

Introdução à EMERGIA¹

Sustentabilidade é um termo que engloba aspectos sociais, econômicos e ambientais. Para avaliá-la em sistemas silviculturais, técnicas de medição que abordem apenas um de seus aspectos podem não obter o devido êxito ao tentar relacionar algum desses aspectos com os demais. Assim, fatores econômicos e não-econômicos devem ser levados em consideração, demandando a visão sistêmica (TELLARINI e CAPORALI, 2000). Estudos abordando o manejo para cenário ótimo econômico e ambiental (DIAZ-BALTEIRO e RODRIGUEZ, 2006) e melhorias nas condições ambientais das florestas manejadas (RANIUSA et al., 2005) têm sido desenvolvidos. Ainda, com os esforços para relacionar economia e ecologia vêm proliferando os conceitos que quantificam a eficiência ecológica. Essa eficiência, de acordo com DeSimone e Popoff (1997), é a obtenção de produtos e serviços que satisfaçam a necessidade humana com preços competitivos diminuindo o impacto ambiental durante o ciclo de vida dos produtos. Em geral, há uma ampla concordância de que a prosperidade econômica em curto prazo, simultaneamente ao desenvolvimento sustentável, representa um objetivo inconsistente (BASTIANONI et al, 2001). De fato, o desenvolvimento tem sido fundamentalmente baseado no uso de recursos não-renováveis devido à influência econômica na tomada de decisão (HALL, 2004), onerando os outros aspectos da sustentabilidade dos sistemas, estrutura social e condições ambientais (BRUNTLAND COMMISSION REPORT, 1987).

A ponderação entre o consumo de recursos naturais e a lucratividade econômica estimula a busca da lucratividade através da melhoria ambiental (SHIREMAN, 1999). Existe um crescente reconhecimento que a viabilidade econômica em longo prazo e a proteção ambiental são compatíveis. Por exemplo, a adoção voluntária às normas internacionais para sustentabilidade, tais como as da série ISO 14000 e certificações ambientais, surgiu como uma forma de os produtores demonstrarem o comprometimento deles com um desempenho ambiental adequado. À medida que a demanda por práticas ambientalmente corretas cresce, indicadores e sistemas de medição de sustentabilidade se tornaram ferramentas vitais (ESTY e CHERTOW, 1997). A maioria das ferramentas para quantificar a sustentabilidade para a comparação de processos e alternativas operacionais envolve indicadores baseados em fluxos de energia e material (DESIMONE e POPOFF, 1997).

Energia é normalmente referida como a habilidade de realizar trabalho, baseada no princípio físico que trabalho requer entrada de energia. Ela é medida em unidades de calor (J, cal, BTU) ou movimento molecular, sendo que o grau desse movimento resulta em expansão e é quantificado em graus de temperatura. A energia de calor é uma boa medida da habilidade de elevar a temperatura da água, porém, não é uma boa medida para processos de realização de trabalho mais complexos. Ao mesmo tempo em que toda forma de energia pode ser convertida em calor, não se pode afirmar que as calorias ou joules de uma forma de energia são equivalentes à outra forma na capacidade de realizar trabalho (ODUM, 1996).

¹ Capítulo extraído de Romanelli, T. L. Sustentabilidade energética de um sistema de produção da cultura de eucalipto. Tese de Doutorado, ESALQ/USP. Piracicaba, 2007. 121 p.

Trabalho pode ser conceituado como um processo de transformação de energia onde uma ou mais formas de energia são “processadas” para a obtenção de outra forma (Figura 1). Os símbolos da linguagem energética, na qual os diagramas são apresentados estão presentes no Anexo A.

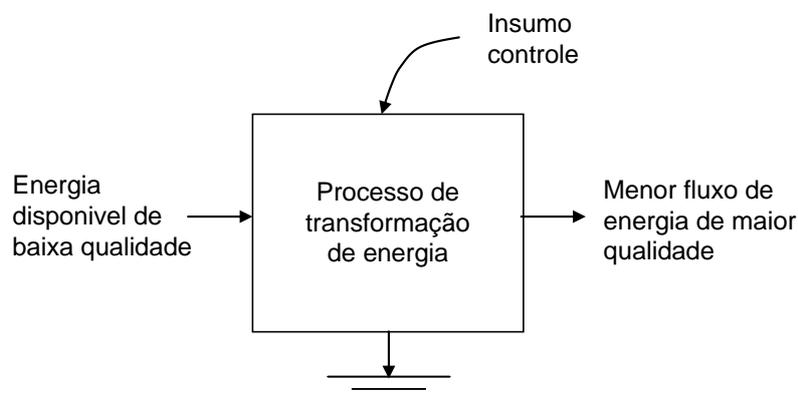


Figura 1 – Qualidade de energia em um processo de transformação energética (ODUM, 1996)

H.T. Odum (ODUM, 1988) introduziu o conceito de *emergia*² para contabilizar apropriadamente a qualidade dos fluxos de matéria, energia e informação dentro de sistemas, incluindo a degradação devido às perdas da segunda lei da termodinâmica (ODUM, 1988). A *emergia* contabiliza o serviço ambiental³ que suporta diretamente o processo na convergência desses produtos e serviços através da cadeia de transformações de energia e material em espaço e tempo (ODUM, 1996; BROWN e ULGIATI, 2004). Assim, a avaliação de todos os fluxos que entram e saem do sistema (processo denominado de síntese emergética) possibilita que se avalie a demanda de recursos do sistema como um todo, para um determinado esquema de produção, incluindo insumos direta ou indiretamente utilizados. Uma revisão introdutória sobre a metodologia de síntese de *emergia* está presente no Anexo B.

