



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP
Faculdade de Engenharia de Alimentos - FEA
Departamento de Engenharia de Alimentos - DEA
Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada - LEIA

AVALIAÇÃO ECOLÓGICA-TERMODINÂMICA E ECONÔMICA DE NAÇÕES: O PERU COMO ESTUDO DE CASO

Tese apresentada à banca examinadora como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos.

RAÚL BENITO SICHE JARA

Engenheiro Agroindustrial – Universidad Nacional del Santa – UNS (Peru), 1998
Mestre em Economia - Universidad Nacional de Trujillo – UNT (Peru), 2001

Orientador: Prof. Dr. Enrique Ortega Rodriguez

Campinas - 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

Si12a Siche Jara, Raúl Benito
Avaliação ecológica-termodinâmica e econômica de nações: o Peru
como estudo de caso / Raúl Benito Siche Jara. -- Campinas, SP: [s.n.],
2007.

Orientador: Enrique Ortega Rodriguez
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade
de Engenharia de Alimentos.

1. Pegada ecológica. 2. Emergia. 3. Exergia. 4.
Termodinâmica. 5. Sustentabilidade. I. Ortega Rodriguez, Enrique.
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de
Alimentos. III. Título.

Título em inglês: Evaluation ecological-thermodynamics and economic of nations: Peru
as case study

Palavras-chave em inglês (Keywords): Ecological footprint, Emergy, Exergy,
Thermodynamic, Sustainability

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Enrique Ortega Rodríguez

Ademar Ribeiro Romeiro

Maria Silvia Romitelli

Jorge Isaias Llagostera Beltrán

José Maria Gusman Ferraz

Mario Vito Comar

Data da defesa: 12/12/2007

Programa de Pós Graduação: Programa em Engenharia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Enrique Ortega Rodriguez
Orientador – DEA/FEA/UNICAMP

Dr. Ademar Ribeiro Romeiro
Membro – Instituto de Economia/UNICAMP

Dr. Maria Silvia Romitelli
Membro – CETESB

Dr. Jorge Isaias Llagostera Beltrán
Membro – FEM/UNICAMP

Dr. José Maria Gusman Ferraz
Membro – Embrapa/CNPMA

Dr. Mario Vito Comar
Membro – IMAD

*Às minhas filhinhas
Nikol e Kiara,
e a minha esposa
Delia.*

*Aos meus pais
Luis Siche e Rosa Jara,
e aos meus irmãos
Marco, Américo, e Graciela.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo amor, a paciência, apoio e esperança depositados em mim;

Ao professor Ortega pela orientação e dedicação a meu trabalho de tese;

Aos amigos de laboratório, Alexandre, Consuelo, Daniel, Edson, Fabio, Feni, John, Lucas, Marlei, Otávio, Teldes, Watanabe, pelo trabalho em equipe, pela colaboração na revisão do português da minha tese, e por me suportar. Juro não encher nunca mais o saco deles;

Aos amigos da pós-graduação, Abraão, Caiçara, Daniel, Douglas, Guillerme, Jaque, Klicia, Lou, Nara, Roque, que foram companheiros nas horas difíceis e nos momentos de alegria, ficarão na minha lembrança para sempre;

Aos meus amigos peruanos, Arturo, Edson (Farofinha), Elmer, César (Tete), Delia e Harold, Haroldo, Helmo (pollito), Lalo, Lenita, Mirko, Rolando (chatín), Wilmer, por juntos compartilhar momentos inesquecíveis;

Ao Dr. Ademar Ribeiro Romeiro, por integrar a banca e colaborar com seus conhecimentos ao enriquecimento do capítulo 3 desta tese;

À Dra. Maria Silvia Romitelli, por integrar a banca e pela contínua disposição em colaborar;

Ao Dr. Jorge Isaias Llagostera Beltrán, por integrar a banca e pelas aulas ministradas, que serviram de muito na aplicação da análise exergética ao caso peruano;

Ao Dr. José María Gusman Ferraz, por integrar a banca e pelas dicas para melhorar o meu trabalho;

Ao Dr. Mario Vito Comar, por integrar a banca e apesar do pouco tempo de conhecê-lo soube aportar para enriquecer esta tese.

À Universidad Nacional de Trujillo (Peru) pelo tempo de licença que me foi concedido para cumprir com esta aspiração pessoal.

*Só depois da última árvore ter sido cortada;
o último rio ter sido envenenado;
e o último peixe ter sido pescado;
é que o homem descobrirá que o dinheiro não pode ser comido.*

Profecia dos índios nativos das Américas

*“Só conheço duas coisas infinitas, o universo e a estupidez humana.
Não estou muito seguro da primeira, da segunda posso observar como somos aniquilados
somente por mostrar quem pode mais”.*

Albert Einstein

Sumário

RESUMO.....	XVII
ABSTRACT	XIX
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Objetivos gerais.....	5
1.3. Organização da Tese.....	5
1.4. Referências Bibliográficas.....	7
2. ANÁLISE SÓCIO-ECONÓMICA E AMBIENTAL DO PERU.....	9
2.1. Generalidades.....	11
2.2. Breve análise da economia peruana.....	13
2.3. Aspectos sociais.....	19
2.4. Aspectos ambientais.....	20
2.5. Explicação sistêmica do Peru.....	46
2.6. Referências bibliográficas.....	48
3. ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE: ANÁLISE COMPARATIVA	53
3.1. Introdução.....	55
3.2. Índices de sustentabilidade: conceitos e fundamentos.....	58
3.3. Análise comparada.....	65
3.4. Resultados.....	71
3.5. Discussão.....	76
3.6. Conclusões.....	81
3.7. Referências bibliográficas.....	83
4. ANÁLISE DA PEGADA ECOLÓGICA DO CASO PERUANO.....	87
4.1. Introdução.....	89
4.2. Economia ecológica.....	91
4.3. A Pegada Ecológica.....	94
4.4. Críticas à Pegada Ecológica.....	120
4.5. Novas propostas no cálculo da Pegada Ecológica.....	122
4.6. A Pegada Ecológica da Sociedade Peruana.....	123
4.6.1. Metodologia.....	123
4.6.2. Resultados e discussão da EF-GAEZ para o caso peruano.....	128
4.7. Conclusões.....	134
4.8. Referências bibliográficas.....	136
5. ANÁLISE EXERGÉTICA DA SOCIEDADE PERUANA.....	141
5.1. Introdução.....	143
5.2. Fluxos exergéticos em uma sociedade.....	145
5.3. Metodologia.....	146
5.4. Resultados e discussão.....	150
5.5. Conclusões.....	159
5.6. Referências bibliográficas.....	160

