

Um Estudo Comparativo dos Índices em Emergia e de outros Indicadores Usuais em Estudos de Sustentabilidade

- Pedro Américo Frugoli
- Ana Paula Zaccaria dos Santos
- Alexandre Daliberto Frugoli

Introdução

- As questões ambientais e a sustentabilidade são temas cada vez mais discutidos em todo o mundo, devido aos problemas causados pelas atividades humanas que modificam e afetam o meio ambiente de diversas maneiras. O estilo de vida e o padrão de consumo das populações dos diversos países do mundo aceleram o processo de degradação ambiental. A sustentabilidade requer um padrão de vida dentro dos limites impostos pela natureza.
- A situação ambiental vem despertando enorme preocupação, portanto, ressalta-se a necessidade e importância do desenvolvimento e aplicação de métricas de sustentabilidade. Os indicadores são ferramentas utilizadas para simplificar informações, permitindo comparar resultados.

- Siche et al, 2007: comparação da Pegada Ecológica e do Índice de Sustentabilidade Ambiental com os Índices de Emergia.
- King et al, 2007: análise comparativa de indicadores de bem estar utilizando análise em emergia. Propõe um novo indicador que integra bem estar humano (IDH) e sustentabilidade, o *Emergy Total Well-being (ETWI)*.
- Wilson et al, 2007: analise e comparação de seis métricas globais: Pegada Ecológica (*EF*), Índice de Biocapacidade Excedente (*SB*), Indicador de Sustentabilidade Ambiental-2002 (*ESI-2002*), Índice de Bem estar (*WI*), Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*) e Produto Interno Bruto per capita (*GDP per capita*).

- Moran et al, 2008: relação do Índice de Desenvolvimento Humano com a Pegada Ecológica e também com a razão entre a Pegada Ecológica e a Biocapacidade de 93 países.
- Giannetti et al, 2009: estudo baseado na opinião de especialistas a respeito da construção de índices ambientais utilizando a metodologia da lógica paraconsistente. Os autores utilizam uma análise de sensibilidade do Índice de Sustentabilidade Ambiental, recalculado em 2005 (*ESI-2005*) como exemplo para avaliar a confiabilidade das opiniões dos especialistas.

Introdução

UNIP

UNIVERSIDADE PAULISTA

Programa de Pós Graduação
em Engenharia de Produção

- Giannetti et al, 2010: estudo realizado com dados dos países que fazem parte do Mercosul, compara os resultados dos indicadores obtidos na análise em energia com métricas de sustentabilidade globais propostas na literatura, tais como, *Ecological Footprint – EF*, *Surplus Biocapacity – SB*, *Environmental Sustainability Index - ESI–2005*, *Wellbeing Index - WI* e com indicadores aceitos mundialmente como *Human Development Index - HDI* e *Gross Domestic Product - GDP*. Essa comparação é realizada a partir de análise de correlação, dividindo os indicadores em três grupos de acordo com as dimensões de sustentabilidade abordadas (econômica, social e ambiental) e adotando valores para grau de correlação. Os resultados são discutidos com a ajuda dos diagramas ternários de energia.

Objetivo

- Este estudo aplica a análise em emergia como ferramenta para comparação dos indicadores de um número muito grande de países.
- Os indicadores de emergia desenvolvidos por Odum (1996) são comparados com indicadores de sustentabilidade e também com indicadores econômicos e sociais utilizados e aceitos em todo o mundo.
- O grau de viabilidade entre os indicadores é analisado utilizando uma matriz de correlação para os países envolvidos no estudo.

- Emergia é a energia solar disponível e utilizada direta ou indiretamente para obter um produto ou serviço, incluindo as contribuições da natureza e da economia (Odum, 1996). A unidade de emergia é joule de energia solar (seJ).
- A contabilidade ambiental em emergia usa a energia solar incorporada como base de medida e contabiliza todos os processos necessários para obtenção dos insumos.
- A análise em emergia faz uma relação entre a economia e o ambiente relacionando os recursos renováveis (R) e não renováveis (N) do ambiente e os investimentos econômicos (F). Os fluxos de recursos identificados na análise em emergia permitem calcular os indicadores ambientais em emergia.