Por definição, *emergia* é a quantidade de energia disponível (*exergia*), de um tipo (geralmente solar), que é direta ou indiretamente demandada para propiciar um dado fluxo ou estoque de energia ou material. Por exemplo, a matéria orgânica no solo florestal representa a convergência da energia solar direta e indireta, condições climáticas (precipitação e vento), direcionando os processos da floresta por muitos anos o que resulta em camada sobre camada de detritos que lentamente são decompostos em matéria orgânica. A unidade da *emergia* é o *emjoule* solar (abreviado como *sej*) para se diferenciar dos joules de energia (J). Quando a *emergia* demandada para produzir um produto ou serviço é expressa como uma razão à energia disponível (*exergia*) no produto, essa razão resultante é o valor unitário de *emergia* (solar) – abreviado *UEV* (*unit emery value*) e expressos em *emjoules* solares por unidade de fluxo (*sej* unidade⁻¹). A razão de *emergia* por unidade de energia (*sej* J⁻¹) é ainda chamada de *transformidade* e a *emergia* por massa ou

² *Emergia* escrito com m para denotar a memória da energia.

³ Serviço ambiental se refere ao suporte direto (insolação, evapotranspiração potencial, pluviosidade, fertilidade do solo) e indireto (dissipação de poluentes, capacidade de armazenamento de água no solo) que o ambiente propicia ao sistema de produção analisado.

volume (sej g^{-1} , sej m^{-3}) é chamada de energia específica (ODUM, 1996). Para fins de simplificação, no presente estudo, o termo UEV será adotado para expressar a relação da energia demandada pela exergia, massa ou volume do produto em questão.

A qualidade da energia é relacionada com concentração, flexibilidade, facilidade de transporte e capacidade de conversão. Assim, o conceito de qualidade requer um novo conceito de energia que reconheça que todas as formas de energia não têm a mesma capacidade de realizar trabalho (ODUM, 1996).

A síntese de energia atende a esses requisitos como um meio quantitativo de medir qualidade uma vez que ela representa a energia requerida direta e indiretamente para obter um produto ou serviço, porém expressa em uma mesma forma de energia, geralmente energia solar, por ser a mais difusa e de menor UEV. O valor de energia unitária da energia solar é, conceitualmente, equivalente a 1 sej J^{-1} .

Uma vez que as atividades econômicas são moldadas não somente por regras econômicas, mas também por restrições ambientais, o uso da energia é atrativo porque relaciona os sistemas econômico e ambiental, compensando objetivamente a inaptidão do dinheiro em atribuir valor para insumos não regulados pelo mercado. A metodologia de energia é cientificamente adequada e compartilha dos rigores da termodinâmica, além de propiciar uma base comum para comparar o uso de recursos e uma visão holística à consciência ambiental na tomada de decisão. Assim, a síntese de energia pode quantificar a contribuição do capital natural para sustentar a atividade econômica (HAU e BAKSHI, 2004).

A energia está de acordo com primeira e segunda leis da termodinâmica. A quantidade de energia é mantida durante todas as transformações do processo (Figura 2) enquanto que a UEV aumenta ao longo da cadeia. Por exemplo, a energia disponível no consumidor terciário é 1 J e ele, consumidor, demandou 1 milhão de joules de energia solar. Uma vez que 1 J de energia solar equivale a 1 sej, sua UEV é $1E6^4$ sej J^{-1} . Os drenos de energia (*heat sink*) representam a energia perdida devido à entropia durante as transformações uma vez que cada transformação degrada energia (ODUM, 1996).

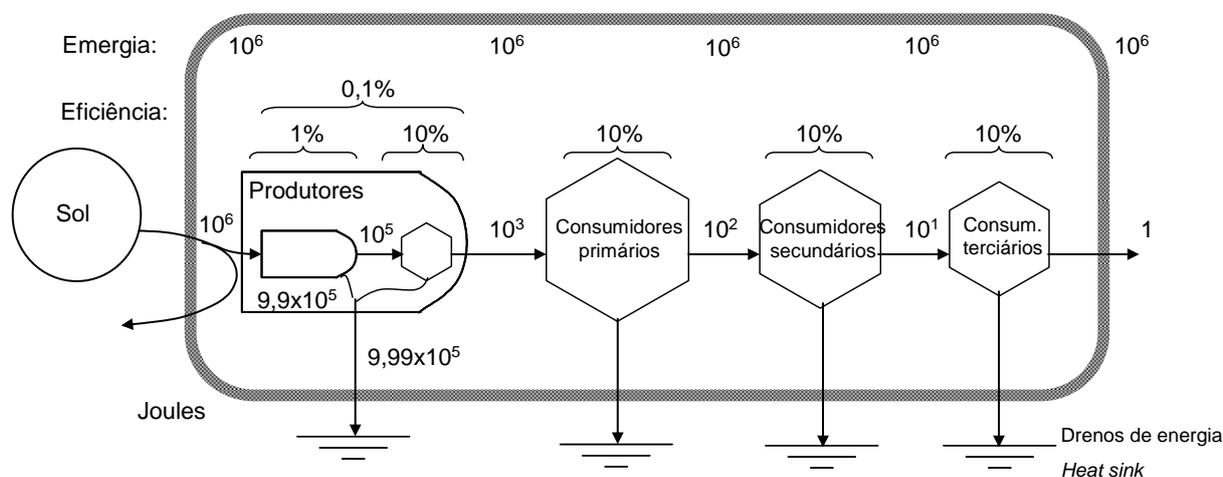


Figura 2 – Relação entre energia e exergia ao longo de uma cadeia produtiva

⁴ $1E6$ corresponde a 1×10^6 .

O diagrama sistêmico (Figura 3) mostra as contribuições ambientais não-renováveis (N), os insumos ambientais renováveis (R) e os insumos, produtos e serviços, adquiridos no mercado (F). Alguns índices que são utilizados para avaliar o desempenho geral de um processo, de acordo com Odum (1996) são mostrados na Figura 3.

