

CONTABILIDADE E DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS USANDO OS VALORES DOS RECURSOS EXPRESSOS EM EMERGIA.

Enrique Ortega
Departamento de Engenharia de Alimentos
Universidade Estadual de Campinas, CP 6121
13083-970 Campinas, SP, Brasil.
E-mail: <ortega@fea.unicamp.br>

INTRODUÇÃO

Neste trabalho resume-se o método de avaliação dos recursos usados em um sistema produtivo em termos de **Emergia** e a forma de fazer a contabilidade em **emdólares** ou **dólares emergéticos**. Usam-se os conceitos básicos da metodologia emergética expostos no livro de referência escrito por H.T. Odum, em 1996 [10] e aproveitamos parte de um texto curto escrito recentemente pelo mesmo autor para atualizar os conceitos e a nomenclatura emergética e disponibilizado na Internet (Odum, 2001). Para facilitar a compreensão do método fornecemos os dados da produção de soja no Brasil (Ortega, Miller, Anami, 2001) e damos as instruções para fazer, passo a passo, os cálculos de emergia e interpretar os índices emergéticos.

Na economia convencional, o preço de um produto corresponde aproximadamente à somatória das despesas realizadas com insumos, mão-de-obra e outro tipo de serviços mais a margem de lucro desejada. Em certa forma **o preço econômico mede o trabalho humano agregado, porém não considera a contribuição da natureza na formação dos insumos utilizados nem o custo das externalidades negativas no sistema regional nem as despesas resultantes da exclusão social gerada pelo empreendimento e pagas pela sociedade local**. A metodologia emergética (Odum, 1996) se propõe medir todas as contribuições (moeda, massa, energia, informação) em termos equivalentes (emergia), para tal faz uso da Teoria de Sistemas, da Termodinâmica, da Biologia e de novos princípios do funcionamento de sistemas abertos que estão sendo propostos por diversos pesquisadores, entre eles o da hierarquia universal de energia e o da auto-organização e estabelecimento do maior fluxo possível de energia disponível no sistema.

De acordo com Odum (2001), **se levarmos em conta o princípio da hierarquia universal de energia, válido em todo tempo e lugar, o trabalho, incluindo o que se realiza na economia, pode ser comparado em uma base comum, expressando os produtos e os serviços em unidades de emergia**. Desse mesmo trabalho extraímos algumas definições:

- **Emergia é a energia disponível** (exergia) de um mesmo tipo, por exemplo, energia solar equivalente, **que foi previamente requerida**, em forma direta ou indireta, **para produzir um certo produto ou serviço**.
- **A emergia mede a riqueza real**.
- **A qualidade de alguma coisa é medida por sua emergia por unidade**, podendo a base unitária ser: massa, energia, dinheiro, informação, área ou região, pessoa, país, biosfera.
- **A emergia por pessoa mede o nível de vida**.
- **A emergia por unidade monetária mede a capacidade de compra** de riqueza real e é uma taxa que se usa para converter os fluxos de emergia em fluxos de emdólares, seu valor econômico equivalente. As razões **[emergia/dinheiro em circulação]** variam muito entre as nações e esse fato ajuda a aumentar a falta de equidade no comércio internacional de recursos e investimentos.

Considerando que, **quanto maior é o trabalho da natureza na produção de recursos, menor é seu preço devido a sua abundância**, de maneira geral, **a riqueza real dos recursos ambientais é inversamente proporcional aos custos monetários**, assim sendo o preço em dinheiro não representa o valor do trabalho incorporado no recurso.

Por outro lado, a energia expressada em emdólares consegue indicar a verdadeira contribuição da natureza e da economia humana no recurso. Existe outra situação possível: quando os recursos do ecossistema passam a ser escassos, o preço aumenta e nesse caso a pressão da demanda poderá por em risco a sustentabilidade do recurso. As políticas públicas, independentemente do tamanho do sistema e do local, podem ter êxito, aumentando ao máximo os emdólares ou o fluxo de energia. Em outras palavras, isso significa que ***o trabalho da natureza deve ser reconhecido e corretamente valorizado no mercado.*** O dinheiro extra obtido assim poderá ser empregado para ajudar a repor o que foi extraído, manter a fertilidade e conseguir a sustentabilidade. Todos os componentes do sistema devem ser beneficiados, especialmente a parte que sustenta a produção e, não somente, a parte do consumo. ***Os valores expressados em energia ou emdólares representam os verdadeiros valores dos recursos, sejam estes naturais ou antrópicos.*** Convém discutir essa idéia com as pessoas para que elas comecem a acostumar-se com os novos conceitos de contabilidade sócio-ambiental (Odum 2001).

O cálculo e o uso de energia e emdólares é ilustrado aqui com uma avaliação da produção de soja, com dados de 1999 e 2000, com dados do Brasil. Incluímos um **glossário dos termos usados** (Apêndice A) e dos conceitos e definições empregados, expressados em forma de **equações** (Apêndice B) que fazem parte do recente trabalho de Odum (2001).

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Um século de esforços para usar a energia ou o trabalho na avaliação de alternativas [4] falhou porque todos os tipos de energia foram vistos como medidas equivalentes do trabalho útil. Foram tentativas valiosas, porém prematuras que desconsideraram fatos importantes. Em 1967, Odum (1996) começou a usar o termo **“energia incorporada”** para denotar as calorias (ou Joules) de um tipo de energia necessário para produzir outro tipo de energia, porém esse mesmo nome foi usado por outros investigadores para conceitos que eram diferentes, pois utilizavam formas diferentes de raciocínio e de cálculos. Para diferenciar o método ecossistêmico - energético, em 1983, Howard T. Odum e David Scienceman escolheram um novo nome, **energia** (escrito com “m”), desde então, muitos grupos científicos ao redor do mundo, em artigos e livros, passaram a usar o termo energia com o significado de **“memória da energia”** de um certo tipo, usada para fazer outra.

CONCEITOS

Se consideramos que há energia disponível em tudo aquilo que é reconhecido como um ente na Terra (e no Universo), inclusive a informação, a energia poderia ser usada para avaliar a riqueza real em uma base comum. ***Para resolver o problema de agregar as calorias de tipos diferentes de energia, poderia usar-se a energia,*** que reconhece e mede a hierarquia universal de energia. Para reconhecer a qualidade e funcionalidade diferente de cada tipo energia, que depende do trabalho prévio de geração desse recurso pensou-se em um ***fator de conversão de energia.*** A energia de um tipo, transformadas em uma unidade de energia de outro tipo, se chama-se **transformidade**.

De acordo com Odum (2001) ***o estabelecimento de uma hierarquia para aproveitar a energia disponível e realizar trabalho sistêmico deve ser considerada como a 5ª lei da energia.*** Os sistemas da natureza e a humanidade são partes de uma hierarquia de energia universal e estão imersos em uma rede de transformação de energia que une os sistemas pequenos a grandes sistemas e estes a sistemas maiores ainda. ***A transformidade mede a qualidade de energia e sua posição na hierarquia de energia universal.***

Os diagramas de fluxos de energia mostram apenas os elementos importantes para o funcionamento do sistema, desde os fluxos simples ou de menor intensidade, à esquerda, aos maiores e mais complexos, à direita. A energia disponível (energia potencial ou exergia)

é transformada, em um processo iterativo, em uma energia de quantidade menor, porém de maior qualidade, a qual será aproveitada em uma próxima etapa do sistema.