6. ANÁLISE EMERGÉTICA DO PERU.....	163
6.1. Introdução.....	165
6.2. Emergia e economia.....	167
6.3. Princípio da máxima empotência.....	167
6.4. Emergia e outras quantidades termodinâmicas.....	169
6.5. Análise emergética.....	170
6.6. Metodologia.....	175
6.7. Resultados e discussão.....	179
6.8. Conclusões.....	192
6.9. Referências bibliográficas.....	194
7. PROPOSTA DE DUAS METODOLOGIAS CONVERGENTES.....	197
7.1. Introdução.....	199
7.2. Métodos propostos.....	203
7.3. Resultados e discussão.....	213
7.4. Conclusões.....	226
7.5. Referências bibliográficas.....	227
8. CONCLUSÕES GERAIS.....	231
9. ADENDOS	
9.1. Apêndice 1. Cálculo dos fluxos da Economia do Peru (2004).....	239
9.2. Apêndice 2. Artigo: Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países.....	245
9.3. Apêndice 3. Artigo: Sustainability of nations by indices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and emergy performance indices.....	255
9.4. Apêndice 4. Artigo: Contabilidad de la Huella Ecológica basada en la emergía – caso Peruano.....	265
9.5. Apêndice 5. Artigo: Aplicativo para estimar el potencial hidroenergético de una región geográfica (PTHYDRO v 2.0).....	271
9.6. Apêndice 6. Artigo: Method to Estimate biomass production in natural ecosystems.....	277
9.7. Apêndice 7. Artigo: Emergy-based Sustainability of the Peruvian economy.....	287
9.8. Apêndice 8. Cálculo dos Fatores de Rendimento (YF) para o Peru, 2004.....	299
9.9. Apêndice 9. Artigo: Proposta: Índices termodinâmicos (Emergia e Exergia) para avaliar a sustentabilidade de Economias Nacionais.....	301
9.10. Apêndice 10. Artigo: Ecological Footprint based on Emergy (EEF): Peru as case study....	311
9.11. Apêndice 11. Artigo: Emergy Net Primary Production (ENPP) as basis for calculation of Ecological Footprint.....	325
9.12. Anexo 1. Biodiversidade e Áreas protegidas – Peru (EarthTrends, 2003).....	343
9.13. Anexo 2. Símbolos da linguagem de fluxos de energia para representar Sistemas Emergéticos.....	345
9.14. Anexo 3. Fatores e valores exergéticos das fontes e recursos utilizados por um sistema nacional.....	347
9.15. Anexo 4. Transformidades utilizadas no cálculo dos Índices de Desempenho Emergético (EMPIs) de uma Economia Nacional.....	351
9.16. Anexo 5. Indicadores e variáveis utilizados na construção do ESI-2005.....	355
9.17. Anexo 6. Características dos Clusters utilizados na comparação cruzada de países no ESI-2005.....	357

Índice de Figuras

Figura 2.1. Localização e divisão política do Peru.....	11
Figure 2.2. Densidade populacional dos países da América do Sul.....	12
Figura 2.3. Importações e Exportações do Peru (1970 – 2006).....	16
Figura 2.4. Registro histórico da inflação do Peru (1980 – 2006).....	17
Figura 2.5. Trajetória do PIB per capita e níveis de pobreza: Peru 1985 – 2004.....	19
Figura 2.6. Regiões naturais do Peru.....	22
Figura 2.7. A Corrente de Humboldt e a Corrente de El Niño.....	24
Figura 2.8. (a) Circulação observada no Oceano Pacífico Equatorial em anos sem a presença do El Niño. (b) Padrão de circulação observada em anos de El Niño na região equatorial do Oceano Pacífico	25
Figura 2.9. (a) Distribuição territorial e (b) populacional do Peru por regiões naturais.....	27
Figura 2.10. Dunas de Ica.....	28
Figura 2.11. Nevado Huascarán.....	30
Figura 2.12. Rio Amazonas.....	32
Figura 2.13. Percentagem de território nacional declarado como área protegida.....	35
Figura 2.14. Explicação sistêmica do funcionamento do Peru (2007).....	47
Figura 3.1. Nível de agregação de dados de uma determinada ferramenta de avaliação da sustentabilidade.....	60
Figura 3.2. Pegada Ecológica: (a) Pegada e Biocapacidade; (b) Saldo Ecológico.....	71
Figura 3.3. Índice de Sustentabilidade Ambiental (Valor e Ranking).....	72
Figura 3.4. Índices de Desempenho Emergético: Renovabilidade (REN) e Índice de Sustentabilidade Emergético (EMSI).....	73
Figura 3.5. Perfil comparativo dos valores de sustentabilidade.....	74
Figura 3.6. Correlações entre os índices avaliados.....	75
Figura 4.1. A pegada Ecológica da humanidade, 1961 – 2003.....	90
Figura 4.2. A economia ecológica como uma disciplina pluralista.....	92
Figura 4.3. Áreas bioprodutivas globais (em ha e gha) para o ano 2003.....	98
Figura 4.4. Duas formas de calcular a EF – GAEZ : (a) Enfoque composto; (b) Enfoque baseado em componentes.....	103
Figura 4.5. Tipos de áreas usados na análise da pegada ecológica.....	104