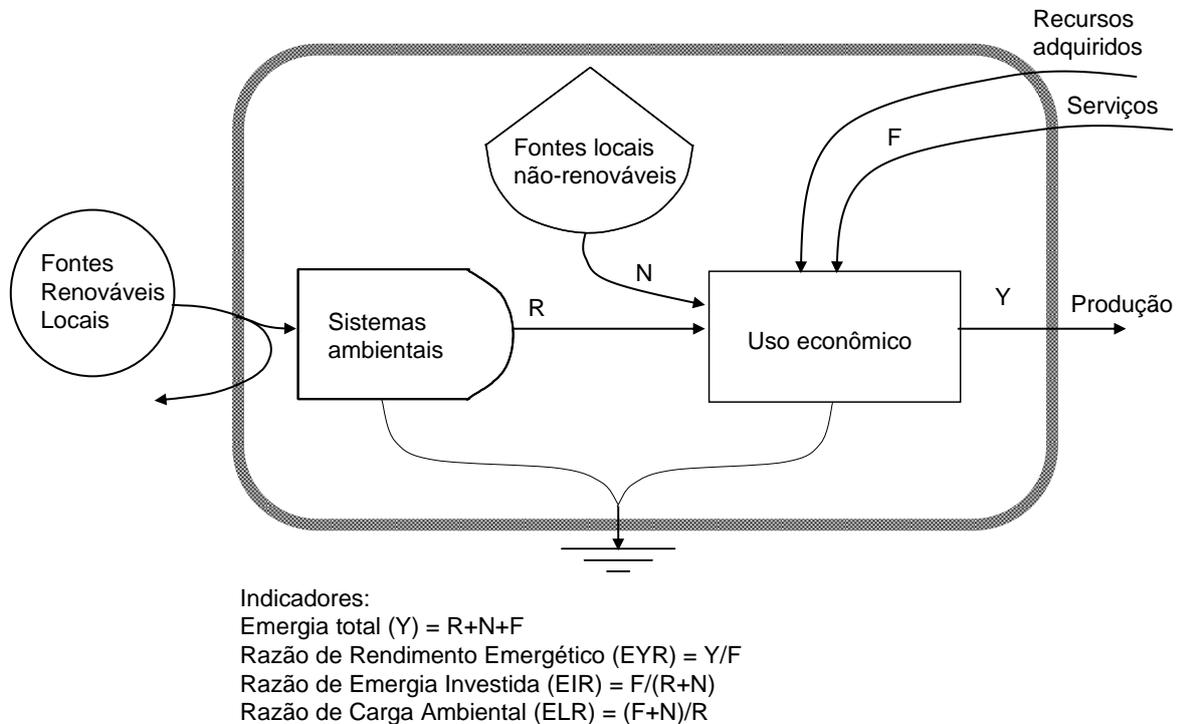


Figura 3 – Diagrama sistêmico agregando os fluxos de energia e os índices de energia resultantes (adaptado de BROWN e ULGIATI 1997)

O UEV de um produto é uma medida termodinamicamente explícita de eficiência ambiental, uma vez que relaciona um dado produto ou serviço com o serviço ambiental requerido para a sua produção. Assim, ao se comparar processos distintos de produção de um mesmo produto, como biomassa para celulose, a alternativa com menor UEV é a opção mais sustentável.

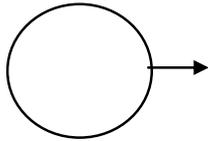
Ao estudar a energia requerida por opções de reflorestamento em Porto Rico, Odum et al. (2000) avaliaram a estrutura acumulada de áreas florestadas usando o total de matéria orgânica, sobre e sob o solo, como medida do capital natural. Seis alternativas foram analisadas em função do tempo para calcular o comparativo de eficiência de reflorestamento. Todas as opções geraram benefício público líquido (relação benefício/custo variou de 2,6:1 a 24,7:1) e as UEVs variaram de 3,2E4 a 10,8 E4 sej J⁻¹. Os autores concluíram que as melhores alternativas dependem dos objetivos, condições locais e disponibilidade de recursos, demonstrando que esforços para acelerar a sucessão florestal através do manejo são justificados. Diversos processos produtivos de biomassa (madeira) em diferentes partes do mundo, com ciclos variando de 4 a 140 anos, foram comparados por Doherty (1995). Em seu estudo, as UEVs para produção de biomassa variaram de 1,13E4 a 5,56 E4 sej J⁻¹, entre diferentes espécies. Especificamente para eucalipto, o

autor determinou a energia demandada na Flórida, EUA, em um plantio de *Eucalyptus spp.* + *Melaleuca spp.*, obtendo uma UEV de 2,71 E4 sej J⁻¹ para madeira colhida.

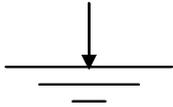
Existem diversos estudos comparando manejos de diferentes métodos de cultivo, como período de rotação, alternativas de reflorestamento e manejo de uso múltiplo (DOHERTY, 1995; ODUM et al., 2000; TILLEY e SWANK, 2003). Porém, os processos operacionais de manejo das florestas estudadas por esses autores são relativamente padronizados. Portanto, existe uma grande necessidade de estudos em plantios comerciais que comparem as demandas de fluxos de energia e material de técnicas operacionais. Esses estudos devem objetivar a sustentabilidade dentro dos limites operacionais das alternativas viáveis. Estudos sobre a eficiência no uso de recursos e análises de sensibilidade são comumente empregadas em avaliações de benefício e custo econômicos, mas raramente para se comparar a sustentabilidade de processos.

Anexo A – Símbolos da linguagem energética.

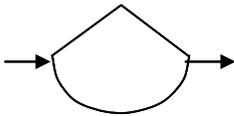
Traduzido e adaptado de Brown et al. (1995).