A **auto-organização do sistema**, evidenciada por seus laços de retroalimentação, reforça o funcionamento das estruturas primárias (à esquerda no diagrama) fornecendo energias de maior qualidade vindas dos elementos no topo da cadeia trófica (à direita no diagrama) buscando o aumento da captação de energia do sistema (laço auto-catalítico).

As calorias de energia de tipos diferentes não são equivalentes em sua contribuição de trabalho útil. Por exemplo, requerem-se, de forma direta e indireta, aproximadamente 1.000.000 calorias de luz solar para fazer uma quilocaloria de matéria orgânica (dispersa em um amplo espaço); 40.000 calorias solares para produzir uma quilocaloria de carvão; 170.000 calorias para fazer uma caloria de eletricidade e 10 milhões ou mais para suportar uma caloria de trabalho humano. Quanto maior a escala, maior a qualidade da energia, porém menor a quantidade. Há menos energia, porém mais energia por unidade nas coisas valiosas. Os números maiores de densidade emergética correspondem à informação genética. Assim, a energia de algo é a energia disponível (energia potencial, exergia) de certo tipo que é usada para fazê-lo. Por exemplo, a energia solar requerida se chama **energia solar**.

Para não confundir a energia que existe em um produto com a que é usada para fazê-lo, as unidades de energia são denominadas, em joules (sej). Na metodologia emergética costuma-se usar a energia de insolação solar como a medida comum. E são usadas transformidades solares, em outras palavras: energia solar por unidade de energia, e **as unidades da transformidade solar são emjoules solares por Joule** (sej/J).

De acordo com Odum (2001) como as pessoas não pensam em unidades de energia, é recomendado o uso de seu equivalente econômico denominado emdólar, obtido através da razão [energia/dinheiro] da economia local. Os emdólares indicam o dinheiro circulante cujo poder de compra está estabelecido pelo uso de uma quantidade de energia. **Os emdólares são equivalentes de energia.** Eles são estimados a partir da energia e vice-versa, usando proporções de energia/dinheiro da economia estudada. A relação energia/dinheiro da biosfera é avaliada como 1.1×10^{12} sej/\$ em 2000 [1] e se determina que 70% da riqueza real do mundo provém dos recursos não renováveis e apenas 30% das forças sustentáveis (sol, marés e calor da terra).

USO DA METODOLOGIA EMERGÉTICA EM POLÍTICAS PÚBLICAS

A energia pode ser vista como a medida correta de riqueza real, porque **os sistemas que sobrevivem na natureza e na economia são aqueles que se auto-organizam para aumentar ao máximo o fluxo de energia, em cada uma das etapas, de seu sistema.** Odum (2001) diz que este princípio que denominamos "Máxima emPotência" é uma **forma nova do princípio da máxima potência de Alfred Lotka, postulado como a 4ª Lei da Energia [3].** Hoje os seres humanos podem ainda se dar o luxo de avaliar seus produtos e serviços com valores do mercado, porém a longo prazo, considerando o sistema maior da sociedade e da biosfera, eles serão forçados, por tentativa e erro e/ou pelo entendimento da lógica de funcionamento do sistema global, a organizar suas idéias e ações para maximizar a potência emergética ou emPotência dos ecossistemas e da Biosfera. **Para determinar se algo faz uma contribuição líquida à economia, deve colocar-se tudo em unidades de energia solar.** Somente assim, é possível comparar corretamente o rendimento do sistema com relação ao investimento do setor econômico. As políticas públicas podem promover o ajuste entre a economia e o meio ambiente escolhendo as alternativas que aumentam ao máximo a produção e o uso de energia (ou emdollars).

PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE ENERGIA

O primeiro passo para conhecer um sistema é identificar seus componentes principais, as entradas e saídas. Depois disso pode desenhar-se um diagrama para mostrar as partes em forma simbólica e os caminhos seguidos pelos massa e a energia (Figura 1).

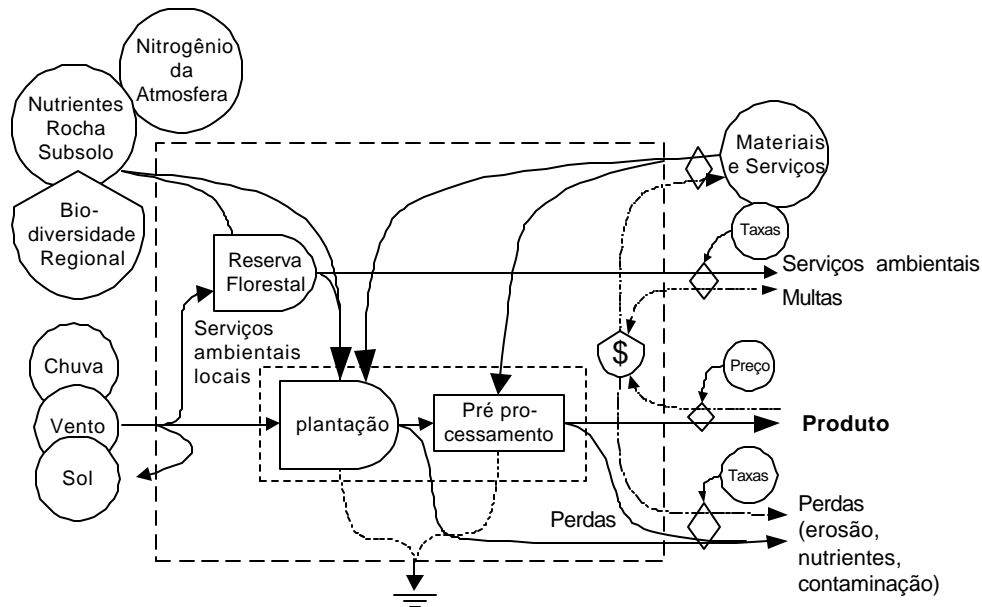


Figura 1. Diagrama de fluxos de energia do sistema.

Pouco a pouco foram desenvolvidos os símbolos básicos para representar os componentes dos sistemas nos diagramas. Esses símbolos estão sendo utilizados de forma ampla desde 1965 e seu uso tem sido explicado em vários livros [5, 6, 11].

