

Cálculo da área de floresta necessária para mitigar o impacto ambiental de uma indústria gráfica: comparação entre a metodologia emergética e a análise de energia bruta

Forest area calculation to mitigate the environmental impact of a graphical industry: comparison between energy and energy analysis

AGOSTINHO, Feni; CAVALETT, Otávio; ORTEGA, Enrique
Unicamp - Faculdade de Engenharia de Alimentos - Laboratório de Engenharia Ecológica, CP 6121, CEP 13083-970, Campinas, SP - feni@fea.unicamp.br

Resumo

Neste trabalho foram comparados dois métodos que convertem a energia correspondente ao consumo anual de materiais e serviços de uma indústria gráfica, como área de floresta a ser plantada com a finalidade de absorver o impacto ambiental. O valor obtido pela Análise Emergética (115ha) foi maior porque contabiliza a energia utilizada em todos os processos necessários para a obtenção dos insumos, inclusive a energia obtida da natureza que outras metodologias consideram sem custo (energético). Por outro lado, o resultado obtido pela Análise de Energia Bruta (3ha) é extremamente conservador, pois somente considera a energia calórica dos materiais comprados.

Palavras-Chave: Energia; Energia; Demanda bruta de energia; Fixação de CO₂.

Abstract

In this work, the energy of all the materials and services used by a printing office were converted into forest area necessary to absorb the environment impact. The value obtained through Energy Analysis (115ha) was considered a good approximation because it accounts for the all energy used to obtain the inputs used by the system, including the energy from nature that is considered free by others methodologies. The result obtained from Gross Energy (3ha) is excessively conservative because considers only the caloric energy of purchased materials and energy.

Key-Words: Energy; Energy; Gross Energy Requirement; CO₂ fixation.

Introdução

Um sistema de produção industrial ou de prestação de serviços deve saber qual é a área de floresta equivalente para mitigar o impacto ambiental gerado. Esta é uma informação importante, porém não trivial. Existem vários métodos utilizados para se obter esta estimativa. O objetivo deste trabalho é converter o consumo energético anual de materiais e serviços de uma indústria gráfica em área de floresta a ser plantada, para absorver o impacto sobre o meio ambiente, usando para isso, duas metodologias: Análise Emergética e Análise de Energia Bruta.

Material e métodos

Metodologias de avaliação

A metodologia emergética usa a energia solar incorporada (energia solar) como base de medida. A energia é definida como toda a energia usada, direta ou indiretamente, na

produção de um determinado recurso (ODUM, 1996). Considera-se nessa análise todos os insumos necessários para produzir um recurso, incluindo as contribuições da natureza (sol, chuva, água de poços, nascentes, solo, biomassa, etc.) e da economia (materiais, maquinário, combustível, serviços, dinheiro, etc.).