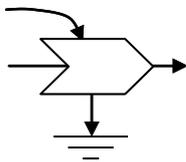
Fonte de energia externa — fornece fluxo de energia de fora do sistema



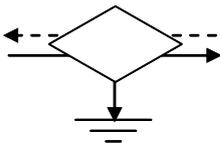
Dreno — drena a energia degradada após transformação ou realização de trabalho



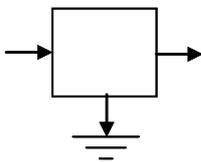
Estoque de energia — estoca e fornece fluxos de energia



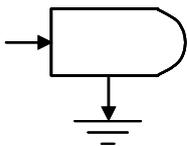
Interação de energia — requer duas ou mais formas de energia para produzir um fluxo de energia de alta qualidade



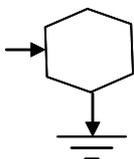
Transação energia x dinheiro — fluxo de dinheiro em troca de energia



Propósitos gerais — para qualquer sub-unidade necessária, é rotulado para indicar uso.



Unidade produtora — converte e concentra energia solar, auto-sustentável; detalhes podem ser mostrados no interior do símbolo.



Unidade consumidora — utiliza energia de alta qualidade, auto-sustentável; detalhes podem ser mostrados no interior do símbolo.

Anexo B – Introdução á metodologia de emergia

Nesse anexo, baseado e adaptado de Odum (1996) são abordados os aspectos básicos da energia em sistemas para mostrar como o trabalho da natureza e sociedade podem ser avaliados em uma base comum (emergia) de tal forma a selecionar alternativas que obtiveram sucesso.

1. Introdução a sistemas de energia

As estruturas e estoques que operam o mundo (fatores antropogênicos e ambientais) são mantidos contra ação da segunda lei da termodinâmica nos insumos utilizados na manutenção das atividades demandadas. Maximizando os produtos e serviços para crescimento e manutenção parece ser um princípio de estratégia de auto-organização como mostrado por Alfred Lotka como o Princípio da Potência Máxima (*Maximum Power Principle*).

2. Hierarquia energética

A auto-organização desenvolve uma rede de transformações de energia em uma série. Na Figura 2 é chamada atenção para uma típica rede de energia transformando os componentes como a discutida na Figura 1. Da esquerda para a direita a quantidade total de energia diminui, mas a qualidade aumenta (no sentido de que mais transformações de energia são requeridas na formação). Uma vez que os fluxos de energia convergem em cada passo para gerar fluxos de energia menores no passo seguinte, é uma hierarquia energética. Energia decresce da esquerda para a direita, mas a energia transformada aumenta sua habilidade de reforçar outras unidades do sistema. Uma vez que todos os processos conhecidos podem ser organizados uns com os outros em redes seriadas como a da Figura 2, a hierarquia de energia parece ser a lei universal. Como exemplos de cadeias de energia têm-se organismos, ecossistemas, economias e processos terrestres.

Trabalho é definido aqui como a energia disponível degradada em uma transformação de energia. Uma vez que muitos joules de energia disponível na esquerda são requeridos para fazer as sucessivas transformações para formar os poucos joules de energia disponível na direita, é quase inválido usar joules de uma forma de energia como equivalente a joules de outra forma para fins de avaliar contribuições (MARTINEZ-ALIER, 1987; ODUM, 1996). Todavia, podemos expressar cada tipo de energia disponível em unidades de um tipo de energia disponível.

3. Emergia

A emergia avalia o trabalho previamente realizado para se obter um produto ou serviço. Emergia é a medida de energia usada no passado e assim difere da medida de energia no presente. A unidade de emergia (uso de

energia disponível no passado) é em emjoules para distinguir dos joules usados para medir a energia disponível no presente. Scienceman descreve energia como a memória da energia (ODUM, 1986; ODUM, 1996; SCIENCEMAN, 1987 e SCIENCEMAN et. al., 1997). A síntese de um livro sobre os conceitos de energia está disponível (ODUM et al., 1998). Algumas definições estão sintetizadas na Tabela B.1

Tabela B.1. Energia e Definições relacionadas (Adaptado de ODUM, 1996)

| Termo | Conceito |
|--------------------|---|
| Energia disponível | Energia potencial capaz de realizar trabalho e de ser degradada no processo. (Unidades: quilocalorias, joules, BTUs, etc.) |
| Energia útil | Energia disponível usada para aumentar o sistema de produção e eficiência (unidades: joules, quilocalorias disponíveis, etc.) |
| Potência | Fluxo de energia útil por unidade de tempo (unidades: joules por tempo) |
| Energia | Energia disponível de um tipo previamente requerida direta e indiretamente para obter um produto ou serviço (unidades: emjoules, emquilocalorias, etc.) |
| Empotência | Fluxo de energia por unidade de tempo (unidades: emjoules por unidade de tempo) |
| Trabalho | Um processo de transformação de energia que resulta numa mudança de concentração ou forma de energia. |
| Transformidade | Energia por unidade de energia disponível de um tipo (emjoule por joule) |
| Energia Solar | Energia solar requerida direta e indiretamente para fazer um produto ou serviço (unidades: emjoule solar) |

Há um tipo diferente de energia para cada tipo de energia disponível. Por exemplo: energia solar é em unidades de solar emjoules, energia de carvão é em unidades de emjoules de carvão, e energia elétrica em unidades de emjoules de eletricidade. Não há energia degradada (energia sem capacidade de realizar trabalho). Como energia, energia é medida em relação ao nível de referência. Uma vez que a energia solar é a mais difusa e de menor valor, na maioria das avaliações tem-se expressado em unidades de energia solar (sej = solar emjoules).