Figura 4.6. Pegada global por categorias de consumo: (a) total; (b) per capita; 1960-2003.....	112
Figura 4.7. Mapa da Pegada Ecológica mundial, 2003.....	119
Figura 4.8. Saldo Ecológico. (a) Déficit Ecológico, (b) Reserva Ecológica.....	119
Figura 4.9: Saldo ecológico segundo a EF-GAEZ, 2003.....	121
Figura 4.10. Estrutura do cálculo da biocapacidade do Peru, 2004.....	126
Figura 4.11. Estrutura do cálculo da Pegada do Peru, 2004.....	127
Figura 4.12. Biocapacidade do Peru por categorias usando o enfoque EF - GAEZ, 2004.....	130
Figura 4.13. Pegada do Peru por categorias usando o enfoque EF-GAEZ, 2004.....	131
Figura 4.14. Saldo ecológico segundo o enfoque EF-GAEZ para o Peru, 2004.....	132
Figura 4.15. Tendências da Pegada e Biocapacidade do Peru: (a) Modelos lineais, anos 2001 – 2004; (b) Modelos exponenciais, anos 1996 – 2004.....	134
Figura 5.1. Fluxos exergéticos sobre um país.....	146
Figura 5.2. Fluxos exergéticos das entradas e saídas em um sistema nacional.....	147
Figura 5.3. Balanço exergético do Peru, ano 2004 (em E+17 J/ano).....	156
Figura 5.4. Sustentabilidade de uma economia nacional com base na análise exergética..	158
Figura 6.1. Hierarquia dos processos de transformação energética.....	168
Figura 6.2. Diagrama sistêmico agregado para uma economia nacional.....	178
Figura 6.3. Diagrama sistêmico agregado dos fluxos emergéticos da economia Peruana (2004)..	186
Figura 7.1. Diagrama emergético simplificado do Peru.....	214
Figura 7.2. Pegada do Peru por categorias no enfoque EEF, 2004.....	217
Figura 7.3. Balance ecológico para o Peru em 2004, usando o método EEF.....	218
Figura 7.4. Saldo Ecológico do Peru no enfoque EF-ENPP por categorias.....	223
Figura 7.5. Comparação da relação BC/EF para os métodos analisados.....	225

Índice de Tabelas

Tabela 2.1. Produto Interno Bruto (PIB) do Peru para o período de 1991 a 2006.....	14
Tabela 2.2. Indicadores do setor externo para o Peru no período de 1991 à 2006.....	15
Tabela 2.3. Variação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Peru.....	20
Tabela 2.4. Principais variáveis climáticas da Costa entre 1992 e 2004.....	29
Tabela 2.5. Principais variáveis climáticas da Serra entre 1991 e 2004.....	31
Tabela 2.6. Principais variáveis climáticas da Selva entre 1992 e 2004.....	33
Tabela 2.7. Distribuição do solo peruano em categorias de terra (em hectares).....	39
Tabela 3.1. Agregação dos dados dos métodos avaliados.....	76
Tabela 3.2. Caracterização das metodologias avaliadas.....	78
Tabela 4.1. Áreas bioprodutivas, EQF-GAEZ's e Biocapacidade global.....	99
Tabela 4.2. Fatores de Rendimento de países selecionados, 2001.....	101
Tabela 4.3. Componentes relevantes considerados no EF-GAEZ-Componentes.....	104
Tabela 4.4. Área das zonas bioprodutivas e a biocapacidade global, 2003.....	106
Tabela 4.5. A Pegada global por categorias, 2001 e 2003.....	109
Tabela 4.6. Exemplos de produtos primários e secundários.....	110
Tabela 4.7. Fatores de equivalência globais e de rendimento para o Peru, 2004.....	124
Tabela 4.8. Biocapacidade do Peru por categorias usando o enfoque EF-GAEZ, 2004.....	129
Tabela 4.9. Pegada do Peru por categorias usando o enfoque EF-GAEZ, 2004.....	130
Tabela 4.10. Sustentabilidade da economia Peruana segundo a EF – GAEZ (1996-2004).....	133
Tabela 5.1. Energia e Exergia dos Recursos renováveis naturais do Peru (2004).....	151
Tabela 5.2. Energia e Exergia dos Recursos renováveis locais do Peru (2004).....	152
Tabela 5.3. Energia e Exergia dos Recursos não renováveis usados no Peru (2004).....	153
Tabela 5.4. Energia e Exergia dos Recursos importados ao Peru (2004).....	154
Tabela 5.5. Energia e Exergia dos Recursos exportados do Peru (2004).....	155
Tabela 5.6. Indicadores de eficiência e sustentabilidade exergética para o Peru (2004).....	157
Tabela 6.1. Fluxos e relações emergéticas calculados para o Peru.....	179
Tabela 6.2. Indicadores e índices emergéticos calculados para o Peru.....	180
Tabela 6.3. Fluxos emergéticos das fontes renováveis do Peru.....	180
Tabela 6.4. Fluxos emergéticos dos setores produtivos renováveis (2004).....	182
Tabela 6.5. Fluxos emergéticos dos recursos não renováveis (2004).....	183
Tabela 6.6. Avaliação emergética dos recursos importados (2004).....	184