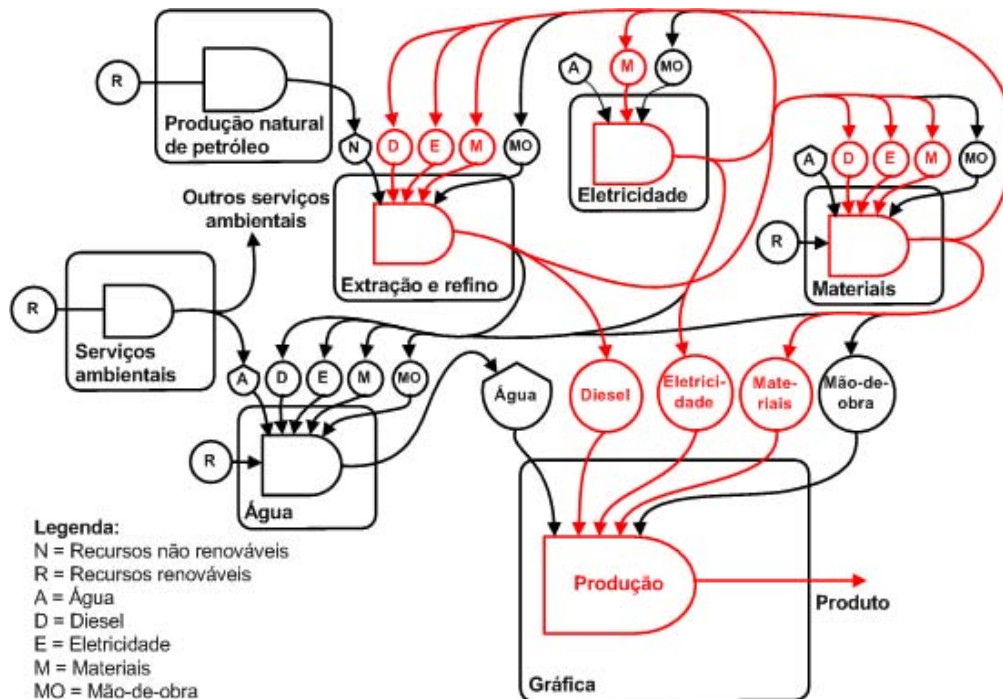


Figura 1. Diagrama dos fluxos de energia utilizados pela indústria gráfica.

O método da contabilidade de energia bruta (BOUSTEAD & HANCOCK, 1979) considera o requerimento bruto (direto e indireto) de energia comercial que o sistema utiliza. Essa ferramenta fornece informações úteis sobre a eficiência energética do sistema em escala global, contabilizando todo o suprimento de energia comercial empregada.

Através da Figura 1 observamos a diferença entre a metodologia emergética e a metodologia de energia bruta. A primeira contabiliza todos os fluxos de energia necessários para produzir determinado material ou serviço, enquanto a segunda contabiliza apenas os materiais e a energia comprada (destacado em vermelho).

Dados de consumo mensal do sistema avaliado

Energia elétrica: 3000kWh; Combustível (gasolina): 550 litros; Água: 29m³; Toner: 9,1kg; Papel: 460kg; Mão-de-obra: 20 funcionários.

Resultados e discussão**Cálculo através da Análise Emergética (ODUM, 1996)****Tabela 1.** Tabela de avaliação da energia total como soma de fluxos anuais.

Item	Valor	Unidade	Transformidade ¹ (seJ/unidade)	Energia (seJ)
Combustível	2,35E+11	J	5,50E+05	1,29E+17
Papel	5,52E+03	kg	3,90E+12	2,15E+16
Toner	1,09E+02	kg	3,80E+11	4,15E+13
Eletricidade	1,29E+11	J	2,77E+05	3,59E+16
Água	1,74E+09	J	2,55E+05	4,44E+14
Funcionários	1,68E+10	J	2,80E+06	4,70E+16
			Energia total:	2,34E+17

A conversão da energia total utilizada pelo sistema em área de floresta a ser plantada é dada pela seguinte equação:

$$\text{Área de floresta [ha]} = Y / (\text{NPP} * \text{Energia da biomassa} * \text{Tr})$$

Onde: Y = Energia total = 2,34E+17 seJ/ano;

NPP = Produtividade líquida primária de Floresta Tropical = 13.500kg/ha/ano (ABER e MELILLO, 2001);

Energia da biomassa = 1,51E+07 J/kg (PARDO e BROWN, 1997);

Tr = Transformidade da biomassa = 1,00E+04 seJ/J (BROWN e BARDI, 2001).

Através da equação e dos dados acima, obtemos uma área de 115ha de floresta tropical que precisa ser plantada e preservada para igualar a energia total gasta pelo sistema.

Cálculo através da Análise de Energia Bruta (BOUSTAED & HANCOCK, 1979)**Tabela 2.** Avaliação energética (equivalência em petróleo).

Item	Valor Bruto	Unidade	Equivalente em petróleo ^A (MJ/unidade)	Energia comercial total incorporada (MJ)
Combustível	6600,0	L	45,0	297000,0
Papel	5520,0	Kg	39,0	215280,0
Toner	109,2	Kg	13,5	1474,2
Eletricidade	3600,0	kWh	15,0	54000,0
Água	348,0	m ³	-	-
Funcionários	20,0	pessoas	-	-
			Energia total:	567754,2

^A BOUSTAED & HANCOCK (1979).

