 e 3, respectivamente. Os indicadores EER foram obtidos usando a equação 4. Os fluxos de recursos R, N e F são fornecidos na tabela 1. Os preços empregados na determinação do EER constam no texto.

O índice de carga ambiental (ELR) avalia o estresse ambiental, quanto menor seu valor, menor o estresse causado pelo sistema ao meio ambiente (Brown e Ulgiati, 2002). O valor de 38,4 indica que o sistema de compensação ambiental causa menos estresse ao ambiente quando comparado ao sistema de produção de mudas de eucalipto, cujo índice obtido foi de 56.452 (Romanelli, 2007). Esta diferença diz respeito à utilização de resíduos provenientes de feiras livres que são utilizados para a compostagem e produção de húmus, dispensando desta forma o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas que são utilizados na produção de eucalipto.

Os valores de relação de troca de EMERGIA (EER) foram calculados para a alface e a couve produzidas no projeto EcoÍris (Tabela 3). Os preços de mercado das hortaliças (alface 1,09 R\$/kg e couve 0,98 R\$/kg) foram retirados de (CEAGESP, 2010). O EER é a razão de EMERGIA fornecida em relação a EMERGIA recebida na troca com os sistemas externos, constituídos pelos compradores da produção. O indicador EER serve para avaliar se o produtor recebe, no caso da venda dos produtos, toda a EMERGIA usada para sua produção. Produtos provenientes da agricultura, pesca e silvicultura tendem a ter um valor alto de EER (entre 5 e 10), quando são comprados a preço de mercado, pois geralmente, o valor monetário somente paga os serviços humanos e não o trabalho realizado pela natureza (Cavalett *et al.*, 2007). Os valores de 0,3 para a alface e 0,1 para a couve (Tabela 3) mostram que para o sistema de produção do projeto EcoÍris, o possível comprador da alface receberia menos EMERGIA pelo dinheiro pago. Por exemplo, para a alface se emprega aproximadamente três vezes menos recursos na sua produção que os utilizados pela economia para que circule R\$ 1 (um real). Supondo a venda dos produtos da horta, o preço justo seria aproximadamente dez vezes menor para a couve e três vezes menor para a alface produzida do praticado pelo mercado. No caso de consumo local, sem comercialização, a comunidade teria um benefício maior do que se consumissem estes produtos provenientes do mercado.

4 CONCLUSÃO

Calculou-se a EMERGIA total do Projeto de Compensação Ambiental EcoÍris ($4,39 \times 10^{16}$ sej/ano)

e observou-se que os insumos que consomem mais recursos são os provenientes da economia, com a mão de obra associada à aproximadamente 43% da EMERGIA total e as sementes a cerca de 40% sej/sej.

O projeto de compensação ambiental mostrou ser dependente de recursos provenientes da economia. No entanto, quando comparado a um sistema de produção comercial de eucaliptos mostrou ser um processo mais vantajoso ao meio ambiente, já que o investimento em EMERGIA deste projeto para a obtenção de uma muda é 1500 vezes menor que o investido para obter uma muda de eucalipto. Além disto, quando considerados os dois sistemas de produção, o Projeto de Compensação Ambiental caracteriza-se como um sistema quase tão eficiente como o sistema de produção comercial, pois de acordo com Romanelli (2007), são requeridos $1,71 \times 10^{11}$ joules de energia solar para produzir uma muda de eucalipto, enquanto que para produzir uma muda da mata atlântica do planalto paulistano no sistema de compensação ambiental são necessários $7,13 \times 10^{11}$ sej/muda.

O índice de carga ambiental com valor de 38,4 indica que o sistema de compensação ambiental causa menos estresse ao ambiente quando comparado ao sistema comercial de produção de eucalipto. Este resultado sugere que a utilização de resíduos provenientes de feiras livres, utilizados para a compostagem e produção de húmus, é uma alternativa ambientalmente mais amigável do que o uso de fertilizantes agrícolas que são utilizados na produção de eucalipto.