Tabela 6.7. Fluxos energéticos dos recursos exportados (2004).....	185
Tabela 6.8. Resumo dos fluxos energéticos no Peru (2004).....	187
Tabela 6.9. Comércio internacional do Peru em valores energéticos e monetário (2004).....	188
Tabela 6.10. Indicadores energéticos da economia do Peru (2004).....	190
Tabela 6.11. Índices de desempenho ecológico da economia do Peru.....	192
Tabela 7.1. Cálculo dos Fatores de Equivalência (EQF) para ecossistemas globais, baseado no NPP expressado em joules equivalentes solares (seJ/m ² /ano).....	208
Tabela 7.2. Fatores de Equivalência e de Rendimento Local, e Rendimentos médios globais usados nos cálculos da EF-ENPP do Peru para o ano 2004.....	210
Tabela 7.3. Zonas consideradas no cálculo da biocapacidade no enfoque EF-ENPP.....	211
Tabela 7.4. Biocapacidade do Peru segundo o método EEF, 2004.....	214
Tabela 7.5. Pegada do Peru por categorias através do método EEF, 2004.....	216
Tabela 7.6. Biocapacidade do Peru usando o método EF-ENPP, 2004.....	219
Tabela 7.7. A pegada do Peru no método EF-ENPP, 2004.....	221
Tabela 7.8. Saldo Ecológico do Peru no enfoque EF-ENPP por categorias.....	222

RESUMO

Siche, J.R. 2007. Avaliação ecológica – termodinâmica e econômica de nações: o Peru como estudo de caso. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.

Durante as últimas décadas tem se incrementado as preocupações relacionadas à degradação de sistemas sócio-ambientais. Este trabalho permite acrescentar o interesse na busca de métodos adequados de contabilidade ambiental que ajudem a medir a sustentabilidade. Os métodos aplicados nesta tese foram: a Pegada Ecológica, Análise exergética, e Análise Emergética. A base de nosso cálculo foi a economia do Peru tomando dados do ano 2004 como referência. Os resultados da aplicação destes métodos mostram que a tendência da economia do Peru é de diminuir sua sustentabilidade, tendência que se explica pela dependência crescente dos recursos não renováveis, principalmente combustíveis fósseis. Se bem a sustentabilidade do Peru é boa atualmente, uma diminuição de sua capacidade de suporte, como esta ocorrendo, reverteria a sua condição atual. Na parte final deste trabalho se apresentam duas propostas, que integram conceitos da Pegada Ecológica e Análise Emergética, para avaliar o desempenho ecológico de um sistema nacional, os quais pretendem ser mais abrangentes e compreensivos que os métodos convencionais.

Palavras chave: Pegada Ecológica, Emergia, Exergia, termodinâmica, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Siche, J.R. 2007. Evaluation ecological-thermodynamics and economic of nations: Peru as case study. Doctoral Thesis. Faculty of Food Engineering, State University of Campinas, São Paulo, Brazil.

In recent decades has increased the preoccupations related to the deterioration of socio-environmental systems. This work allows add the interest in the search for appropriate methods of environmental accounting to help measure the sustainability. In this thesis, the methods following were applied: the Ecological Footprint, Exergy Analysis and Emergy Analysis. The basis for our calculation was the Peruvian economy taking data from year 2004 as reference. The results of the application of these methods show that the tendency of the Peruvian economy is decrease its sustainability; trend can be explained by the growing dependence of non-renewable resources, particularly fossil fuels. Although, the Peruvian sustainability is good now, a decrease of its ability to support, as this occurs, revert its current condition. At the end of this work are presented two proposals, which include concepts of Ecological Footprint and Emergy Analysis, to assess the environmental performance of a national system, which claim to be more widespread and understanding that the conventional methods.

Key words: Ecological Footprint, Emergy, Exergy, Thermodynamic, Sustainability.

CAPÍTULO I:
INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1. ANTECEDENTES

No final dos anos 60 e início dos anos 70, devido ao choque do petróleo, começou-se a prestar maior atenção econômica, política e social, ao tema dos recursos naturais, da energia e do ambiente em geral, passando a ser o futuro da vida em nosso planeta uma matéria de constante interesse. Esta atenção aponta como crítica principal, a um conflito entre o modelo de desenvolvimento econômico vigente e preservação dos recursos ambientais.

É de grande destaque o impacto da publicação do Clube de Roma, "The Limits to Growth" (Meadows, 1972). Tal trabalho aponta para um cenário catastrófico de impossibilidade de perpetuação do crescimento econômico devido à exaustão dos recursos ambientais por ele acarretada, levantando assim a proposta de um crescimento econômico "zero". Embora este trabalho tenha sido muito criticado, ele tornou pública pela primeira vez a idéia de que o desenvolvimento poderia ser limitado pelo tamanho finito dos recursos terrestres. Assim, o debate passa então a polarizar-se entre três posições: (1) de "**crescimento zero**", (2) posições desenvolvimentistas de "**direito ao crescimento**", defendida pelos países do terceiro mundo (Conferência UNCED em Estocolmo, 1972); e (3) a tese do **Ecodesenvolvimento**, segundo a qual desenvolvimento econômico e preservação ambiental não são incompatíveis, mas, ao contrário, são interdependentes para um efetivo desenvolvimento, ou seja, o desenvolvimento deve ser entendido pela eficiência econômica, equilíbrio ambiental e pela equidade social (WCED, 1987).

De um modo geral, desenvolvimento sustentável é, hoje, o ponto de passagem obrigatório no debate da questão ambiental na economia. Mas, percebe-se que, na valoração da sustentabilidade de sistemas, falta ainda uma fundamentação conceptual e metodológica coerente para concluir o que é sustentável ou não. Não obstante, a discussão acadêmica, a respeito deste ponto, está baseada em dois grandes enfoques conceptuais diferentes: (1) os métodos de valoração ecológica que têm como sua principal crítica não considerar as necessidades humanas, e (2) os métodos econômicos cuja característica comum é sua ênfase nas preferências do consumidor, mas deixando de lado a capacidade de suporte do sistema. Segundo Winkler (2006), para que um método de valoração possa ser usado como guia do comportamento humano para um uso eficiente e sustentável dos recursos naturais, uma aproximação equilibrada destes dois enfoques é necessária.