4. UEV (unit energia value)

A UEV, chamada transformidade quando relacionada por joules, é definida com a energia (emjoules) de um tipo de energia disponível requerida direta e indiretamente (através das etapas demandadas) para gerar um joule de energia de outro tipo. Transformidade é a razão de energia para a energia disponível. Com as unidades sej J^{-1} , a transformidade não é uma razão adimensional. Dez formas distintas de calcular a transformidade foram sugeridas (ODUM, 1996). A forma mais comum é avaliar o sistema no qual o item de

interesse é o produto. A hierarquia de energia da biosfera começa com a abundante, porém diluída energia solar. A taxa global anual de energia foi calculada como a soma da energia solar, das marés e a geológica (*deep heat*) contribuindo as transformações superficiais expressadas em energia solar.

5 Energia e Matéria

Fluxos e estoques de matéria contêm energia disponível e energia. Transformações que concentram matéria requerem insumos de energia. Por exemplo, energia por massa de chumbo aumenta com a concentração de chumbo (ODUM et al., 1998). Para propósitos práticos de se calcular energia, é conveniente desenvolver tabelas de energia específica (energia por massa). McGrane (1998) avaliou materiais do ciclo terrestre. Ciclos biogeoquímicos tradicionais deveriam ser redesenhados para refletir a posição deles na hierarquia energética de acordo com energia específica deles. Ciclos de materiais convergem para centros hierárquicos e divergem novamente quando retornam mais diluídos ao ambiente. A contribuição de energia da terra pode ser analisada como a taxa de erosão vezes a transformidade do substrato geológico, que foi formado previamente.

6 Energia e informação

Informação, incluindo informação aprendida e genética apresentam transportadores de energia, tais como papel, memória de computador, ondas sonoras, que podem ser dispersos, depreciado e apresentar erros. Informação tem energia de acordo com a energia requerida para gerá-la e mantê-la. Informação é algo que requer menos energia para copiar do que para gerar uma nova. Embora copiar seja barato, manter a informação sem erro requer uma população de duplicatas e um processo cíclico de duplicação, dispersão, seleção e duplicação novamente. Alguém precisa reorganizar os milhares de diagramas de ciclo de vida animal e vegetal, histórias ensinadas em cursos de biologia em ordem das transformidades das etapas e avaliar a base energética deles. A transformidade da informação extraída (semente, código ou planta da casa) é maior que a mesma informação contida no sistema em que ela está operando (planta, computador, casa). Valores são maiores onde a informação é amplamente dividida (estratégia genética da vida, Bíblia). A energia de gerar nova informação dos precursores pode ser enorme, como na evolução.

7 Energia e sistemas de agregação

A análise de energia tem que adaptar a como os sistemas são agregados no diagrama sistêmico. Brown e Herendeen (1996) comparando metodologias de energia e energia apresentam algumas das regras:

1. Todas as fontes de energia são contabilizadas para avaliar o processo de obtenção de um produto;
2. Co-produtos apresentam toda a energia contabilizada também para si;

3. Em divisões (*splits*) o percentual de material em cada via é considerado; e
4. Energia não pode ser contada duas vezes (por exemplo, em retroalimentações ou quanto co-produtos são utilizados juntos).

Há certa indefinição sobre quando se considerar co-produto ou quando se considerar divisões em sistemas produtivos. Por exemplo, na produção de ovos, galinhas além de botá-los defecam que pode ter fins fertilizantes para horticultura, se ao produzir 10 ovos a galinha excrete 100 g de fezes, tendo consumido 1E5 sej, o conteúdo de energia atribuído será 1000 sej ovo⁻¹ e 100 sej g⁻¹ de fezes. Isso ocorre, pois são tratados como co-produtos, pois embora ambos apresentem nitrogênio na composição, as formas aminoácido e amônia, para ovos e fezes, respectivamente apresentam diferentes níveis de estruturação, logo não podem ser comparados. Numa hipótese em que ovo e fezes de galinha entrassem na composição de um dado produto, apenas a maior contribuição seria considerada para se evitar a dupla contagem.

Para o caso de divisões, pode-se citar o exemplo de madeira colhida para a produção de celulose e papel, embora toda a biomassa tenha a mesma composição galhos são destinados à geração de energia e tronco é destinado à obtenção de celulose, se 5% da biomassa representa os galhos, 5% do total de energia demandada é atribuída aos galhos e 95% ao tronco. Nesse caso, não há problema de dupla contagem.

Na síntese de energia o produto final sempre apresentará maior conteúdo de energia, ao passo que em análises de energia etapas intermediárias podem apresentar maior conteúdo (retroalimentação) o que viola a regra 4 da energia. A forma em que a energia procede não conserva o fluxo de energia, o que é um ponto de discordância à análise de energia.

Co-produtos são desenhados como uma ramificação tem o fluxo de produtos dividido em dois fluxos do mesmo tipo (mesma transformidade) dividindo energia e energia pelos mesmos percentuais. Co-produtos são somados se recombinados. Por exemplo, uma corrente pode se dividir à medida que flui por uma ilha, recombinando-se do outro lado. Subprodutos, desenhados com linhas separadas a partir da unidade de transformação, têm a mesma empotência, mas seus fluxos de energia são diferentes, bem como suas transformidades. Exemplos são carne e lã da criação de ovelhas, galhos e folhas na produção florestal. Cuidado deve ser tomado para não se contar duplamente a mesma energia caso esses fluxos se recombinem.

Anexo C – Determinação da base emergética global

Esse anexo é baseado em Odum (2000).

A Figura H.1 apresenta a esquematização das contribuições de energia das energias (solar, geotérmica e das marés) componentes da biosfera.