Contribuições da natureza: $I = R + N$

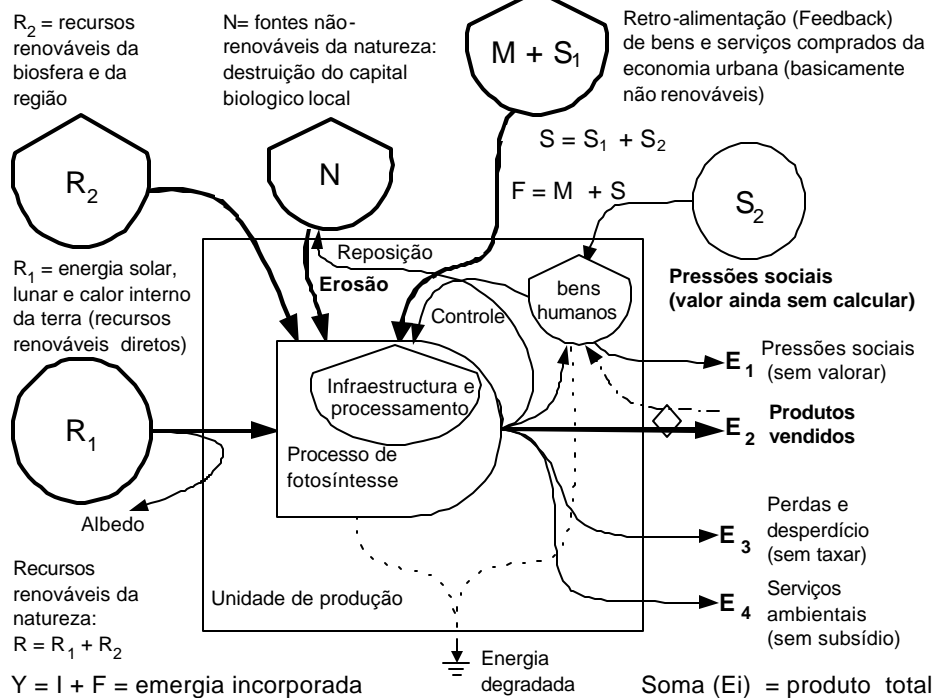


Figura 2. Diagrama resumido do sistema.

É necessário colocar no diagrama os limites do sistema para identificar todos os fluxos de entrada importantes que cruzam as fronteiras do sistema escolhido.

Se há algum recurso armazenado (estoque ou reserva de energia) dentro dos limites do sistema que pode proporcionar bens ou serviços úteis deve ser vista como uma fonte de energia. Essa fonte é usada e repostada na mesma taxa não precisa ser considerada na análise pois os fluxos estão em equilíbrio (fonte renovável). Porém se ela é utilizada a uma taxa maior que a taxa de reposição, então estará atuando como uma fonte não renovável. Ela é colocada no diagrama e é incluída como uma linha de entrada dentro da tabela.

Cada um destes fluxos se converte em uma linha curva que vai desde a fonte de energia até o componente ou os componentes que a utilizam. Depois, cada fluxo converte-se em uma linha de cálculo na tabela de avaliação de energia (Tabela 2).

Esquema de organização de uma tabela de cálculo dos fluxos de energia.

Nota	Nome das contribuições	Números	Unidades	Transformidade	Fluxo de energia
R:	Recursos da natureza renováveis				
N:	Recursos da natureza não-renováveis				
M:	Materiais da economia				
S:	Serviços da economia				

A coluna #1 fornece a **nota de pé-de-página** onde se dão os detalhes do cálculo.

A coluna #2 contém os **nomes** das diversas entradas do sistema.

A coluna #3 tem o **valor numérico** de cada fluxo de entrada.

- Para fazer uma avaliação do sistema em estado estacionário (equilíbrio dinâmico), são necessários os valores anuais das contribuições da natureza e da economia humana. Essas entradas são colocadas nas suas unidades usuais para materiais (gramas ou quilogramas), para energia (Joules), para dinheiro (\$), etc.
- Devem incluir-se os fluxos necessários para manter as estruturas e armazenamentos internos de recursos.
- Para calcular os valores correspondentes a depreciação dos bens usamos valores médios: os valores das inversões iniciais são divididos pela duração estimada dos bens adquiridos.

A coluna #4 contém o **valor da transformidade** ou energia por unidade (g, J, \$).

Este valor foi obtido de estudos anteriores e consta na fonte de informação citada para essa linha na nota ao pé da página.

Na coluna #5 são colocados os **fluxos de energia**.

- São os produtos da multiplicação dos fluxos de entrada (em unidades/área/tempo) da coluna 3, pelos valores de energia/unidade da coluna 4.
- valor obtido corresponde ao fluxo de energia ou potencial emergético, que é expressado em emjoules solares por ano.
- No caso dos serviços, acostuma-se colocar-se estas entradas em unidades de dinheiro/área/tempo. O procedimento de cálculo é o seguinte: o dinheiro é convertido em dólares segundo a taxa de câmbio em dólares do país, depois este valor é multiplicado pela proporção de energia/dinheiro [sej/4] característico da economia do país para o ano.

Na coluna #6, são colocados os fluxos de **emdólares anuais** (em\$/área/ano).

Para cada linha da tabela, o valor do fluxo de energia é dividido pela razão energia/dinheiro da economia do país. As razões de energia/dinheiro são obtidas pela avaliação da energia dos países. Algumas destas avaliações foram publicadas de forma completa [10], e, em outras publicações, são apresentadas tabelas dos valores da proporção (energia/dólar) de vários países [5, 13, 14]. Os cálculos da razão energia/US\$ consideram os principais recursos usados na economia do país.

Table 1. Environmental inputs, services and output, factor in accordance with area.

Renewable Natural Resources								
R1	Rain	kg/ha/year	1.5x 10⁶	1.0	1.5x 10⁶	1.0	1.5x 10⁶	1.0
R2	Nutrients from rocks	kg/ha/year	1	1.0	3	1.0	10	1.0
R3	Nitrogen from atmosphere	kg/ha/year	181	0.8	181	0.8	181	0.8
R4	Sediments (rivers)	kg/ha/year	0.5	0.2	0.5	0.2	0.5	0.2
R5a	Forest products: seeds	kg/ha/year	0	0.2	0	0.2	10	0.2
R5b	Forest products: food	kg/ha/year	0	0.2	0	0.2	100	0.2
R5c	Forest products: biomass	kg/ha/year	0	0.2	0	0.2	2000	0.2
R6a	Forest services: water	kg/ha/year	0	1.0	0	1.0	12	1.0
R6b	Forest services: leisure	US\$/ha/year	0	1.0	0	1.0	3.3	1.0
R6c	Forest services: biocontrol	US\$/ha/year	0	0.8	0	0.8	50	1.0
R7	People incorporation	men/ha/year	0	0.8	0	0.8	3.3x 10⁻³	0.8

Sources:

R1 IBGE, 2001.

R2 value estimated by authors based on Buckmann (1983) and IPT (1986).

R3 value estimated by authors based on Dobereiner (1999).

R4 general value estimated by authors.

R5a value estimated by authors based on Silva (1997) and Ahrens (1997).

R5b and R5c values estimated by authors.

R6 values estimated by authors based on annual cost of pesticides per hectare of other options.

R7 value estimated by authors (one job increased each 300 hectares). The farmers which adopted chemical and herbicide options generally do not obey legislation that demand to preserve 20% of area as forest. Organic producers need the benefits of forest and usually preserve it.

