



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

P. A. Frugoli ^a, A. P. Z. dos Santos ^b, A. D. Frugoli ^c,

a. Universidade Paulista, São Paulo, pedrofrugoli@unip.br

b. Universidade Paulista, São Paulo, a_paulasantos@terra.com.br

c. Universidade Paulista, São Paulo, alefdf@uol.com.br

Resumo

A busca pela sustentabilidade ambiental e a preocupação cada vez maior com a degradação ambiental atrai cada vez mais os pesquisadores do mundo todo e, portanto, existe a necessidade de desenvolvimento de indicadores que incluam a economia, a sociedade e o meio ambiente. Este estudo aplica a análise em energia com cálculo de índices para serem comparados com indicadores conhecidos e retirados da literatura. São avaliados os fluxos de recursos naturais (renováveis e não renováveis) e recursos provenientes da economia dos países para o cálculo dos índices em energia. Foram feitas correlações destes índices calculados com os indicadores conhecidos. Os melhores resultados de correlação foram os obtidos entre o Índice de Desenvolvimento Humano - *Human Development Index* e a Pegada Ecológica - *Ecological Footprint (HDI x EF)* e entre o Índice de Biocapacidade Excedente - *Surplus Biocapacity* e o Índice de Sustentabilidade Ambiental em Energia - *Environmental Sustainability Index (SB x ESI)*.

Palavras-chave: *análise em energia, indicadores, sustentabilidade, países.*

1 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.

Nas últimas décadas ocorreram vários encontros e acordos internacionais referentes à temática ambiental como a Conferência de Estocolmo, a primeira a

nível mundial (Suécia em 1972), o Relatório de Brundtland (publicado em 1987), a ECO-92 (Rio de Janeiro em 1992), Agenda-21 Global (publicado em 1992), o Protocolo de Montreal (Canadá em 1987), o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (criado em 1988), o Protocolo de Kyoto (Japão em 1997), a Convenção do Clima de Copenhague (Dinamarca em 2009).

O Relatório de Brundtland (publicado em 1987) define Desenvolvimento Sustentável como "o desenvolvimento que atende as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades".

Segundo Giannetti et al, 2009 a sustentabilidade depende da disponibilidade e da distribuição dos recursos naturais disponíveis e qualquer proposta de métricas para medir e monitorar a sustentabilidade deve incluir um estudo desses recursos, devendo ser capaz de detectar e quantificar o equilíbrio entre a economia, a sociedade e o meio ambiente (ecossistema).

Vários estudos de comparação de indicadores de sustentabilidade foram encontrados na literatura utilizando a análise de correlação e semelhantes ao desenvolvido neste trabalho (Wilson, 2005; Siche et al, 2007; King et al, 2007; Wilson et al, 2007; Moran, 2008; Giannetti et al, 2009; Giannetti et al, 2010).

O estudo de Siche et al, 2007 faz uma comparação de dois índices de sustentabilidade ambiental dos países (a Pegada Ecológica e o Índice de Sustentabilidade Ambiental) com os Índices de Energia. Segundo os autores a Pegada Ecológica e o Índice de Sustentabilidade Ambiental são os dois índices mais utilizados e de maior impacto na avaliação da sustentabilidade dos países e estão ganhando espaço dentro da comunidade científica. Este estudo considera que ainda não existe um índice de sustentabilidade completamente satisfatório, e que todos eles precisam ser melhorados. Segundo os autores deve-se avaliar mais de um indicador para determinar a sustentabilidade de um sistema; os autores sugerem que existe a possibilidade de se obter um melhor índice de sustentabilidade através da junção da Pegada Ecológica com Índice de Desempenho em Energia. Este estudo inclui doze países que foram selecionados por terem sua sustentabilidade previamente estudada pelos três métodos discutidos neste artigo.

King et al, 2007 fazem uma análise comparativa de indicadores de bem estar utilizando análise em energia. O estudo propõe um novo indicador que integra bem estar humano (IDH ou *HDI*) e sustentabilidade, denominado *Emergy Total Well-being (ETWI)*. Segundo os autores os países que possuem um alto *ETWI* tem tanto um IDH alto (bem estar humano) como um alto percentual de uso de recursos naturais renováveis (sustentabilidade ambiental). Os resultados do estudo mostram que o bem estar humano e o bem estar ambiental têm uma relação inversa e o único indicador de bem estar que aumenta com a sustentabilidade ambiental e diminui com o desenvolvimento econômico é a qualidade do ar (emissões de dióxido de carbono per capita). O *ETWI* não está relacionado com o *WI (Wellbeing Index)*, embora os dois combinem bem estar humano e bem estar ambiental.