Nos anos 60 surgem alguns trabalhos clássicos que promoveram forte impacto na comunidade acadêmica, devido aos resultados diferenciados e divergentes dos encontrados pela economia convencional. No grupo destes trabalhos podem ser citados os seguintes: "The Economics of the Coming Spaceship Earth" de Boulding (1966), "On Economics as a Life Science" de Daly (1968), "The Entropy Law and the Economic Process" de Georgescu-Roegen (1971), "Environment, Power and Society" de Odum (1971), entre outros. Estas publicações vieram a constituir em um campo próprio de análise do sistema econômico, apoiado em conceitos e ferramentas biofísico-ecológicos, denominado "bioeconomia", o qual veio produzindo abordagens e resultados diferenciados (e mesmo divergentes) dos encontrados pelas teorias econômicas convencionais. Neste contexto, está justamente a raiz do que veio posteriormente a constituir-se na Economia Ecológica. Esta linha de raciocínio origina-se nas ciências físicas e biológicas, onde a partir das especialidades relacionadas às questões ambientais, ecológicas e energéticas veio-se progressivamente desenvolvendo análises do funcionamento do sistema econômico e das inter-relações entre este e o sistema ambiental.

Neste caminho, uma das mais importantes contribuições ao uso de indicadores de sustentabilidade foi dada por Rees (1992) com o desenvolvimento do índice Pegada Ecológica (Ecological Footprint - EF). A metodologia original consistiu em construir uma matriz "consumo/uso de terra" utilizando as principais categorias do consumo e uso de terra. Outras tentativas interessantes no desenvolvimento de índices para avaliar a sustentabilidade de países foram publicadas em revistas especializadas, mas desafortunadamente, estes métodos reservam um alto nível de manipulação quando eles avaliam o total de contribuições pelo uso de diferentes fatores ponderados e unidades.

Nos últimos anos, metodologias termodinâmicas - energéticas tem ganhado importante lugar na discussão internacional sobre a sustentabilidade de países. Sendo que, todo uso de energia tem limites, seja porque o recurso energético é limitado ou porque seu impacto ambiental impõe limites, se faz necessário delinear técnicas de utilização da energia mais eficientes. Isto tem conduzido à procura de métodos que avaliem estas eficiências energéticas. O método de Análise Energético (IFIAS, 1974), pode ser considerado como uma tentativa pioneira para relacionar efeitos ambientais do uso energético. A idéia de utilizar exergia em fluxos de materiais da economia de um país foi

introduzida e iniciada por Reistad (1975) onde a exergia de recursos energéticos foi estudado para a sociedade dos Estados Unidos. Nesta mesma linha, Odum (1996) propôs a análise emergética como uma alternativa à contabilidade econômica do ambiente. Um aspecto comum entre as análises, exergética e emergética, deve-se ao fato de que ambas consideram o sistema econômico como um sistema termodinâmico aberto e contabilizam os fluxos da economia analisada, incluindo os fluxos da natureza, em unidades de exergia e emergia.

1.2. OBJETIVOS GERAIS

Devido a que resulta de grande interesse analisar com profundidade os aspectos conceituais e metodológicos com que cada método avalia a sustentabilidade de países, é que nesta tese focamos os nossos objetivos para:

1. Comparar e analisar os principais indicadores e índices de sustentabilidade, e aplicá-los ao caso peruano com dados de 2004.
2. Propor métodos alternativos para avaliar a sustentabilidade de países, que superem as deficiências dos métodos atuais.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA TESE

Visando uma melhor leitura e principalmente ante as novas tendências no que respeita a publicações, a presente tese foi organizada por capítulos, em forma de artigos, da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução e objetivos: Dá uma visão geral ao tema da valoração da sustentabilidade de nações, justifica e apresenta os objetivos do trabalho.

Capítulo 2 – Análise sócio-econômica e ambiental do Peru: Descreve a situação econômica, social e ambiental do Peru, focando a discussão para o ano 2004. Dados do ano 2004 são usados nas análises posteriores.

Capítulo 3 – Índices de sustentabilidade: Análise comparativa: Apresenta uma discussão comparativa dos principais índices e/ou indicadores que medem a

sustentabilidade em países. Este capítulo serviu para escolher os indicadores e índices de sustentabilidade para nossas análises futuras.

Capítulo 4 – Análise da Pegada Ecológica do caso Peruano: Analisa o consumo da sociedade Peruana (Pegada) no ano de 2004, e como aquele consumo está se apropriando das áreas bioprodutivas do país (biocapacidade).

Capítulos 5 – Análise Exergética da sociedade Peruana: Mostra o balanço termodinâmico do Peru sob o enfoque da segunda lei da termodinâmica. Resultados das irreversibilidades do país, a renovabilidade e a eficiência exergética são mostrados como os principais indicadores.

Capítulo 6 – Análise Emergética do Peru: Mostra outro tipo de balanço termodinâmico para o Peru, mas sob o enfoque da análise emergética. Neste capítulo foram propostos novos indicadores que poderiam ajudar a avaliar melhor a situação ambiental do país (perda de solo, desmatamento, etc.).

Capítulo 7 – Proposta de duas metodologias convergentes: Neste capítulo propõem-se dois métodos baseados na junção da Pegada Ecológica e Análise Emergética, como enfoques com maior similaridade de resultados.

Capítulo 8 – Conclusões gerais: Faz um resumo das principais conclusões da tese em concordância com os objetivos propostos.

Finalmente sugestões para trabalhos futuros visando à complementação deste estudo são apresentadas.