Non Renewable Natural Resources

N1	Soil loss	kg/ha/year	12500	0.8	1500	0.8	1000	0.8
N2	Biodiversity loss	kg/ha/year	100	0.8	19	0.8	0	0.8
N3	People loss	US\$/ha/year	49.7	0.8	50.7	0.8	0	0.8

Sources:

N1 Correia, L. <http://www.cnps.embrapa.br/search/planets/coluna14/coluna14.html> (23/10/2001).

N2 value estimated by authors.

N3 value estimated by authors (to be confirmed in future studies).

Note	Flows	Units	Chemical		Herbicide		Organic	
Materials (Economy resources)								
M1	Farmer seeds	kg/ha/year	0	0.8	0	0.8	10	0.8
M2	Certified seeds	kg/ha/year	70	0.8	0	0.8	70	0.8
M3	Transgenic seeds	kg/ha/year	0	0.8	85	0.8	0	0.8
M4	Limestone	kg/ha/year	1000	0.8	1000	0.8	0	0.8
M5	Nitrogen fertilizer	kg/ha/year	0	0.8	0	0.8	0	0.8
M6	Phosphate fertilizer	kg/ha/year	150	0.8	250	0.8	150	0.8
M7	Potassium fertilizer	kg/ha/year	150	0.8	100	0.8	50	0.8
M8	Inoculating agent	kg/ha/year	1.7	0.8	1.7	0.8	0.2	0.8
M9	Herbicides	kg/ha/year	4.3	0.8	8.3	0.8	0	0.8
M10	Insecticides	kg/ha/year	1.8	0.8	1.8	0.8	1.0	0.8
M11	Formicides	kg/ha/year	1.0	0.8	1.0	0.8	0	0.8
M12	Fungicides	kg/ha/year	0.2	0.8	0.2	0.8	0	0.8
M13	Petroleum fuels	kg/ha/year	70	0.8	80	0.8	75	0.8
M14	Steel (depreciation) *	kg/ha/year	2.7	0.8	2.7	0.8	1.3	0.8
M15	Manure (20% humidity)	kg/ha/year	0	0.8	0	0.8	2667	0.8
M16	Phosphoric rock powder	kg/ha/year	0	0.8	0	0.8	0	0.8

Services (Economy resources)

S1	Manpower (hard worker)	hours/ha/year	3.2	0.8	0	0.8	145	0.8
S2	Manpower (operator)	hours/ha/year	3.2	0.8	0.8	0.8	2.0	0.8
S3	Administrative labor	US\$/ha/year	4.3	0.8	4.3	0.8	4.3	0.8
S4	Technical assistance	US\$/ha/year	2.9	0.8	2.9	0.8	10	0.8
S5	Accounting labor	US\$/ha/year	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
S6	Trips costs	US\$/ha/year	0.4	0.8	0.4	0.8	0.4	0.8
S7	Governmental taxes	US\$/ha/year	13.6	0.8	13.6	0.8	9.5	0.8
S8	Circulating capital costs	US\$/ha/year	5.0	0.8	5.0	0.8	5.0	0.8
S9	Insurance costs	US\$/ha/year	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0	0.8
S10	Transport cost	US\$/ha/year	6.8	0.8	6.8	0.8	6.8	0.8
S11	Drying & storage cost	US\$/ha/year	14.3	0.8	14.3	0.8	14.3	0.8
S12	Social security taxes	US\$/ha/year	13.6	0.8	13.6	0.8	12.8	0.8
S13	Land leasing	US\$/ha/year	0	0.8	0	0.8	0	0.8

Sources:

Chemical and Herbicide options: FNP, 1999.

Organic: Agrorgânica, 2000 and FNP, 1999.

* Value estimated by authors (weight of tractors and area of use).

Additional Services (inclusion of externalities)

S20	government subsidy	US\$/ha/year	0	0.8	0	0.8	0	0.8
S21	effluent treatment	US\$/ha/year	20	0.8	10	0.8	0	0.8
S22	health treatment and risks	US\$/ha/year	20	0.8	50	0.8	10	0.8

Source: values estimated by authors (to be confirmed in future studies).

Production data

P1	Soybean	kg/ha/year	2800		2800		2000	
P2	Price	US\$/kg	0.220		0.220		0.290	
P3	Sales	US\$/ha/year	616.00		616.00		580.00	
P4	Humidity	kg water/kg	0.18		0.18		0.18	
P5	Conversion factor	kcal/kg	4428		4428		4428	
P6	Conversion factor	J/kcal	4186		4186		4186	
P7	Energy of product	J/ha/year	5.2×10^{10}		5.2×10^{10}		3.7×10^{10}	
P8	Emergy of dollars	sej/ha/year	2.3×10^{15}		2.3×10^{15}		2.1×10^{15}	

Sources: Chemical options: FNP, 1999. Organic: Agrorgânica, 2000 and FNP, 1999.

ÍNDICES DE EMERGIA

Os índices emergéticos são calculados com os resultados da tabela de avaliação de fluxos de energia e são utilizados para fazer as inferências da análise emergética.

O primeiro índice é a **transformidade**, este valor **avalia a qualidade do fluxo de energia** e podemos compará-lo com as transformidades de outras formas de energia e outros sistemas. A transformidade solar (**solar transformity**) do recurso gerado por um sistema é obtida dividindo a energia requerida entre a energia do produto ou serviço.

Para conhecer o benefício líquido, calcula-se a **razão de rendimento emergético** (**emergy yield ratio**) que é obtida dividindo a energia do produto pela energia das entradas que provém da economia (Y/F na Figura 3). **Esta proporção indica se o processo pode competir com outros no fornecimento de energia primária para a economia** (conjunto de consumidores - transformadores humanos). Nos últimos anos, a razão Y/F para os combustíveis fósseis (fontes muito competitivas) era da ordem de 6 por 1 ou maior. Conclui-

se então que os processos, que rendam menos que isso, não compensam serem utilizados como fontes de energia primária.

Para prever se o uso de recursos da economia (despesas investidas) em um projeto terá uma boa contrapartida de recursos naturais (até hoje gratuitos), calcula-se a **razão de investimento de energia** (emergy investment ratio). Ela mede a proporção de energia retro-alimentada do setor econômico em relação às entradas de energia do ambiente (F/I na Figura 3). Esta razão indica quão econômico é o processo ao usar os investimentos da economia em comparação com outras alternativas. **Para ser econômico, o processo deve ter um valor de (F/I) similar à de outras atividades da região.** Se ele exige-se mais da economia que as outras alternativas terá menos chances de subsistir. Se demanda pouco da economia, a razão (F/I) será menor e, portanto, seus custos serão menores, o que lhe dá condições de competir, prosperar no mercado e aumentar sua inversão.