Wilson et al, 2007 analisam e comparam 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*) para analisar se as métricas globais estão de acordo com o Desenvolvimento Sustentável. Os resultados mostram as diferentes interpretações sobre a sustentabilidade das nações dependendo do indicador empregado.

O estudo de Moran et al, 2008 relacionam o Índice de Desenvolvimento Humano com a pegada ecológica e também com a razão entre a Pegada Ecológica e a

Biocapacidade de 93 países com dados disponibilizados na literatura. Segundo os autores para atingir um mínimo de sustentabilidade em um país, a razão entre a Pegada Ecológica e a Biocapacidade deve ser menor ou igual a 1,0 e o Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*) deve ser maior ou igual a 0,8; apenas um dos países estudados teve resultados atendendo a essas duas condições. O estudo mostrou ainda que países de baixo Índice de Desenvolvimento Humano tem se desenvolvido sem aumento considerável da Pegada Ecológica enquanto países com alta renda apresentam uma tendência oposta, ficando longe da sustentabilidade.

Giannetti et al, 2009 fazem um 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.

O trabalho de Giannetti et al, 2010 compara os resultados dos indicadores obtidos na análise em energia com cinco métricas de sustentabilidade globais propostas na literatura (*Ecological Footprint - EF; Surplus Biocapacity - SB; Environmental Sustainability Index - ESI-2005; Wellbeing Index - WI; e o conjunto Ecosystem Services Product - ESP e Subtotal Ecological-economic Product - SEP*) e com indicadores aceitos mundialmente (*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 (alto, médio ou baixo). Os resultados obtidos são discutidos com a ajuda dos diagramas ternários de energia. O estudo confirma que ainda não existe uma métrica única que inclua todos os aspectos da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) e mostra que alguns indicadores podem ser agrupados para um resultado mais coerente. Segundo os autores a energia pode proporcionar uma avaliação mais completa das dimensões da sustentabilidade quando uma única métrica é usada. Este estudo é realizado com dados dos países que fazem parte do Mercosul.

Este estudo aplica a análise em energia como ferramenta para comparação dos indicadores de um número muito grande de países. Os indicadores de energia desenvolvidos por Odum (1996) são comparados com indicadores de sustentabilidade e também com indicadores econômicos e sociais utilizados e aceitos correntemente em todo o mundo. O grau de viabilidade entre eles é analisado utilizando uma matriz de correlação para os países envolvidos no estudo. São utilizados quatro indicadores de energia que serão comparados com seis indicadores conhecidos (Pegada Ecológica, Índice de Biocapacidade Excedente, Índice de Bem Estar, Índice de Sustentabilidade Ambiental-2002, Índice de Desenvolvimento Humano e Produto Interno Bruto).

2 Metodologia

Por definição, energia 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 energia é o joule de energia solar (seJ).

A contabilidade ambiental em energia contabiliza todos os processos necessários para obtenção dos insumos, inclusive a energia obtida da natureza que outras metodologias não consideram. Esta contabilidade indica o uso correto dos recursos ambientais e contabiliza valores da energia solar incorporada aos produtos e serviços. Consideram-se na análise todos os insumos necessários para obter um produto ou serviço, incluindo as contribuições da natureza (irradiação solar, chuva,

vento, água de poço, solo e biodiversidade) e as fornecidas pela economia (materiais, combustíveis, maquinário, mão de obra etc.).

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.

2.1. Índices em energia

Os índices em energia desenvolvidos por Odum (1996) para a avaliação de sustentabilidade em relação à quantidade de recursos, foram definidos de acordo com os princípios de sustentabilidade introduzidos por Herman Daly (1990).

Foram coletados todos os fluxos de recursos dos países, esses fluxos são divididos em recursos naturais renováveis (R), recursos naturais não renováveis (N) e recursos provenientes da economia (F). Os recursos naturais são considerados renováveis (R) quando são consumidos em velocidade menor do que a natureza é capaz de repor, caso contrário, se os recursos são consumidos mais rapidamente do que a natureza pode repor, o recurso passa a ser considerado não renovável (N). Os dados de R, N e F foram coletados no *National Environmental Accounting Database (NEAD, 2000)*.

A análise em energia 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 energia permitem calcular os indicadores ambientais em energia.

Indicadores de energia (Odum, 1996):

- Índice de Rendimento em Energia (*Emergy Yield Ratio, EYR*): calculado pela relação entre a energia total e a energia proveniente da economia. Mostra a habilidade do processo em utilizar os recursos locais.