1.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boulding, K. E. 1966. The economics of the coming spaceship Earth. In H. Jarrett (Ed.) Environmental quality in a growing economy. Baltimore: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, pp. 3-14.
- Daly, H.E. 1968. On economics as a life science. *Journal of Political Economy* 76: 392-406.
- Georgescu-Roegen, N. 1971. The entropy law and the economic process. Harvard University Press. Cambridge, Massachussets.
- IFIAS (International Federation of Institutes of Advanced Study). 1974. Energy Analysis. Workshop reports (Report 6) and Energy analysis and Economics (Report 9).
- Odum, H.T. 1971. Environment, Power and Society. J. Wiley & Sons. New York.
- Odum, H.T. 1996. Environmental Accounting, Emergy and Decision Making. J. Wiley, NY.
- Meadows, D.H. et al. 1972. The Limits to growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Man Kind. New York: Universe Books.
- Rees, W. 1992. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economies leaves out. *Environment and Urbanization* 4, 121-130.
- Reistad, G.M. 1975. Available energy conversion and utilization in the United States. *ASME J Engineering Power* 97, 429-434.
- Winkler, R. 2006. Valuation of ecosystem goods and services. Part 1: An integrated dynamic approach. *Ecological Economic* 59, 82-93.
- WCED - World Commission on Environment and Development. 1987. Our Common Future. Oxford University Press.

CAPÍTULO II:
ANÁLISE SÓCIO-ECONÔMICA E
AMBIENTAL DO PERU

RESUMO

Para obter indicadores e/ou índices que expliquem a complexidade de um sistema, existe a necessidade de estudá-lo profundamente, procurando entender as interações que ocorrem nos subsistemas que o compõem, com e sem a intervenção humana e determinando os aspectos relevantes para seu monitoramento. Uma análise profunda do sistema conduz à construção de indicadores e/ou índices eficazes que interpretam sua realidade. Assim, neste capítulo foram levantados os principais aspectos territoriais, econômicos, sociais e, principalmente, ambientais do Peru. Esses aspectos são utilizados nas análises posteriores desta tese para a obtenção de indicadores e índices de sustentabilidade.

2.1. GENERALIDADES

O Peru é um país sul-americano, litoral, andino, altiplánico e amazônico (Figura 2.1). Também integram seu território 200 milhas de mar territorial no Oceano Pacífico e sua respectiva plataforma continental.

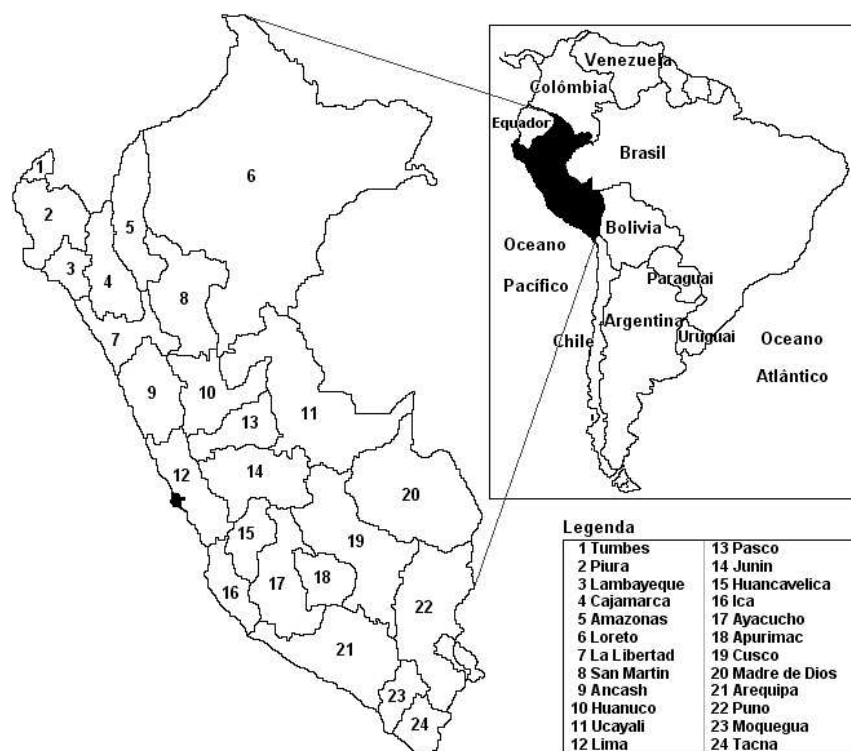


Figura 2.1. Localização e divisão política do Peru.

A superfície continental peruana se estende entre os meridianos 68°39'27" (boca do rio Abuyama no estado de Madre de Deus) e 81°19'34.5" (Punta Balcón, no estado de Piura); e entre os paralelos 0°01'48" (Thalweg no rio Putumayo, estado de Loreto) e 18°21'03" (Pascana do Hueso, no estado de Tacna).

O Peru é o terceiro país em extensão na América do Sul, depois do Brasil e da Argentina, com uma superfície continental de 1.285.215,6 km². Inclui o território peruano, as ilhas do Mar Pacífico Peruano e a parte peruana do Lago Titicaca e suas ilhas. Além disso, o Peru tem soberania e jurisdição sobre uma extensão de 200 milhas marinhas (371 km² do Mar Pacífico Peruano) do Oceano Pacífico, adjacente a seu litoral marinho com 3.079,5 km de comprimento.

Os limites do Peru ao norte são: com o Oceano Pacífico (Mar do Equador) em uma extensão de 200 milhas marinhas (371 km aprox.), com o Equador em uma extensão de 1.529 km, e com a Colômbia em 1.506 km; pelo Leste: com o Brasil em 2.823 km, com a Bolívia em 1.047 km; pelo Sul: com o Chile em 169 km, com o Oceano Pacífico (Mar de Chile) em uma extensão de 371 km que inclui as 200 milhas de mar territorial; pelo Oeste: com o Oceano Pacífico (Figura 2.1). O Peru tinha no ano de 2004 uma população de 27.219.264 habitantes (INEI, 2006) e uma densidade populacional de 21,2 pessoas por km² (Figura 2.2).