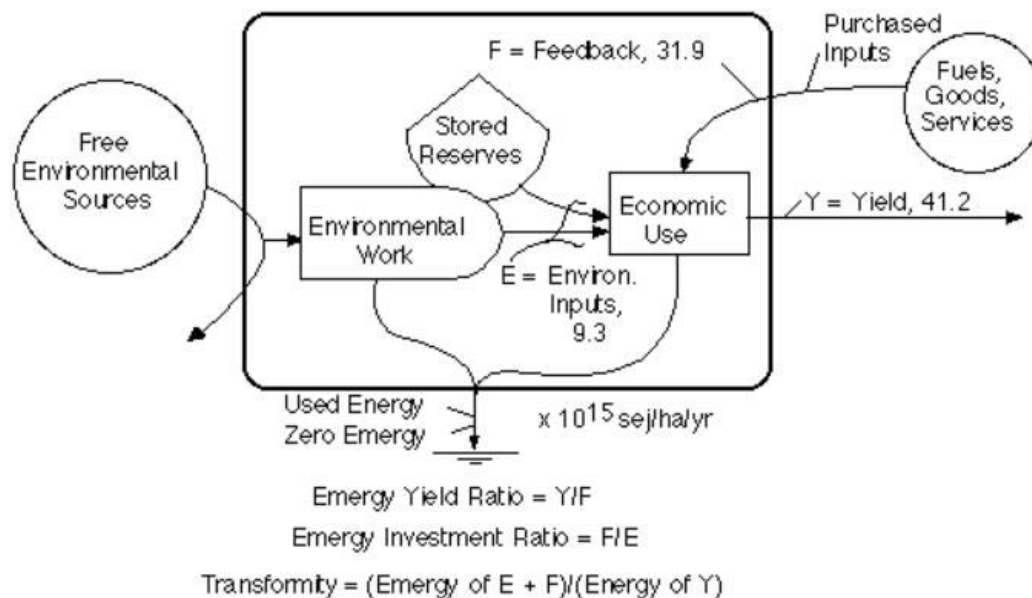


Figure 2. Diagram of the interface between environment and economy with definitions of emergy indices. Numerical values are given for the annual emergy used in shrimp mariculture calculated from Table 1.

A **razão de intercâmbio de energia** (emergy exchange ratio), o EER, é a proporção de energia recebida em relação com a energia entregada em uma transação comercial. As matérias-primas, tais como minerais e os produtos rurais provenientes da agricultura, pesca e silvicultura, tendem a ter um valor alto de EER, quando são comprados a preço de mercado. O dinheiro somente paga os serviços humanos e não o extenso trabalho realizado pela natureza, que contribui na obtenção destes produtos.

Um fluxo de energia pode ser um benefício ou uma perda; dependendo da área e da escala consideradas, pode representar uma perda para uma área e benefício a outra. Um fluxo de energia pode ter um certo benefício em uma área pequena e um benefício bastante diferente quando visto em um sistema maior.

Por exemplo: os combustíveis fósseis, dependendo de sua concentração e preço, proporcionam de 3 a 15 vezes mais energia que a energia da economia invertida na sua extração e processamento, já os produtos florestais rendem 2 a 4 vezes sua inversão em energia e os produtos agrícolas variam entre 1.1 a 2. Quando o valor é muito próximo de

1.00, significa que não há rendimento de energia líquida, já que a razão de produção emergética é:

$$\text{EYR} = Y/F = (R+N+F) / F$$
$$\text{EYR} = 1.0 + [(R+N) / F] = 1.0 + (I / F)$$

Por exemplo, para a produção de cana-de-açúcar 1.2 5, para a produção de etanol o valor é 1.15,, no caso de madeira de florestas varia entre 2 e 4 (destes números podem-se obter conclusões interessantes).

Para fazer comparações das contribuições de energia líquida, pode-se usar a porcentagem de energia líquida:

$$\%EL = (\text{EYR}-1)100.$$

Pode ser usada a energia para avaliar os intercâmbios internacionais em uma base de referência comum. Cabe dizer que há uma grande falta de equidade no intercâmbio da riqueza real (energia) no comércio internacional. As nações desenvolvidas ao comprar matérias-primas de países menos desenvolvidos conseguem um saldo de energia a seu favor, pois a energia dos dólares usados no intercâmbio é muito menor que a contida nas matérias-primas adquiridas.

$$\text{EER} = Y / [\text{produção} * \text{preço} * (\text{energia/US\$})]$$

Se for possível fazer uma análise completa de um sistema que produz um bem ou um serviço pode-se calcular sua renovabilidade emergética (sustentabilidade), empregamos a razão entre a energia dos recursos renováveis usados e a energia total usada no sistema.

$$\%R = (R / Y)*100.$$

As nações desenvolvidas possuem índices de renovabilidade baixos e aos países ditos subdesenvolvidos razões altas de renovabilidade. Devido ao intercâmbio desigual de energia ocorre uma transferência da riqueza ambiental (subsídio de sustentabilidade real) das nações pouco industrializadas aos países industrializados compradores das matérias-primas.

EXEMPLO DE AVALIAÇÃO DE ENERGIA: SOJA

Idealmente, um novo modelo de desenvolvimento sócio-econômico deve contribuir para a riqueza de todos os componentes, sejam físicos ou antrópicos, sem favorecer um às custas de outro. Maximizar apenas os benefícios de um não permitirá maximizar o fluxo total da riqueza e a produtividade do sistema. Nem este desenvolvimento será sustentável [10].

Os diagramas sistêmicos de fluxos de energia, Figuras 1 e 2, mostram as partes e os processos usando a linguagem simbólica. Os diagramas mostram as relações causais. As partes menores nunca são omitidas intencionalmente. Elas podem ser agregadas a outros itens para manter a apreciação global simples. Os fluxos de entrada correspondem às linhas na tabela de avaliação de energia (ver tabela 1). Os círculos fora do marco retangular que define os limites do sistema são fontes de recursos externos, materiais e serviços, os símbolos com forma de tanque são usados para indicar depósitos e armazenamentos, os blocos pontiagudos são usados para representar interações de mais de um insumo ou fator em processos produtivos. A hierarquia dentro de cada diagrama é representada pela posição de símbolos com escala crescente de território abarcado e tempo de reposição da esquerda para a direita. Os interessados em aprofundar seu conhecimento neste campo podem consultar diversos livros que oferecem exemplos do uso de símbolos, equivalentes matemáticos e programas para simulação em computador [3,12].

Os fluxos de energia são avaliados na tabela 1, agrupados em três rubricas: contribuições ambientais (E), materiais e serviços comprados da economia local (F), e

produtos do sistema em estudo. Os fluxos anuais de energia (empotencia) da coluna 5 são colocados nas linhas dos fluxos de energia correspondentes, fora do retângulo que delimita o sistema, veja o diagrama da Figura 1.