O valor de EER calculado para as hortaliças mostra que o sistema implantado no projeto EcoÍris, não só é competitivo no que concerne ao uso de recursos, mas também poderia competir com os preços de mercado.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte da Vice Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Paulista.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, S. E. **Estudo do uso de recursos diretos e indiretos na coleta de resíduos sólidos urbano**. 164p, dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Paulista, São Paulo, 2005. Disponível em http://www.advancesincleanerproduction.net/papers/dissertations/araujo_es.pdf acesso em 01.08.2011.
- BRANDT-WILLIAMS, S. L. **Handbook of Emergy Evaluation - A compendium of data for EMERGY computation issued in a series of folios - folio #4** (2nd printing): EMERGY of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy - environmental engineering sciences, 2002
- BROWN, M. T, BURANAKARN, V. **EMERGY indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options**. Resources, Conservation and Recycling, 11(2003)1–22.
- BROWN M. T, ULGIATI S. **EMERGY analysis and environmental accounting**. Encyclopedia of Energy 2004; 2:329–354.
- BROWN, M.T.; ULGIATI, S. **EMERGY evaluations and environmental loading of electricity production systems**. Journal of Cleaner Production, 10(2002)321-334.
- BURANAKARN, V. **Evaluation of recycling and reuse of building materials using the EMERGY Analysis Method**. Doctoral Dissertation; College of Architecture, University of Florida, Gainesville, 1998.
- CAVALETT O; ORTEGA E. **Análise emergética da produção de soja no Mato Grosso**. Revista Brasileira de Agroecologia, 2(2007)866-869.
- CEAGESP, 2010. Disponível em <<http://www.ceagesp.gov.br/cotacoes/>> acesso em 08.10.2010.
- CPCA, 2010. **Coordenação de Pesquisas em Ciências Agrônômicas**, disponível em: <<http://www.inpa.gov.br/cpca/areas/areas.html>> acesso em 29.11.2010.
- Ecourbis Ambiental SA. Disponível em <<http://www.ecourbis.com.br/>> acesso em 13.09.2010.
- EMATER, 2007. **Empresa e Assistência Técnica e Extensão Rural – Custos de produção – hortaliças bulbos, raízes, folhas e tubérculos**. Disponível em <<http://emater.df.gov.br/>> acesso em 13.09.2010.
- GIANNETTI, B.F.; OGURA, Y.; BONILLA, S.H.; ALMEIDA, C.M.V.B. **Accounting EMERGY flows to determine the best production model of a coffee plantation**. Energy Policy, (2011a), no prelo.
- GIANNETTI, B.F.; OGURA, Y.; BONILLA, S.H.; ALMEIDA, C.M.V.B. **EMERGY assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price**. Agricultural Systems, 104(2011b)679-688.
- HAUKOOS, D.S.; **Sustainable architecture and it's relationship to industrialized building**. Master thesis, University of Florida, 1995 - p. 172) apud Buranakarn, V.; **Evaluation of recycling and reuse of building materials using the emergy analysis method**. December 1998. University of Florida.
- ODUM, H.T. **Environmental Accounting: emergy and environmental decision making**. ed. John Wiley & Son Ltd.,1996, p.370.
- ORTEGA, E.; DELUQUI, K.; VASCONCELOS, M.; TEIRA, G. **“Análise emergética do sistema agropecuario integrado korin” em: Engenharia ecológica e agricultura sustentável, exemplos de uso da metodologia energética-ecossistêmica**. Enrique Ortega (organizador) Campinas, São Paulo. Disponível em <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/> acesso em 29.11.2010.
- PEREIRA C.L.F; CVALETT O.; ORTEGA E. **Avaliação de sustentabilidade de laranja**. Disponível em <www.agroecologiaemrede.org.br/.../p440_2005-11-23_154625_066.pdf> acesso em 29.11.2010.

- ROMANELLI, T. L. **Sustentabilidade energética de um sistema de produção e cultura de eucalipto.** Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Tese de Doutorado, 2007, 121p.
- ROMITELLI, M.S. **Emergy analysis of the new Bolivian-Brazil gas pipeline (gasbol), emergy synthesis – Proceedings of the first biennial emergy analysis research conference.** Gainesville, Florida, ed. Mark T. Brown, c.5 p.53-70. 2000.
- SILVA, C.C. **Estudo de caso de sistemas de tratamento de efluentes domésticos com o uso de indicadores ambientais.** 110p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Paulista, São Paulo, 2006. Disponível em <http://www.advancesincleanerproduction.net/papers/dissertations/silva_cc.pdf> acesso em 01.08.2011.
- SMA 2007. Secretaria de Estado do meio ambiente. **Parecer técnico referente à análise do cprn/daia da implantação da central de tratamento de resíduos leste.**
- SWEENEY, S.; COHEN. M.J.; KING, D.M.; BROWN, M.T. **Creation of a global emergy database for standardized national emergy synthesis.** In: Biennial emergy reaserach conference, 4., 2006, Gainesville, Proceedings, University of Florida Press, 2006. P.213-241.
- TAKAHASHI, F. **Desenvolvimento de ferramentas computacionais para avaliação energética de sistemas agrícolas.** Unicamp, 2007. Disponível em <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/>> acesso em 12.09.2010.
- ULGIATI, S.; BROWN, M.T. **Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions: the case of electricity production.** Journal of Cleaner Production, 10(2002)335-348.