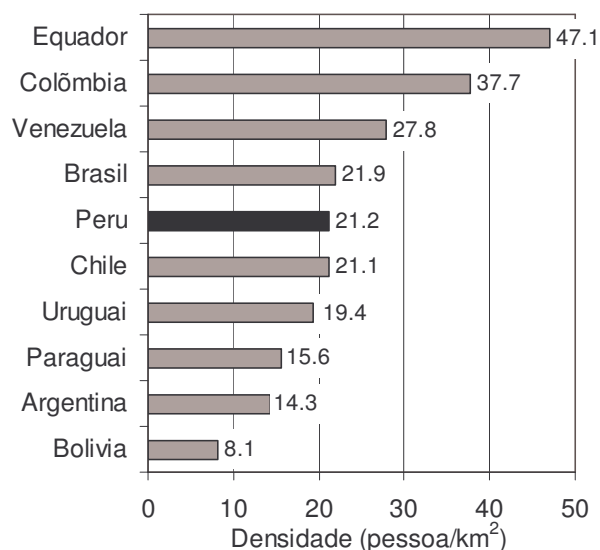


Figure 2.2. Densidade populacional dos países da América do Sul.

Fonte: Elaborado com dados do ENEI (2006)

2.2. BREVE ANÁLISE DA ECONOMIA PERUANA

Atualmente, o Peru está em rápida recuperação de sua economia que se visualiza principalmente no crescimento alcançado nos últimos seis anos (2001 – 2006) e nas contas externas, onde o déficit comercial começa a reverter sua tendência ascendente que predominou na década anterior. Nos últimos cinco anos, a economia peruana cresceu em média 5,7% ao ano. Em 2006 o consumo de produtos e serviços (eletrodomésticos, celulares e restaurantes) aumentou em ritmos da ordem de 20% a 35%. É esperado que esta tendência se mantenha nos próximos anos, tendo em conta novos investimentos que abrangem áreas como transporte, combustíveis, telecomunicações, saneamento, turismo, petróleo, gás e mineração. Um dos maiores projetos de investimento no Peru é o da liquefação do gás natural do campo de Camisea, chegando a USD 3 bilhões, que deve transformar ao país em exportador deste segmento no ano 2008.

Em 2006, a inflação peruana foi de 1,1%, enquanto a taxa básica de juros ficou em 4,5%. No mesmo ano, o país teve um superávit nominal (isto é, incluindo o pagamento de juros) nas contas públicas de 2,1% do Produto Interno Bruto (PIB), e a relação entre a dívida pública e o PIB caiu de 45% em 2003 para 27,8% em 2006. A carga tributária é de apenas 19%. Na área externa, o superávit em conta corrente do Peru atingiu 2,6% do PIB em 2006, e as reservas internacionais de US\$ 19 bilhões correspondem a 20% do PIB.

Um dos principais fatores responsáveis por esse bom desempenho econômico do Peru é o crescimento internacional dos commodities, que beneficiou os diversos minerais que o país produz e exporta. As exportações de minérios em 2006 correspondem a quase 64% das vendas externas totais do país. Observa-se, assim, que o crescimento econômico peruano possui uma perigosa dependência da exportação de minérios, já que o valor de venda dos minerais está sujeito às eventuais variações dos preços dos recursos naturais no mercado global.

2.2.1. Produto Interno Bruto (PIB)

Em 2006 o Peru tinha um PIB nacional de US\$ 93.268 milhões e um PIB per capita de USD 3.374 (BCRP, 2007). Na Tabela 2.1 podemos notar dois períodos distintos no

comportamento do PIB. No período de 1991 a 2001, observamos um crescimento do PIB (5,4% em média anual), mas não a um ritmo estável. Já no período de 2002 a 2006, o ritmo de crescimento é estável, com uma média de crescimento anual de 11,6%. Situação parecida é apontada pelo PIB per capita. Para o ano 2004, ano base para nossas futuras avaliações nesta tese, o Peru teve um PIB de 69.932 milhões de dólares, equivalente a 2.539 dólares per capita.

O crescimento estável da produção nestes últimos anos está associado ao dinamismo da demanda interna, observada em um crescimento do investimento privado, principalmente no setor de construção e das importações de bens de capital (BCRP, 2007).

Tabela 2.1. Produto Interno Bruto (PIB) do Peru para o período de 1991 a 2006.
(A preços correntes)

Ano	Produto Interno Bruto (milhões de	PIB per capita (US\$/pessoa)	Variação percentual	
			PIB	PIB per capita
1991	33.357	1.506		
1992	34.580	1.534	3,7	1,8
1993	34.631	1.509	0,1	-1,6
1994	44.808	1.918	29,4	27,1
1995	52.577	2.206	17,3	15,0
1996	54.832	2.260	4,3	2,5
1997	58.346	2.364	6,4	4,6
1998	57.339	2.284	-1,7	-3,4
1999	51.300	2.010	-10,5	-12,0
2000	53.183	2.050	3,7	2,0
2001	54.059	2.052	1,6	0,1
2002	57.328	2.143	6,0	4,5
2003	61.125	2.252	6,6	5,1
2004	69.932	2.539	14,4	12,8
2005	79.283	2.837	13,4	11,7
2006	93.268	3.374	17,6	18,9

Fonte: Elaborado com dados de PIB (INEI, 2007), população (Ferrando et al., 2001), e taxa de cambio (BCRP, 2007).

2.2.2. Balança Comercial

A favorável conjuntura externa contribuiu para que o Peru alcançasse, em 2006, um superávit comercial pelo quinto ano consecutivo. O notável crescimento das exportações peruanas nos últimos anos se sustenta através do dinamismo de seus principais sócios comerciais, assim como pelos altos preços de suas matérias primas, principalmente dos minerais. Estes resultados, junto com uma entrada líquida de capitais, permitiram que o Peru acumulasse reservas internacionais líquidas de USD 17.274,82 milhões no ano de 2006 (BCRP, 2007).