Table 2. Table of energy flows

Note	Flows	Units	sej/ unit	R.	Chemical	Herbicide	Organic
Renewable Natural Resources					7.48E+14	7.56E+14	1.31E+15
R1	rain	kg/ha/year	9.10E+07	1	1.37E+14	1.37E+14	1.37E+14
R2	nutrients from rocks	kg/ha/year	3.60E+12	1	3.60E+12	1.08E+13	3.60E+13
R3	nitrogen from atmosphere	kg/ha/year	4.20E+12	1	6.08E+14	6.08E+14	6.08E+14
R4	sediments (rivers)	kg/ha/year	1.00E+12	1	1.00E+11	1.00E+11	1.00E+11
R5a	forest products: seeds	kg/ha/year	1.43E+12	1	0	0	2.86E+12
R5b	forest products: food	kg/ha/year	1.43E+12	1	0	0	2.86E+13
R5c	forest products: biomass	kg/ha/year	1.00E+11	1	0	0	4.00E+13
R6a	forest services: water	kg/ha/year	9.10E+07	1	0	0	1.09E+09
R6b	forest services: leisure	US\$/ha/year	3.70E+12	4	0	0	1.22E+13
R6c	f.s.: biological control	US\$/ha/year	3.70E+12	4	0	0	1.85E+14
R7	people incorporation	men/ha/year	9.61E+16	2	0	0	2.56E+14
Non Renewable Natural Resources					8.46E+14	2.36E+14	5.34E+13
N1	soil loss	kg/ha/year	6.67E+10	1	6.67E+14	8.01E+13	5.34E+13
N2	biodiversidade loss	kg/ha/year	3.90E+11	1	3.12E+13	5.93E+12	0
N3	people loss	US\$/ha/year	3.70E+12	4	1.47E+14	1.50E+14	0
Natural Resources					1.59E+15	9.92E+14	1.36E+15
Materials from Economy					1.16E+15	2.10E+15	6.42E+14
M1	farmer seeds	kg/ha/year	1.43E+12	1	0	0	1.14E+13
M2	certified seeds	kg/ha/year	1.43E+12	1	8.01E+13	0	8.01E+13
M3	transgenic seeds	kg/ha/year	1.43E+13	2	0	9.72E+14	0
M4	limestone	kg/ha/year	1.00E+12	1	8.00E+14	8.00E+14	0
M5	nitrogen fertilizer	kg/ha/year	3.80E+12	1	0	0	0
M6	phosphate fertilizer	kg/ha/year	2.60E+11	1	3.12E+13	5.20E+13	3.12E+13
M7	potassium fertilizer	kg/ha/year	1.10E+11	1	1.32E+13	8.80E+12	4.40E+12
M8	inoculating agent	kg/ha/year	2.47E+13	1	3.35E+13	3.35E+13	3.95E+12
M9	herbicides	kg/ha/year	1.48E+12	3	5.09E+12	9.83E+12	0
M10	insecticides	kg/ha/year	1.48E+12	3	2.13E+12	2.13E+12	1.18E+12
M11	formicides	kg/ha/year	1.48E+12	3	1.18E+12	1.18E+12	0
M12	fungicides	kg/ha/year	1.48E+12	3	2.37E+11	2.37E+11	0
M13	petroleum fuels	kg/ha/year	3.32E+12	1	1.86E+14	2.12E+14	1.99E+14
M14	steel (depreciation) *	kg/ha/year	1.80E+12	1	3.89E+12	3.89E+12	1.87E+12
M15	manure (20% humidity)	kg/ha/year	1.45E+11	2	0	0	3.09E+14
Services (Economy resources)					1.93E+14	1.87E+14	3.6E+14
S1	manpower (hard worker)	hours/ha/y	1.43E+12	1	3.66E+12	0	1.66E+14
S2	manpower (operator)	hours/ha/y	1.43E+12	1	3.66E+12	9.15E+11	2.29E+12
S3	administrative labor	US\$/ha/y	3.70E+12	4	1.27E+13	1.27E+13	1.27E+13
S4	technical assistance labor	US\$/ha/y	3.70E+12	4	8.58E+12	8.58E+12	2.96E+13
S5	accounting labor	US\$/ha/y	3.70E+12	4	2.37E+12	2.37E+12	2.37E+12
S6	trips costs	US\$/ha/y	3.70E+12	4	1.18E+12	1.18E+12	1.18E+12
S7	governmental taxes	US\$/ha/y	3.70E+12	4	4.03E+13	4.03E+13	2.81E+13
S8	circulating capital costs	US\$/ha/y	3.70E+12	4	1.48E+13	1.48E+13	1.48E+13
S9	insurance costs	US\$/ha/y	3.70E+12	4	2.96E+12	2.96E+12	2.96E+12
S10	transport (to storage) cost	US\$/ha/y	3.70E+12	4	2.01E+13	2.01E+13	2.01E+13
S11	drying & storage cost	US\$/ha/y	3.70E+12	4	5.91E+13	5.91E+13	5.91E+13
S12	social security taxes	US\$/ha/year	3.70E+12	4	4.03E+13	4.03E+13	3.79E+13

Additional services (externalities)				1.18E+14	1.78E+14	2.96E+13
S20	government subsidy	US\$/ha/year	3.70E+12	4	0	0
S21	effluent treatment	US\$/ha/year	3.70E+12	4	5.92E+13	2.96E+13
S22	health treatment and risks	US\$/ha/year	3.70E+12	4	5.92E+13	1.48E+14
Economy Feedback				1.35E+15	2.28E+15	1.00E+15
Total Economy Feedback				1.47E+15	2.46E+15	1.03E+15
Total Energy				3.06E+15	3.45E+15	2.39E+15

Transformity references

1. Odum. H. T. 1966. Environmental Accounting. Emery and Decision Making. John Wiley. N.Y.
2. Value estimated by authors.
3. Brown. M; & Arding J. 1991. Transformities working paper. Center for Wetlands. Univ. of Florida.
4. Coelho. O.F.; Ortega. E.; Comar. V. 1997. Balanço de Emergia do Brasil (1981.1989.1996). Gainesville. In "Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável". In printing.

Tabela 3. Índices de Emergia
Emergy analysis of Soybean Production in Brazil (27/10/2001)

Flows	Chemical	Herbicide	Organic
R =	7,48E+14	7,56E+14	1,31E+15
N =	8,46E+14	2,36E+14	5,34E+13
I =	1,59E+15	9,92E+14	1,36E+15
M =	1,16E+15	2,10E+15	6,42E+14
S =	1,93E+14	1,87E+14	3,6E+14
F =	1,35E+15	2,28E+15	1,00E+15
Y =	2,94E+15	3,27E+15	2,36E+15
Indices	Chemical	Herbicide	Organic
Tr = Y/E	56598	62968	63810
EYR = Y/F	2,18	1,43	2,36
EIR = F/I	0,85	2,30	0,74
ELR = (N + F)/R	2,93	3,33	0,81
%R = R/Y	0,25	0,23	0,55
EER = Y/(Sales* Tr)	1,28	1,42	1,12
Sales US\$/ha =	616,00	616,00	638,00
Costs US\$/ha =	325,67	356,81	278,99
Liquid Revenue =	290,33	259,19	359,01
Profitability =	0,89	0,73	1,29
Income/Farm =	87099	777570	11668
Worker hours/ha/y =	6,4	1,6	147,0
Workers/ha =	0,00219	0,00055	0,05034
Country area (ha) =	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07
Farms (aprox.) =	40000	4000	369231
Employment =	26301	6575	604110
Farm area (ha) =	300	3000	32,5

Depois de serem agregados por tipo de fluxo, os valores são somados e divididos pela área dos estanques, a seguir os valores dos fluxos de emergia anual por hectare (sej/há/ano) são colocados no diagrama resumido do sistema mostrado na Figura 2. O valor total dos emdólares expressados em dólares americanos do ano 2000 era 2,147 em \$ por hectare por ano, quatro vezes o valor do custo econômico. Que significa isso?