- Os indicadores da contabilidade ambiental em energia calculados para os países do mundo são comparados neste estudo com seis indicadores conhecidos e retirados da literatura, alguns mundialmente aceitos e outros em desenvolvimento.
- A relação entre os indicadores é avaliada por meio da análise de correlação. Todas as correlações entre indicadores foram baseadas nas informações dos países envolvidos no estudo. A relação entre os indicadores foi avaliada, e, se ambas as variáveis aumentam entre os países, existe uma correlação positiva que varia entre 0 e 1,0. Se, por outro lado, ocorre uma relação inversa entre os indicadores, existe um coeficiente de correlação negativo que varia entre 0 e -1,0.

Metodologia

Indicadores do Odum (1996)

- Índice de Rendimento em Energia (*Emergy Yield Ratio, EYR*): mostra a habilidade do processo em utilizar os recursos locais.

$$EYR = R + N + F / F$$

- Índice de Investimento em Energia (*Emergy Investment Ratio, EIR*): mede se o sistema utiliza com eficiência o investimento feito pelo sistema econômico em relação aos recursos locais.

$$EIR = F / N + R$$

- Índice de Carga Ambiental (*Environmental Load Ratio, ELR*): mostra a carga que o sistema impõe ao meio ambiente. Um ELR alto significa um alto estresse na utilização dos recursos naturais renováveis (R).

$$ELR = N + F / R$$

- Índice de Sustentabilidade (*Environmental Sustainability Indice, ESI*): o conceito de sustentabilidade está vinculado ao máximo aproveitamento do investimento (EYR) com um mínimo de consumo dos recursos ambientais (ELR). Quanto maior a carga ambiental (ELR), menor será a sustentabilidade do sistema.

$$ESI = EYR / ELR$$

Metodologia

UNIP

UNIVERSIDADE PAULISTA

Programa de Pós Graduação
em Engenharia de Produção

Outros indicadores

- Pegada Ecológica (*Ecological Footprint, EF*)
- Índice de Biocapacidade Excedente (*Surplus Biocapacity, SB*)
- Índice de Bem Estar (*Wellbeing Index, WI*)
- Índice de Sustentabilidade Ambiental (*Environmental Sustainability Index, ESI-2002*)
- Produto Interno Bruto ou PIB (*Gross Domestic Product, GDP*)
- Índice de Desenvolvimento Humano ou IDH (*Human Development Index, HDI*)

- Os gráficos de correlação foram construídos utilizando o ranking de 134 países para os indicadores em energia (*EYR*, *EIR*, *ELR* e *ESI*), para o *HDI* e para o *GDP*. Os valores de *EF*, *SB*, *ESI-2002* e *WI* de alguns países não estavam disponíveis na literatura consultada, porém os gráficos que relacionam esses indicadores foram feitos com o ranking de 120 países.

Resultados



UNIVERSIDADE PAULISTA

Programa de Pós Graduação
em Engenharia de Produção

Classificação das métricas selecionadas incluindo as dimensões de sustentabilidade de cada métrica e o grau de correlação entre elas.

Métrica	Dimensões de Sustentabilidade			Grau de correlação		
	Econômica	Social	Ambiental	Alto $R^2 \geq 0,6$	Médio $0,3 \leq R^2 < 0,6$	Baixo $R^2 < 0,3$
EYR	★		★	EIR, ESI	ELR, SB, HDI	EF, WI, GDP
EIR	★		★	EYR, ESI	ELR, SB, HDI	EF, WI, GDP
ELR			★	ESI	EYR, EIR, SB, HDI	EF, GDP
ESI	★		★	EIR, EYR, ELR, SB.	EF, HDI	WI, GDP
EF			★	HDI	ESI, WI, GDP	EYR, EIR, ELR, SB, ESI-2002
SB			★	ESI	EYR, EIR, ELR	EF, HDI, GDP
WI		★	★		EF, HDI, ESI-2002	EYR, EIR, ELR, ESI, GDP
ESI-2002	★	★	★		WI	EF, HDI
GDP	★				EF, HDI	EYR, EIR, ELR, ESI, SB, WI
HDI	★	★		EF	EYR, EIR, ELR, ESI, WI, GDP	SB, ESI-2002