¹ Transformidade solar é definida como a energia por unidade de energia disponível (exergia). A transformidade é um indicador de eficiência do sistema, pois avalia a quantidade de energia que entra no sistema em relação à energia produzida. Sua dimensão é energia/energia (seJ/J). A transformidade de um produto é calculada somando toda a energia necessária para produzi-lo e dividindo pela energia do produto. Transformidades são utilizadas para converter diferentes formas de energia em uma mesma unidade de energia. Maiores detalhes podem ser vistos em: ODUM (1996) e BROWN e ULGIATI (2004).

A conversão da energia total utilizada pelo sistema (equivalente em petróleo) como área de floresta a ser plantada para absorver o CO₂ emitido é dada pela seguinte equação:

$$\text{Área de floresta [ha]} = \text{Energia} * \text{FE} * \text{RE} / \text{NPP}$$

Onde: Energia = energia total = 567754,2MJ/ano = 2,93E+05kWh/ano;

FE = fator de emissão = 0,25kgCO₂/kWh (CT, 2007);

RE = relação estequiométrica = 0,273 tC/tCO₂;

NPP (produtividade primária líquida) de Floresta Tropical = 6750kgC/ha/ano (ABER e MELILLO, 2001).

Através da equação e dos dados acima, obtemos que uma área de 3ha de floresta tropical precisa ser plantada para absorver o CO₂ emitido na fabricação dos insumos utilizados pelo sistema.

Comparação entre as duas metodologias

O resultado da área equivalente calculado pela análise emergética (115ha) é muito maior que a obtida pela análise de energia bruta (3ha) porque considera toda a energia incorporada nos recursos utilizados, incluindo a mão de obra e, indiretamente, recursos vindos da natureza que são considerados gratuitos.

A análise de energia bruta considera apenas a área necessária para absorver o CO₂ emitido devido à energia comercial utilizada na fabricação dos insumos, além disso, não contabiliza os recursos naturais e a mão-de-obra. Como pode ser observada na Figura 1, essa metodologia possui memória energética reduzida, pois considera apenas a energia comercial utilizada, portanto, seus resultados são subestimados.

Para que o meio ambiente tenha capacidade de suportar aos impactos causados pelas ações antrópicas, é necessário que a ferramenta de avaliação contabilize toda a energia envolvida, e não somente parte dela, caso contrário os resultados serão subestimados.

A análise emergética é uma ferramenta mais robusta e deve ser utilizada no diagnóstico de diferentes sistemas para mostrar a carga ambiental que os mesmos produzem, assim como sugerir mudanças para reduzir esses impactos.

Referências bibliográficas

ABER, JD.; MELILLO, JM. **Terrestrial Ecosystems**. Harcourt Science and Technology Company, Harcourt Academic Press. 2001. p.556.

BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G.F. **Handbook of industrial energy analysis**. Ellis Horwood Publishers, 1979. p.422.

BROWN, M.T.; BARDI, E. **Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio No.3 – Emergy of Ecosystems**. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville. 2001, p.90. Online. Capturado em 15 jun. 2007. Disponível na internet <http://www.emergysystems.org/folios.php>.

BROWN, M.T.; ULGIATI, S. **Emergy analysis and environmental accounting**. Encyclopedia of Energy. v 2. 2004.

CT. Carbon Trust: making business sense of climate change. Online. Capturado em 04 abr. 2007. Disponível na internet http://www.carbontrust.co.uk/resource/measuring_Co2/measuring_CO2_methodologies.htm.

ODUM, H.T. **Environmental Accounting, Emergy and Decision Making**. John Wiley, New York, 1996. p.370.

PARDO, M.A.; BROWN, M.T. Interface Ecosystems with an Oil Spill in a Venezuelan Tropical Savannah. **Ecological Engineering**. 8: 49-78. 1997.