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

- Índice de Investimento em Energia (*Emergy Investment Ratio, EIR*): calculado pela relação entre a energia fornecida pelo sistema econômico e a fornecida diretamente pelo ambiente ao sistema (R + N). Mede se o sistema utiliza com eficiência o investimento feito pelo sistema econômico em relação aos recursos locais (renováveis e não renováveis).

$$EIR = F / N + R$$

- Índice de Carga Ambiental (*Environmental Load Ratio, ELR*): calculado pela relação entre a soma da energia dos recursos não renováveis e a energia dos recursos provenientes do sistema econômico (N + F) e a energia dos recursos renováveis (R). Mostra a carga que o sistema impõe ao meio ambiente, considerando a utilização dos recursos naturais como fator principal em relação ao investimento econômico. Um ELR alto significa um alto estresse na utilização dos recursos naturais renováveis (R).

$$ELR = N + F / R$$

- Índice de Sustentabilidade (*Environmental Sustainability Index, ESI*): Segundo Brown e Ulgiati, 2002, o índice é calculado pela relação entre o índice de rendimento em energia e o índice de carga ambiental. 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.

$$ESI = EYR / ELR$$

2.2. Pegada Ecológica (*Ecological Footprint, EF*)

Conceito desenvolvido por William Rees e Mathis Wackernagel em 1996, utiliza áreas produtivas de terra e mar necessárias para gerar produtos, bens e serviços e também para absorver os resíduos gerados por uma população. Considera todos os fluxos de matéria e energia necessários para sustentar o estilo de vida e o padrão de consumo dessa população, convertendo em unidade padronizada denominada hectare equivalente (ha). A Pegada Ecológica mede o total de hectares necessários para sustentar uma população.

Esta métrica fundamenta-se basicamente na capacidade de regeneração da biosfera. Segundo Rees e Wackernagel, 1996, a base do conceito de sustentabilidade é a utilização dos recursos da natureza dentro do princípio da manutenção do capital natural, ou seja, o aproveitamento dos recursos naturais dentro da capacidade de carga do sistema. Esta ferramenta aborda apenas as questões ambientais, não sendo incluídos os aspectos sociais e econômicos. Os dados foram retirados da literatura (Wilson, 2005) e são do ano de 2004.

2.3. Índice de Biocapacidade Excedente (*Surplus Biocapacity, SB*)

Métrica derivada da Pegada Ecológica que mede a sustentabilidade dos padrões de consumo. Este índice representa a diferença entre a pegada ecológica de um país e sua área de produção (terra produtiva e água). Medida de terra em hectares globais. Aborda apenas as questões ambientais. Os dados foram retirados da literatura (Wilson, 2005) e são do ano de 2004.

2.4. Índice de Bem Estar (*Wellbeing Index, WI*)

Mostra o quanto a sociedade combina bem estar humano e do ecossistema. A métrica é baseada na filosofia de que avaliar a combinação desses dois elementos dá uma ideia de como o país está próximo de ser sustentável (Prescott-Allen, 2001). Segundo o autor, o bem estar das nações é conhecido pela capacidade de integração dos indicadores humanos e do ecossistema e sensibiliza para a necessidade de planejamento simultâneo do desenvolvimento humano e da proteção dos ecossistemas. Esta métrica envolve questões sociais e ambientais. Os dados foram retirados da literatura (Wilson, 2005) e são do ano 2001.

2.5. Índice de Sustentabilidade Ambiental (*Environmental Sustainability Index, ESI-2002*)

Este Índice foi apresentado em 2002 no Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum, 2002*) por pesquisadores de duas universidades americanas: *Columbia University* e *Yale University*. O Índice de Sustentabilidade Ambiental é uma medida do progresso global para a sustentabilidade, desenvolvida para 142 países e consiste de cinco componentes: sistemas ambientais, redução do estresse ambiental, redução da Vulnerabilidade Humana, capacidade social e institucional e responsabilidade global. Cada um deles é composto por uma série de indicadores.

Sua primeira versão continha 68 variáveis referentes a 20 indicadores, resultando num valor agregado. O índice foi atualizado em 2005 (*ESI-2005*), e foi calculado para 146 países com o acréscimo de mais um indicador totalizando 21 e 76 variáveis.

Essa métrica inclui questões econômicas, sociais e ambientais e apresenta uma abordagem orientada para tomada de decisões ambientais. Os dados foram retirados da literatura (Wilson, 2005) e são do ano 2002.