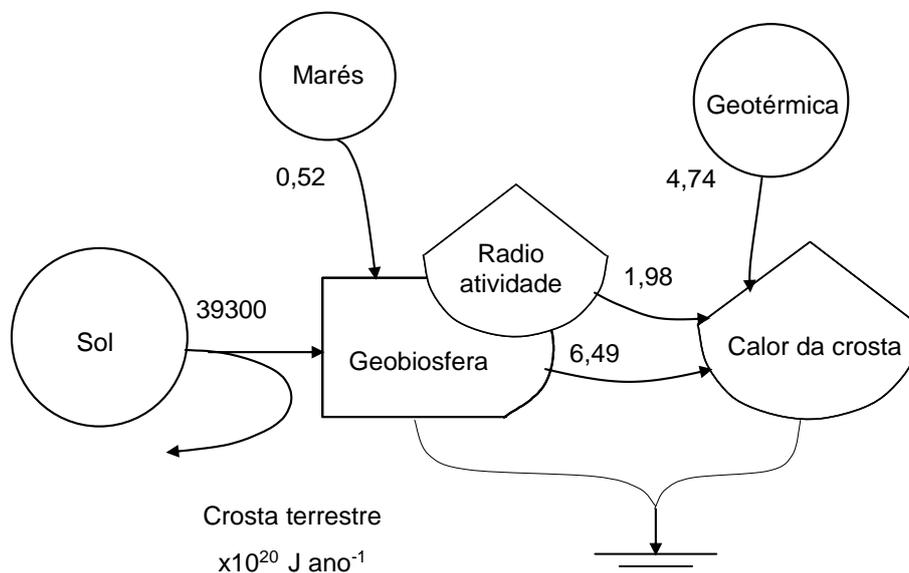


Figura C.1 – Esquema da contribuição natural à biosfera

A soma da energia solar com a energia das marés equivale a energia do calor gerado pelos processos da superfície. Como a energia é calculada multiplicando-se o conteúdo de exergia (J) pela transformidade do produto ou serviço. Assim, tem-se Equação H.1, que relaciona as proporções entre as transformidades da energia de marés e da geotérmica.

$$39330 \text{ E20 J ano}^{-1} * 1 \text{ sej J}^{-1} + 0,52 \text{ E20 J ano}^{-1} * \text{Trt} = 6,49 \text{ E20 J ano}^{-1} * \text{Trh} \quad (\text{Eq. C.1})$$

Onde:

39330 E20 é o fluxo de energia emitido pelo sol (J ano^{-1});

1 é a UEV da energia solar por convenção (sej J^{-1});

0,52 E20 é o fluxo de energia das marés (J ano^{-1});

Trt é a UEV das marés (sej J^{-1});

6,49 E20 é o fluxo de energia do calor da geobiosfera (J ano^{-1});

Trh é a UEV do calor gerado pela geobiosfera (sej J^{-1}).

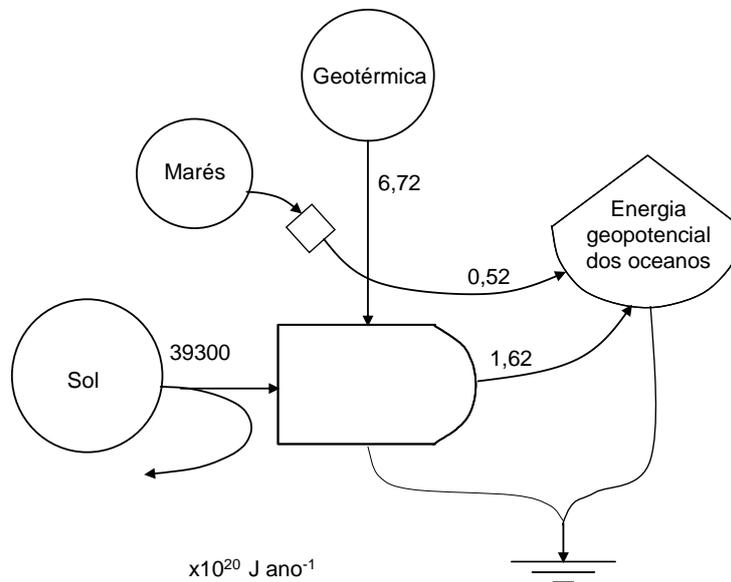


Figura C.2 – Contribuição da energia solar, geotérmica e das marés para a energia geopotencial contida nos oceanos

Considerando-se que a soma da energia solar, da energia das marés e da energia geotérmica resulta na energia geopotencial dos oceanos, tem-se a Equação C.2.

$$(39300 \text{ E}20 * 1,0) + (0,52 \text{ E}20 * \text{Trt}) + (6,72\text{E}20 * \text{Trh}) = (2,14\text{E}20 * \text{Trt}) \quad (\text{Eq. C.2})$$

Onde:

39330 E20 é o fluxo de energia emitido pelo sol (J ano^{-1});

1 é a UEV da energia solar por convenção (sej J^{-1});

0,52 E20 é o fluxo de energia das marés (J ano^{-1});

Trt é a UEV das marés (sej J^{-1});

6,49 E20 é o fluxo de energia do calor da geobiosfera (J ano^{-1});

Trh é a UEV do calor gerado pela geobiosfera (sej J^{-1});

2,14E20 é a soma dos fluxos de das marés ($0,52\text{E}20 \text{ sej ano}^{-1}$) e do sol ($1,62\text{E}20 \text{ sej ano}^{-1}$) que compõe a energia geopotencial dos oceanos.

Para se obter os valores para as UEVs subtrai-se a Equação C.1 da Equação C.2, obtendo-se a Equação C.3:

$$(6,72\text{E}20 * \text{Trh}) = (2,14\text{E}20 * \text{Trt}) - (6,49\text{E}20 * \text{Trh}) \quad (\text{Eq. C.3})$$

Assim a UEV para maré encontrada é (Equação C.4).

$$\text{Trt} = 6,17 \text{ Trh} \quad (\text{Eq. C.4})$$

Substituindo-se Eq. C.4 na Eq. C.1, obtém-se a transformidade do calor da crosta (Equação C.5).

$$Trh = 11981 \text{ sej J}^{-1} \quad (\text{Eq. C.5})$$

Com o valor para o calor emitido pela crosta terrestre, determina-se a UEV das marés (Equação C.6)

$$Trt = 6,17 * 11945 = 73923 \text{ sej J}^{-1} \quad (\text{Eq. C.6})$$

O resumo dos resultados obtidos é apresentado na Tabela C.1, o que relata a chamada nova base (ODUM, 2001) emergética global, que substituiu a antiga cujo valor era $9,42E24 \text{ sej ano}^{-1}$.