Resultados



UNIVERSIDADE PAULISTA

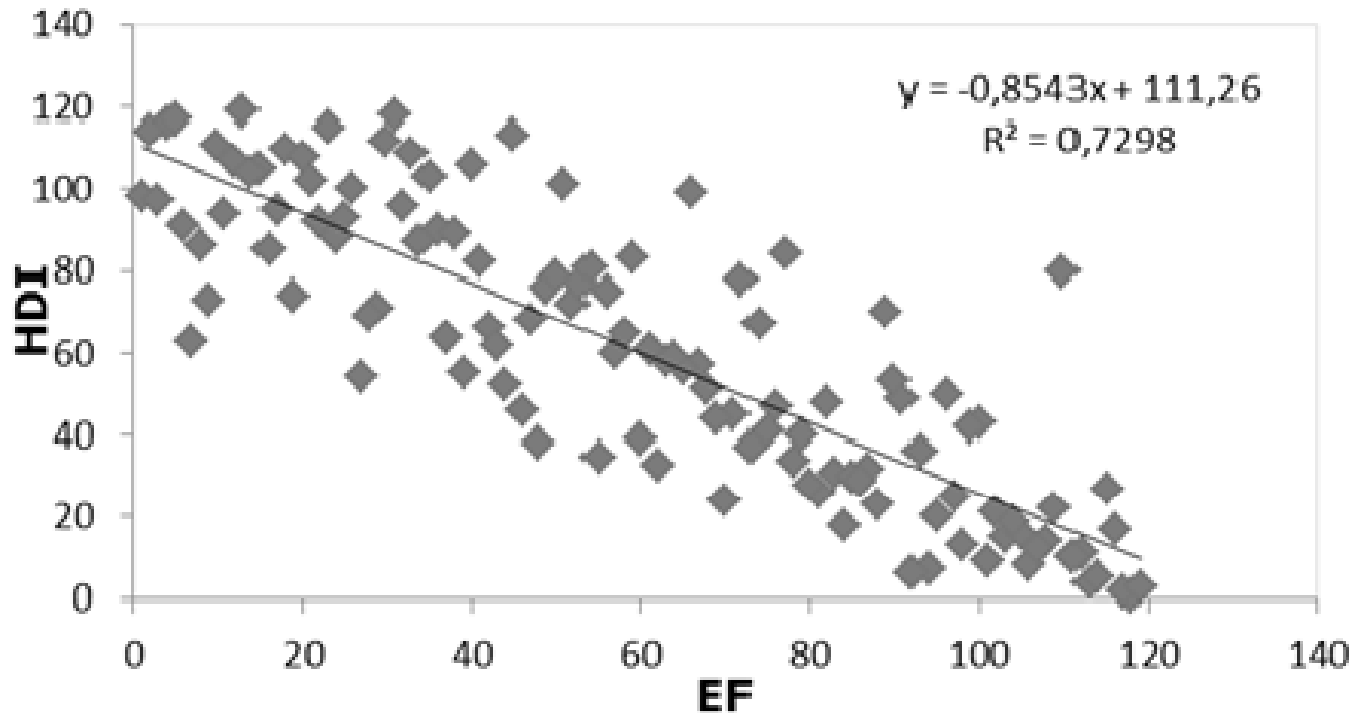
Programa de Pós Graduação
em Engenharia de Produção

Matriz de correlação entre os indicadores de Emergia e os indicadores conhecidos.

	EYR	EIR	ELR	ESI	EF	SB	WI	ESI- 2002	HDI	GDP
EYR	1									
EIR	1	1								
ELR	0,52	0,52	1							
ESI	0,76	0,76	0,93	1						
EF	0,28	0,28	0,26	0,31	1					
SB	0,49	0,49	0,57	0,64	0,18	1				
WI	0,18	0,18	0,06	0,10	0,42	0,02	1			
ESI-2002	0,07	0,06	0,008	0,022	0,18	0,009	0,402	1		
HDI	0,34	0,34	0,33	0,38	0,73	0,26	0,48	0,19	1	
GPD	0,16	0,16	0,22	0,23	0,35	0,22	0,16	0,045	0,57	1

Resultados

Correlação das classificações dos países pelo Índice de Desenvolvimento Humano e pela Pegada Ecológica.