2.6. Produto Interno Bruto ou PIB (*Gross Domestic Product, GDP*)

Métrica importante para medir o crescimento econômico dos países. É o valor monetário de todos os bens e serviços produzidos pela economia de um país durante um determinado período de tempo (geralmente um ano). Esta métrica só inclui a questão econômica que está relacionada ao dinheiro (riqueza) que circula em um país. Os dados foram retirados da literatura no National Environmental Accounting Database (NEAD, 2000).

2.7. Índice de Desenvolvimento Humano ou IDH (*Human Development Index, HDI*)

Métrica econômico-social conhecida mundialmente para avaliar a qualidade de vida das populações (desenvolvimento humano). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) era calculado utilizando três dimensões: longevidade (medida pela expectativa de vida ao nascer), educação (medida pela taxa de alfabetização de adultos e pela taxa de matrícula nos três níveis de ensino: fundamental, médio e superior) e renda (medida pelo Produto Interno Bruto *per capita*). Em 2010, uma nova metodologia para o cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano foi apresentada também com três dimensões: saúde (medida pela esperança de vida ao nascer), educação (medida pela média de anos de escolaridade e pelos anos de escolaridade esperados) e rendimento (Rendimento Nacional Bruto *per capita*). Este índice é baseado na economia e na sociedade.

Neste estudo foram realizados gráficos de correlação com o IDH do ano 2000, retirados da literatura (Relatório de Desenvolvimento Humano de 2007/2008) e também com a nova metodologia de cálculo, porém com os dados do mesmo ano (2000), também retirados da literatura (Relatório de Desenvolvimento Humano de 2010).

3 Resultados e discussão

De posse da análise em emergia, podem-se calcular os indicadores que poderão ser utilizados para comparar os resultados obtidos com outros indicadores publicados na literatura. O *HDI* e *GDP* são incluídos neste estudo porque são índices aceitos no mundo inteiro como métricas de desenvolvimento.

Os gráficos de correlação foram construídos utilizando o ranking de 134 países para os indicadores em emergia (*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.

A tabela 1 mostra as correlações que existem entre todos os indicadores estudados. Para valores maiores ou iguais a 0,6 ($R^2 \geq 0,6$) considerou-se correlação alta, para valores entre 0,3 e 0,6 ($0,3 \leq R^2 < 0,6$) admitiu-se média correlação e os valores inferiores a 0,3 ($R^2 < 0,3$) foram considerados de baixa correlação. Um resumo das correlações encontradas entre os índices estudados, com a classificação do grau de correlação, são mostrados na tabela 2, levando em consideração as dimensões de sustentabilidade que cada métrica abrange.

Tabela 1. Matriz de correlação entre os indicadores de Emergia e os indicadores conhecidos. Os altos valores de correlação estão em negrito.

	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	
GDP	0,16	0,16	0,22	0,23	0,35	0,22	0,16	0,045	0,57	1

EYR: *Emergy Yield Ratio* (Índice de Rendimento em Emergia); EIR: *Emergy Investment Ratio* (Índice de Investimento em Emergia); ELR: *Environmental Load Ratio* (Índice de Carga Ambiental); ESI: *Environmental Sustainability Index* (Índice de Sustentabilidade Ambiental); EF: *Ecological Footprint* (Pegada Ecológica); SB: *Surplus Biocapacity* (Biocapacidade Excedente); WI: *Wellbeing Index* (Índice de Bem-estar); ESI-2002: *Environmental Sustainability Index* (Índice de Sustentabilidade Ambiental-2002); HDI: *Human Development Index* (Índice de Desenvolvimento Humano); GDP: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto).

Tabela 2. Classificação das métricas selecionadas incluindo as dimensões de sustentabilidade de cada métrica e o grau de correlação entre elas. Os indicadores em emergia estão em negrito.

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, SI, SB, WI
HDI	★	★		EF	EYR, EIR, ELR, ESI, WI, GDP	SB, ESI-2002

Os resultados das correlações do *HDI* de 2000, utilizando tanto a antiga como a nova metodologia (2010) foram semelhantes, portanto só foram apresentados neste estudo os resultados realizados com a metodologia utilizada até 2009.

O Índice de Desenvolvimento Humano (*Human Development Index, HDI*) envolve questões econômicas e sociais e a Pegada Ecológica (*Ecological Footprint, EF*) envolve apenas questões ambientais. A correlação entre estes dois índices, mostrada na figura 1, foi baseada na classificação (*ranking*) de 120 países e mostra um coeficiente de correlação de $R^2 = 0,73$.