Tabela C.1 – Emergia de insumos da biosfera

| Nota | Fluxo | UEV sej J ⁻¹ | Fluxo de emergia E24 sej ano ⁻¹ |
|----------|-------------------------------------|----------------------------|---|
| 1 | Energia solar absorvida | 1 | 3,93 |
| 2 | Fontes de calor da crosta | 1,20E4 | 8,06 |
| 3 | Energia absorvida das marés | 7,37E4 | 3,83 |
| | Energia total anual da Terra | - | 15,83 |

Notas:

sej J⁻¹ = joules de emergia solar por joule. * fluxo de emergia anual global vezes a transformidade

1. Transformidade é 1 por definição; $3,93E24 \text{ J ano}^{-1}$ é baseada na constante solar $2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, 70% de absorção e $1,27E14 \text{ m}^2$ seção transversal face ao Sol.

2. Transformidade da equação de emergia para o calor da crosta resolvida na seção anterior; calor liberado pela radioatividade da crosta $1,98E20 \text{ J ano}^{-1}$ mais $4,74E20 \text{ J ano}^{-1}$ do fluxo de calor da manta (SCLATER et al., 1980).

3. Transformidade da equação de emergia geopotencial de oceanos na seção anterior. Fluxo de emergia $0,52E20 \text{ J ano}^{-1}$ (MILLER, 1966).

Referências

- BASTIANONI, S., MARCHETTINI, N., PANZIERI, M., TIEZZI, E. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy). **Journal of Cleaner Production**. Amsterdam, v.9, n.5, p.365-373, Aug. 2001.
- BENEDETTI, V. Utilização de resíduos industriais na Ripasa S/A celulose e papel como insumos na produção florestal. In: GUERRINI, I.A.; BELLOTE A.F.J.; BÜLL, L.T. (Ed.). SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 1994. p.141-154.
- BRANDT-WILLIAMS, S. **Emergy of Florida agriculture**. Handbook of Emergia Evaluation. Folio #4. Center for Environmental Policy. University of Florida. 40p. 2001.
- BROWN, M.T.; ARDING, J. **Transformities working paper**. Center para Wetlands: Gainesville, Univ. of Florida, 1991. 37p.
- BROWN, M.T.; BARDI, E. **Emergy of ecosystems**. Handbook of Emergia Evaluation. Folio #3. Center for Environmental Policy. University of Florida. 2001. 94p.
- BROWN, M.T.; BURANAKARN, V. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. **Resources Conservation & Recycling**. Amsterdam, v.38, n.1, p.1-22, Apr. 2003.
- BROWN, M.T.; ULGIATI, S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. **Ecological Engineering**. Amsterdam, v. 9, n.1/2, p.51-69. Sep 1997.
- BROWN, M.T., ULGIATI, S. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. **Journal of Cleaner Production**. Amsterdam, v.10, n.4, p. 321-334, Aug. 2002.
- BROWN, M.T.; ULGIATI, S. Emergy and Environmental Accounting. In: CLEVELAND, C. (Ed.). **Encyclopedia of energy**. New York: Elsevier. 2004. p. 329-354.
- BRUNDTLAND, G.H. (Ed). **Our common future**: The World Commission on Environment and Development, Oxford: Oxford University Press. 1987. 373p. BRUNDTLAND COMMISSION REPORT
- COHEN, M.J., BROWN, M.T., SHEPHERD, K.D. Evaluation of Soil Erosion Costs at Multiple Scales in Kenya using Emergy Synthesis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. Amsterdam, v.114, n.2/4, p.249-269, Jun 2006.
- DeSIMONE, L.; POPOFF, F. **Eco-efficiency** – The business link to sustainable development. Cambridge: MIT Press, 1997. 292p.
- DIAZ-BALTEIRO, L., RODRIGUEZ, L.C.E. Optimal rotations on Eucalyptus plantations including carbon sequestration—A comparison of results in Brasil and Spain. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.229, n.1/3, p.247–258, Jul. 2006.
- DOHERTY, S.J. **Emergy evaluations and limits to forest production**. 1995. 163p. Dissertation (PhD in Enviromental Engineering Science). Dept. of Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville. 1995.
- DOHERTY, S.J.; NILSSON, P.O.; ODUM, H.T. **Emergy evaluation of forest production and industries in Sweden**. Swedish University of Agricultural Sciences: Department of Bioenergy, 2002. 78p. (Report, 1).
- ESTY, D.C.; CHERTOW, M. Thinking ecologically: an introduction. In: CHERTOW, M., ESTY, D.C.(ED.) **Thinking ecologically**: building the next generation of environmental policy. New Haven: Yale University Press, 1997. p. 1-14.

FAO. **State of the World's Forests**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1999. 146 p.

GARLIPP, R.C. O setor florestal privado brasileiro e os desafios para o seu desenvolvimento. In: RODRIGUEZ, L.C.E (Ed.) **SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA FLORESTAL**. Porto Seguro, 2001. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 2001. p.45-67.

GIANNETTI, B.F. BARRELLA, F.A. ALMEIDA, C.M.B. A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emergy accounting. **Journal of Cleaner Production**, v.12, n.2, p.201-210, 2006.

HAKKILA, P., PARIKKA, M. Fuel resources from the forest. In: RICHARDSON, J.; BJÖRHEDEN, R.; HAKKILA, P.; LOWE, A.T.; SMITH, C.T. (Ed.). **Bioenergy from sustainable forestry: guiding principles and practice**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 19–48.