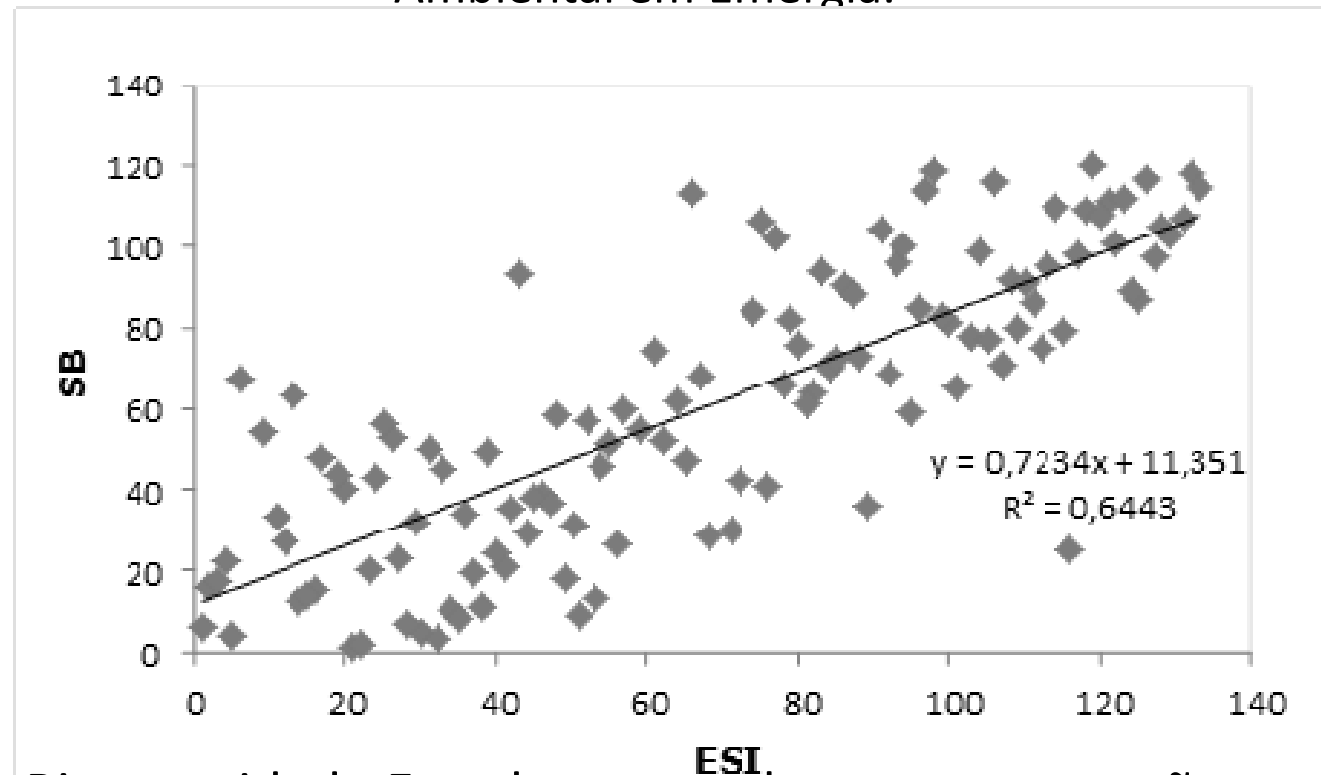


- O Índice de Desenvolvimento Humano envolve questões econômicas e sociais e a Pegada Ecológica envolve apenas questões ambientais. A correlação entre estes dois índices foi baseada na classificação (ranking) de 120 países e mostra um coeficiente de correlação de $R^2 = 0,73$.

- A classificação da Pegada Ecológica é inversamente proporcional ao do Índice de Desenvolvimento Humano, mostrando que quanto maior o IDH, maior é a Pegada Ecológica, ou seja, países com maior desenvolvimento humano provocam maior estresse ao ambiente. A Pegada Ecológica é um índice baseado no consumo e indica o quanto de recursos a população de um país consome em termos de área equivalente.

Resultados

Correlação do Índice de Biocapacidade Excedente com o Índice de Sustentabilidade Ambiental em Emergia.