Os índices de emergia da Tabela 2 foram calculados com os valores totais da Figura 2. As taxas de rendimento (EYR) são pequenas, ao contrário da agricultura industrializada. As taxas de inversão (EIR) estão ao redor da metade dos índices dos Estados Unidos (7.0), porém para o Equador indicam níveis altos de intensidade econômica e impacto ambiental.

As transformidades de **soja** tem valores similares às fontes de proteína animal (carne, cordeiro).

Falta de equidade no comércio internacional

Com esse tipo de comércio a economia da Comunidade Européia se enriquece e o padrão de vida aumenta, por outro lado o padrão de vida das pessoas que anteriormente usavam a zona agrícola do Brasil diminui proporcionalmente.

Os benefícios e as perdas:

Um fluxo de riqueza real, avaliado como emergia, pode ser um benefício ou uma perda, dependendo da escala de observação. Neste trabalho, analisamos a emergia da agricultura da soja, considerando vários pontos de vista (Tabela 3).

Valores de emergia/unidade

Como foi ilustrado com o exemplo da avaliação de **soja** (Figuras 1 e 2 e Tabela 1), nas avaliações de emergia, primeiro se obtém os dados de materiais, energia e o dinheiro (usando as unidades usuais para cada tipo de fluxo: g, J, dólar) e depois se multiplicam estes valores pelo *valor unitário de emergia* (emergia/energia ou transformidade, emergia/dinheiro, emergia/massa, emergia/indivíduo, emergia/bit, etc.). Cada tabela de avaliação de emergia gera valores de emergia/unidade para os produtos do sistema. Por exemplo, as transformidades para a **soja** usadas na Tabela 2 foram obtidas da Tabela 1.

Dados sobre transformidades

Em um livro recente [10] fornecem-se tabelas com valores de transformidade, e outros valores de emergia/unidade, e outros estão sendo congregados em um Manual de Avaliação de Emergia organizado em fôlios [13,14]. Há outros procedimentos para estimar a emergia por unidade incluindo os dez citados no livro de 1996 [10]. Entre eles o método de Tennenbaum [19xx], o método de Murray Patterson modificado por Collins [2], um novo método proposto por Odum [15]. Trata-se de um parâmetro biofísico importante, a transformidade mede a posição do produto na hierarquia universal de energia e, assim sendo, mede uma propriedade da geobiosfera e, porque não, do Universo.

Apêndice B. GLOSSÁRIO. *(Elaborado a partir de um trabalho de Campbell de 1996 [10]).*

Auto-organização – O processo que os sistemas usam para desenvolver estrutura e organização usando a energia disponível.

Diagramas de sistemas que usam os símbolos dos circuitos de energia – Visão geral de sistemas que representa as partes e conexões de qualquer sistema, incluindo os fluxos e armazenamentos de materiais, energia, informação e dinheiro (Figura 4).

Ecologia de sistemas – O campo científico que vem da união da teoria dos sistemas e da ecologia e que proporciona uma visão global para análise dos fluxos de energia nos sistemas biológicos.

Energia (escrita com "m") – Toda a energia disponível que foi usada, direta ou indiretamente, na fabricação de um produto, expressada em unidades de um tipo de energia disponível.

Emjoule – A unidade de emergia; um Joule de energia disponível de um certo tipo de energia previamente usada para fazer um produto ou serviço.

Energia – Uma propriedade de todos os sistemas, que pode ser convertida em calor e medida em unidades de calor (Calorias, BTU, Joules).

Energia disponível – Energia com potencial para realizar trabalho (exergia).

Energia líquida (Net Energy)– O rendimento de energia de um recurso depois de subtrair toda energia usada no processo de obtenção do recurso.

Energia solar – A energia solar necessária, direta e indiretamente, para fazer um produto ou serviço. As unidades são emjoules solares (abreviado sej ou semj) ou emcalorias solares (abreviado secal ou semcal).

Escala imediata superior – Os espaços territoriais mais grandes ocupados pelas unidades com tempo de substituição maior que devem ser considerados na determinação da conduta de um sistema devido a supremacia que as unidades maiores exercem sobre as unidades e os processos de menor escala. (Veja hierarquia energética).

Exergia – Energia disponível que se usa no processo.

Hierarquia de energia – A convergência e transformação de energia de muitas pequenas unidades em quantidades menores de energia de alto nível (de pequenas a unidades maiores) com maior capacidade de interagir e controlar as unidades menores.

Índice de intercâmbio de energia – o quociente energia recebida/energia paga existente na troca de bens, comércio, compras e outros intercâmbios.

Índice emergético de inversão (Emergy Investment Ratio) – A proporção de energia de fora atraída por uma área devido ao uso econômico da energia dos recursos ambientais, locais, gratuitos, em processos de interação de ambos os tipos de energia.

Índice de energia líquida (Emergy Yield Ratio) – A proporção obtida ao dividir a energia incorporada no produto pela energia requerida para processá-la.

Maximização da Emergia – O processo pelo qual o princípio da máxima potência opera dentro de um sistema para selecionar, entre os componentes disponíveis e interações, a combinação que resulta na maior circulação de energia no sistema.

Princípio da Máxima EmPotência (Maximum EmPower) – A auto-organização elege modelo de rede com retroalimentação que consegue maximizar a em-potência. É uma forma de expor o princípio da máxima potência para reconhecer que cada nível, na hierarquia natural de energia, se auto-organiza com o mesmo princípio, ao mesmo tempo.

Princípio da Máxima Potência (Maximum Power) – Uma explicação de Alfred Lotka e outros pesquisadores para explicar a auto-organização observada nos sistemas (transformações de energia, padrões hierárquicos, laços de controle por retroalimentação, ações de amplificação, etc.). Lotka observou que prevalecem os sistemas cuja estrutura e organização consegue aproveitar mais energia disponível e usá-las de forma mais eficiente que as demais alternativas.

Produto Econômico Bruto – O valor de mercado de todos os bens e serviços produzidos em uma economia em um ano (PNB).

Reforço- A ação de uma unidade ou processo de reforçar a produção e sobrevivência de outra unidade ou processo, contribuindo em seu desempenho e bem-estar, um laço de interação de reforço mútuo.

Riqueza – Termo ambíguo que necessita um adjetivo para distinguir riqueza monetária (estado de ser rico com dinheiro) de riqueza real (estado de ser rico em energia).

Riqueza real – as entidades e fluxos que contém energia disponível (exergia) capaz de depreciar-se (perder valor de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica); produtos e serviços utilizáveis. Exemplos: comida, combustíveis, concentrações de materiais, casas, organismos, informações, terra, trabalho humano e controles.