HALL, C.A.S. The myth of sustainability development – personal reflection on energy, its relation to neoclassical economics and Stanley Jevons. **Journal of Energy Resource Technology**, New York, v.126, n.2, p.85-89, Jun. 2004.

HALL, C., THARAKAN, P., HALLOCK, J., CLEVELAND, C., JEFFERSON, M. Hydrocarbons and the evolution of human culture. **Nature**, London, v.426, n. 6964, p.318-322, Nov 2003.

LOPES, J.L.W. **Produção de Eucalyptus grandis W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação**. 2004. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Botucatu, 2004.

MEADA, D.J.; PIMENTEL, D. Use of energy analyses in silvicultural decision-making. **Biomass and Bioenergy**, London, v.30, n.4, p.357–362, Apr 2006.

ODUM, H.T. Self organization, transformity, and information. **Science**, Washington, v.242, n.4882, p.1132-1139. Nov. 1988.

ODUM, H.T. **Environmental Accounting: Emergy and decision making**. New York: John Wiley, 1996. 370 p.

ODUM, H.T. **Emergy of global processes**. Handbook of emergy evaluation. Folio #2. Center for Environmental Policy. University of Florida, 2000. 28p.

ODUM, H.T.; DOHERTY, S.J.; SCATENA, F.N.; KHARECHA, P.A. Emergy evaluation of reforestation alternatives in Puerto Rico. **Forest Science**, Washington, v.46, n.4, p.521-530, Nov 2000.

OLIVEIRA, F.C. **Disposição de Biossólido de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. 246p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2000.

OLIVEIRA JUNIOR, E.D. **Análise energética de dois sistemas de colheita mecanizada de eucalipto**. 2005. 76p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PIERCE, F.J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, New York, v.67, n.1, p.1-85, May 1999.

RANIUSA, T.; EKVALLB, H.; JONSSONA, M.; BOSTDEBT, G. Cost-efficiency of measures to increase the amount of coarse woody debris in managed Norway spruce forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.206, n.1/3, p.119-133, Feb 2005.

SHIREMAN, W.K. Business strategies for sustainable profits: systems thinking in practice. **Systems Research and Behavioral Science**, New York, v. 16, n.5, p.453-462. May 1999.

STAPE, J.L.; BALLONI, E.A. O uso de resíduos na indústria de celulose e como insumos na produção florestal. Piracicaba. **IPEF**, Piracicaba, v.40, p.33-37, 1988.

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 RESEARCH CONFERENCE, 4., 2006, Gainesville, **Proceedings**... Gainesville: University of Florida Press, 2006. p.213-241.

TELLARINI, V.; CAPORALI, F. An input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.77, n.1/2, p.111-123, Jan 2000.

TILLEY, D.R.; SWANK, W.T. EMERGY-based environmental systems assessment of a multi-purpose temperate mixed-forest watershed of the southern Appalachian Mountains, USA. **Journal of Environmental Management**, New York, v.69, n.3, p.213-227, Nov 2003.

Referências - Anexos

FERRARO JÚNIOR, L.A. **Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade**. 1999. 132p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

FLUCK, R.C.; BAIRD, C.D. **Agricultural energetics**. Gainesville: University of Florida/Agricultural Engineering Department and Institute of Food and Agricultural Sciences, 1982. 197p.

HETZ, E.J.; VILLEGAS, H.B.; RIQUELME, J.S.; CELIS, J.H. Utilizacion de energia en la produccion de raps, bajo cuatro sistemas de labranza, en la Provincia de Ñuble. **Agro Sur**, Valdivia, v.22, n.1, p.1-6, jan. 1994.

MARTINEZ-ALIER, J. **Ecological economics**. New York: Basil Blackwell, 1987. 286 p.

MILLER, G.A. The flux of tidal energy out of the deep oceans. **Journal Geophysical Resources**. New York, v. 71, n.2, p.2485-2489, May 1966.

McGRANE, G. **Simulating whole earth cycles using hierarchies and other general systems concepts**. 1998. 371 p. Dissertation (Ph.D. in Environmental Engineering Sciences) - University of Florida, Gainesville, 1998.

ODUM, H.T. Emergy in ecosystems. in Polunin, N. (Ed.) **Environmental monographs and symposia**. New York: John Wiley, 1986. p. 337-369

ODUM, H.T. **Ecological and general systems**. Niwot: Univ. Press of Colorado, 1993. 644 p.

ODUM, H.T. **Environmental accounting: emergy and decision making**. New York: John Wiley, 1996. 370 p.

ODUM, H.T., ODUM, E.C.; BROWN, M.T. **Environment and society in Florida**. Boca Raton: Lewis Publ., 1998. 449 p.

ODUM, H.T.; WOJCIK, W.; PRITCHARD JR, L.; TON, S; DELFINO, J.J.; WOJCIK, M.; PATEL, J.D.; DOHERTY, S.J. 1998. **Gaia Wetlands for Heavy Metals and Society**. Univ. of Florida, Gainesville: Center for Environmental Policy and Center for Wetlands, 1998. 297 p., (Report to Sendzimir Foundation).

OLIVEIRA JUNIOR, E.D. **Análise energética de dois sistemas de colheita mecanizada de eucalipto**. 2005. 76p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York, v.52, n.2, p.111-119, Feb 1992.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press. 1980. 475p.

SCIENCEMAN, D. Energy and Emergy. In Pillet, G.; Murota, T. (Ed.) **Environmental economics**. Geneva: Roland Leimgruber, 1987. p. 257-276.

SCIENCEMAN, D.; H.T. ODUM; M. T. BROWN. Letters to the Editor. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v.9, n.3/4, 1997, p.212-218.

SCLATER, J.F.; TAUPART, G.; GALDSON, I.D. The heat flow through the oceanic and continental crust and the heat loss of the earth. **Reviews of Geophysics and Space Physics**. Richmond, v.18, n.3, p.269-311, Aug 1980.