- O Índice de Biocapacidade Excedente envolve apenas questões ambientais e o Índice de Sustentabilidade Ambiental em Emergia envolve duas dimensões de sustentabilidade, a econômica e a ambiental. A correlação entre os índices é alta ($R^2 = 0,64$) e também foi baseada na classificação (*ranking*) dos países.

- A classificação do Índice de Biocapacidade Excedente (*SB*) é diretamente proporcional ao do Índice de Sustentabilidade Ambiental (*ESI*), mostrando que quanto maior o *SB*, maior é o *ESI*, ou seja, países com maior capacidade oferecida para ser consumida e com maior sustentabilidade nos padrões de consumo (maior *SB*) possuem maior sustentabilidade ambiental.
- Os dois indicadores (*SB* e *ESI*) envolvem carga ambiental e consumo, porém o *ESI* (indicador em energia) é um índice mais completo, pois contabiliza todos os recursos que entram no sistema incluindo a economia que outras métricas não consideram.

Considerações finais

- A contabilidade em energia foi aplicada neste estudo para avaliar e comparar vários indicadores.
- A avaliação revelou que quanto maior o desenvolvimento humano de uma nação (medido pelo *HDI*), maior é a utilização dos recursos naturais e maior o estresse ambiental (medido pela Pegada Ecológica) e mostrou que quanto maior a sustentabilidade do padrão de consumo de uma população (medida pelo *SB*), maior será a sustentabilidade ambiental (medida pelo *ESI*).
- O estudo mostra que a relação entre os índices é bastante complexa e que existem poucos índices com alta correlação e muitos com média e baixa correlação. Os resultados mostram que uma única métrica não pode ser usada para avaliar a sustentabilidade dos sistemas.
-

- Brown, M.T.; Ulgiati, S., 2002. Emery Evaluations and Environmental Loading of Electricity Production Systems, Journal of Cleaner Production, 10, 321-334.
- Daly, H., 1990. Towards some operational principles of sustainable development. Ecological Economics 2, 1–6.
- Giannetti, B.F.; Bonilla, S.H.; Silva, C.C.; Almeida, C.M.V.B., 2009. The reliability of experts' opinions in constructing a composite environmental index: the case of ESI 2005. Journal of Environmental Management. 90, 2448-2459.
- Giannetti, B.F.; Almeida, C.M.V.B.; Bonilla, S.H., 2010. Comparing emery accounting with well-known sustainability metrics: The case of Southern Cone Common Market, Mercosur. Energy Policy. 38, 3518-3526.
- King, D.V.; Cohen, M.J.; S. Sweeney, s.; Brown, M.T., 2007. Comparative Analysis of Indicators of Well-being Using Environmental Accounting. Proceedings of the 4th Biennial Emery Research Conference. Center for Environmental Policy, Gainesville, Florida.
- Moran, D.D.; Wackernagel, M.; Kitzes, J.A.; Goldfinger, S. H.; Boutaud, A., 2008. Measuring sustainable development – Nation by nation. Ecological Economics. 64, 470–474.
- NEAD, 2000. EmerySystems.org. National Environmental Accounting Database. Disponível em: <http://www.emergysystems.org/nead.php>. Acessado em abril/2010.
- Odum, H. T. Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making. New York: John Willey & Sons, INC, 1996.
- Prescott-Allen, R., 2001. The Well-Being of Nations: A Country-by-Country Index of Quality of Life and the Environment. Island Press, Washington, DC.
- Rees, W., Wackernagel, M., 1996. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island, BC.
- Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008. Publicado para o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)
- Relatório do Desenvolvimento Humano de 2010. A verdadeira riqueza das nações: vias para o desenvolvimento humano. Edição do 20º aniversário, 2010. Publicado para o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).
- Siche, R.; Agostinho, F.; Ortega, E.; Romeiro, A., 2007. Sustainability of nations by indices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emery performance indices. Ecological Economics. 66, 628–637.
- Wilson, J.S., 2005. A comparison of sustainable development indicator metrics and the need for ecological thresholds which way are we going?. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Arts at Dalhousie University Halifax, Nova Scotia.
- Wilson, J.; Tyedmers, P.; Pelot, R., 2007. Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics. Ecological Indicators. 7, 299–314.