Segunda lei da Termodinâmica – Princípio que diz que as concentrações de energia se dispersam espontaneamente, e que em todas as transformações de energia alguma parte da energia disponível se dispersa durante o processo.

Tempo de substituição ou renovação – O tempo necessário para que um fluxo de certa energia substitua uma quantidade guardada do mesmo tipo de energia. Por exemplo, um fluxo de 10 litros de água por dia substituirá um tanque de 1000 litros de água em 100 dias.

Transformidade (Transformity) – A energia de um tipo necessária para fazer uma unidade de energia de outro tipo. Exemplo: requerem-se três Joules de carvão um emjoule de serviços para gerar um Joule de eletricidade, a transformidade da eletricidade obtida a partir de carvão é quatro emjoules por um Joule.

Transformidade solar – a energia por unidade de energia, expressada em emjoules solares por Joule (sej/J).

Uso sustentável – O modo de usar os recursos que pode ser continuado pela sociedade a longo prazo porque a intensidade do uso e o sistema de aproveitamento permite renovar os recursos em processos naturais ou ajudados pelo homem.

Valor do doador – Um valor de um produto determinado pelo processo da produção e não o que uma pessoa está disposta a pagar (exemplos, massa e energia da madeira).

Valor em emdólares – Dólares do Produto Nacional Bruto (PNB) obtidos dividindo a energia de um produto pela taxa correta de energia/dólar. Dólares do PNB equivalentes à riqueza medida em unidades de energia.

Apêndice B. EQUAÇÕES. *As definições e conceitos em forma de equação. Os termos e equações estão detalhados em um artigo recente [11].:*

Energia, uma medida do valor ou a riqueza real. Define-se como a soma da energia disponível de um dado tipo que se usa previamente, de forma direta e indireta, nas entradas de contribuições ambientais, materiais e serviços da economia necessária para produzir um produto ou serviço. A unidade é o emjoule. Nos artigos científicos recentes é usada a energia solar (sem) e como unidade o emjoule solar (abreviação: sej).

Empower ou **Empotencia** (J_{ems}) é o fluxo de energia por unidade de tempo (emjoules solar por ano, abreviação: sej/ano).

$$\text{Fluxo de energia solar} = J_{ems} = \sum (T_{rs1} * J_{e1} + T_{rs2} * J_{e2} \dots T_{rsi} * J_{ei})$$

Donde: T_{rs} = transformidade solar

J_e = fluxo de energia disponível

$$T_{rs} = J_{ems} / J_e$$

Transformidade é a energia por unidade de energia disponível (energia por exergia). Exemplo: a transformidade solar é expressa em emjoules solares por Joule (emjoule/J). A transformidade é a unidade intensiva de energia que mede a qualidade de energia [6].

$$T_{rs} = J_{ems} / J_e$$

Energia por unidade de massa, é útil onde os dados estão em unidades de massa.

$$T_m = J_{ems} / J_m$$

Onde J_m é um fluxo de massa

Energia/dinheiro ($E_{ms}/\$$) é uma medida do poder de compra da riqueza real do dinheiro calculada para um estado ou nação em um dado ano. É útil quando os dados dos serviços humanos estão em unidades de dinheiro.

$$E_{ms}/\$ = J_{ems} / J_{\$}$$

Emdólares (abreviação: $Em\$$) – os dólares do produto econômico bruto (PNB) correspondentes a uma dada contribuição de energia.

$$Em\$ = E_{ms} / (E_{ms}/\$)$$

Índice de energia líquida (*Net energy ratio*) é a razão da energia capturada no produto do sistema (Y_{em}) na relação com a energia das entradas retro-alimentadas pela economia (F_{em}). Esta razão mede a contribuição líquida transferida à economia ou perdida por ela.

$$\text{NER} = Y_{em}/F_{em}$$

Índice de inversão emergética (*Emergy Investment Ratio*) é a razão entre a inversão em entradas compradas à economia (F_{em}) dividida pela emergia ambiental gratuita (I_{em}). É uma medida da viabilidade econômica. Esta proporção é baixa quando a fonte ambiental proporciona mais, de tal forma que os custos ambientais sejam baixos.

$$\text{EIR} = F_{em}/I_{em}$$

Referências citadas:

- [1] Brown, M.T. and S. Ulgiati. 1999. Emergy evaluation of the biosphere and natural capital AMBIO 28(6): 468-493.
- [2] Collins, D. and H.T. Odum. 2001. Calculating transformities with an eigenvector method. pp. 265-279 in Emergy Synthesis, ed. by M.T. Brown, Center for Environmental Policy, Univ. of Florida, Gainesville, in press.
- [3a] Lotka, A.J. 1922. A contribution to the energetics of evolution. Proc. National Academy of Sciences, U.S., 8:147-155.
- [3b] Lotka, A.J. 1925. Physical Biology. Williams and Wilkins, Baltimore, MD.
- [4] Martinez-Alier, J. 1987. Ecological Economics. Basil Blackwell, NY, 286 pp.
- [5] Odum, H.T. 1971. Environment, Power, and Society. John Wiley, NY, 336 pp.
- [6] Odum, H.T. 1983. Systems Ecology. John Wiley, NY, 644 pp; revised in 1994. Ecological and General Systems: An Introduction to Systems Ecology. Univ. Press of Colo., P.O. Box 849, Niwot, 80544.
- [7] Odum, H.T. 1988. Self organization, transformity, and information. Science 242:1132-1139.
- [8] Odum, H.T., E.C. Odum, and M. Blissett, eds. 1987. Ecology and Economy: Emergy Analysis and Public Policy in Texas. LBJ School of Public Affairs and Texas Dept. of Agriculture, Policy Research Publication No. 78, Univ. of Texas, Austin, 178 pp.
- [9] Odum, H.T. and J.E. Arding. 1989. Emergy Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador. Working paper, Coastal Resources Center, Univ. of Rhode Island, Narragansett, 111 pp.
- [10] Odum, H.T. 1996. Environmental Accounting, Emergy and Decision Making. J. Wiley, NY, 370 pages. ISBN-471-11442-1.
- [11] Odum, H.T. 2000. Emergy evaluation of an OTEC electrical power system. Energy 25:3989-3993.
- [12] Odum, H.T. and E.C. Odum. 2000. Modeling for All Scales, An Introduction to Simulation. Academic Press, San Diego CA, 458 pp.
- [13] Odum, H.T., M.T. Brown, and Sherry Brandt-Williams. 2000. Introduction and Global Budget, Folio #1, Handbook of Emergy Evaluation. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, 16 pp.
- [14] Odum, H.T. 2000. Emergy of Global Processes, Folio #2, Handbook of Emergy Evaluation, Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, 30 pp.
- [15] Odum, H.T. 2001. An Emergy Hierarchy Law for Biogeochemical Cycles. pp. 235-247 in Emergy Synthesis, ed. by M.T. Brown, Center for Environmental Policy, Univ. of Florida, Gainesville, in press.
- [16] Walsh, J.J. 1981. A carbon budget for overfishing of Peru. Nature 290(5804):300-394.