A classificação da Pegada Ecológica (*EF*) é inversamente proporcional ao do Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*), mostrando que quanto maior o *HDI*, 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. Apenas 21 dos 120 países estudados possuem Pegada Ecológica menor que 1, ou seja, não estão com a sua biocapacidade comprometida (mais próximos de serem sustentáveis).

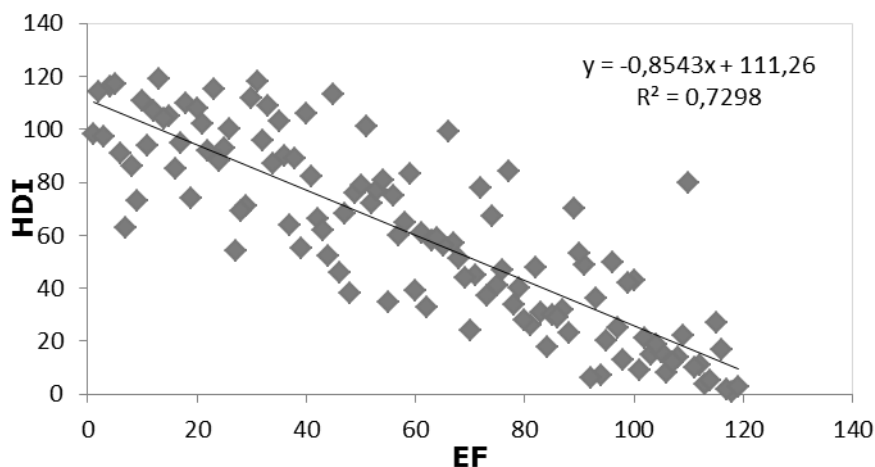


Fig. 1. Correlação das classificações dos países pelo Índice de Desenvolvimento Humano e pela Pegada Ecológica.

A figura 2 mostra a correlação entre o Índice de Biocapacidade Excedente (*Surplus Biocapacity, SB*), que envolve apenas questões ambientais com o Índice de Sustentabilidade Ambiental em Emergia (*Environmental Sustainability Index – ESI*) que envolve duas dimensões de sustentabilidade, a econômica e a ambiental, e nele também se percebe uma alta correlação entre esses índices ($R^2 = 0,64$). Esta correlação 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 emergia) é um índice mais completo, pois contabiliza todos os recursos que entram no sistema incluindo a economia que outras métricas não consideram.

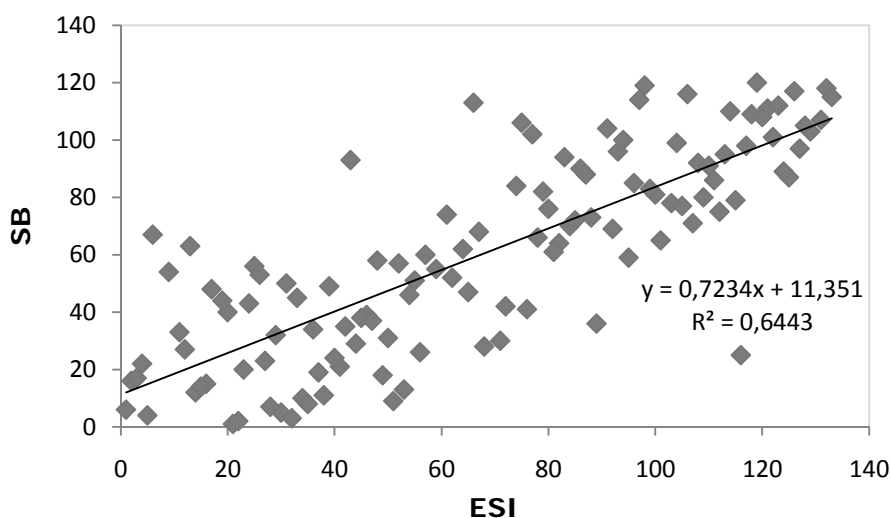


Fig. 2. Correlação do Índice de Biocapacidade Excedente com o Índice de Sustentabilidade Ambiental em Emergia.

4 Conclusão

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.

6 Referências Bibliográficas

Brown, M.T.; Ulgiati, S., 2002. Energy 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 energy 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 Energy 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. EnergySystems.org. National Environmental Accounting Database. Disponível em: <http://www.emergysystems.org/need.php>. Acessado em abril/2010.

Odum, H. T. *Environmental Accounting: Energy 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 emergy 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.