A partir de 1999 iniciou-se um crescimento mais acelerado das exportações até o ano de 2002, resultando em uma balança comercial positiva (Tabela 2.2). Esse resultado, em grande parte é devido ao desempenho dos grandes investidores estrangeiros no setor de extração de minerais.

Tabela 2.2. Indicadores do setor externo para o Peru no período de 1991 à 2006.
(em milhões de USD)

Ano	Exportações	Importações	Balança Comercial
1991	3.393,14	3.595,30	-202,16
1992	3.578,09	4.001,39	-423,30
1993	3.384,66	4.160,42	-775,76
1994	4.424,12	5.499,21	-1.075,09
1995	5.491,42	7.732,89	-2.241,48
1996	5.877,64	7.868,58	-1.990,93
1997	6.824,56	8.502,97	-1.678,41
1998	5.756,77	8.194,12	-2.437,34
1999	6.087,52	6.742,98	-655,45
2000	6.954,91	7.365,93	-411,02
2001	7.025,73	7.220,62	-194,89
2002	7.713,90	7.421,76	292,14
2003	9.090,73	8.237,83	852,90
2004	12.809,17	9.804,78	3.004,39
2005	17.336,29	12.076,12	5.260,17
2006	20.853,15	12.798,05	8.055,11

Fonte: BCRP (2007)

Ao avaliar o comportamento de décadas anteriores (Figura 2.3), vemos que o valor das exportações tem sido muito flutuante, com incrementos muito efêmeros. Entretanto, as importações têm mantido um crescimento mais sustentável, destacando o nível de crescimento alcançado na década de noventa.

O Peru é o segundo maior produtor mundial de cobre e zinco, o terceiro de estanho e o quinto de ouro. As exportações de minérios correspondem a quase 64% do total, que junto à farinha de pescado, ao petróleo, ao gás e a alguns commodities agrícolas, compõem os chamados “produtos tradicionais”, responsáveis por quase 80% das exportações peruanas (Dantas, 2007).

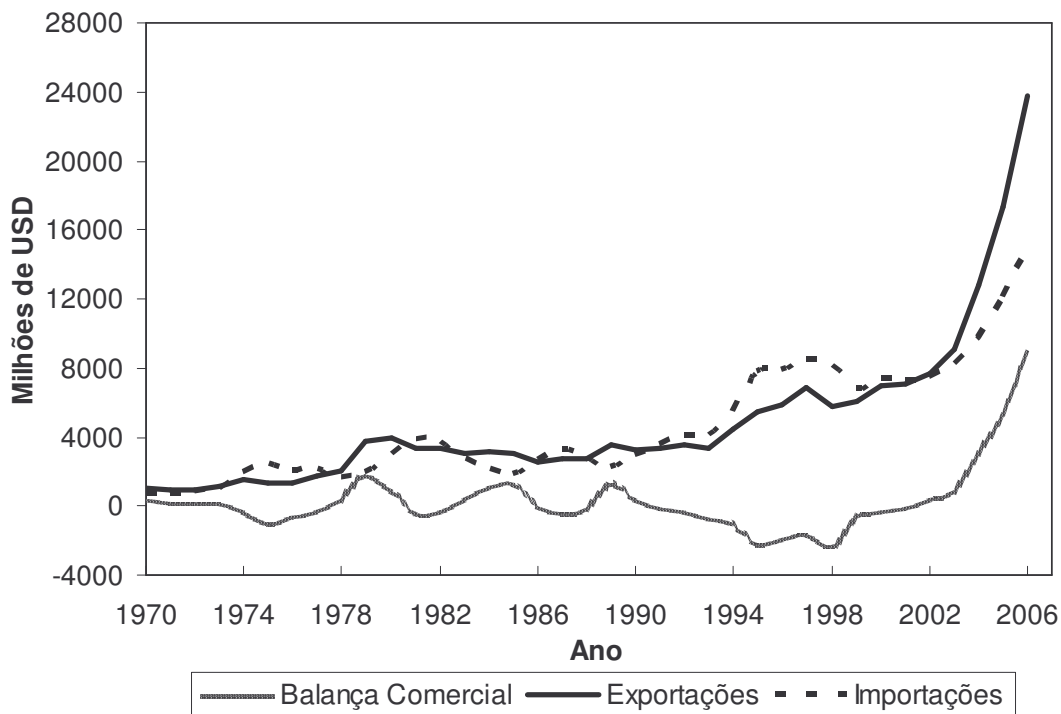


Figura 2.3. Importações e Exportações do Peru (1970 – 2006).

Fonte: Elaborado com dados do BCRP (2007)

Com tudo isso, percebemos que as exportações são o grande motor do crescimento peruano, motivo pelos quais muitos analistas temem que o ciclo de forte crescimento no Peru não resista a uma eventual reversão da alta dos recursos naturais no mercado global, especialmente dos minerais.

2.2.3. Inflação

Segundo o historiador peruano Villanueva-Sotomayor (2001), como resultado da divisão do tesouro Inca em Cajamarca (1533) por parte dos espanhóis, a inesperada fortuna que conseguiu cada conquistador gerou a primeira inflação da história do Peru. Todos os produtos comerciáveis tiveram seus preços aumentados, como exemplos temos o preço do cavalo (2.500 pesos antes da divisão) que passou para 3.300 pesos (inflação e 32%); uma jarra de vinho com pouco mais de seis litros que custava 40 pesos, passou a ser vendida por 60 pesos (inflação de 50%); uma espada de 40 para 50 pesos (inflação de 25%); ou seja, no dia seguinte da divisão do tesouro em Cajamarca, houve uma inflação média de 39,22%.

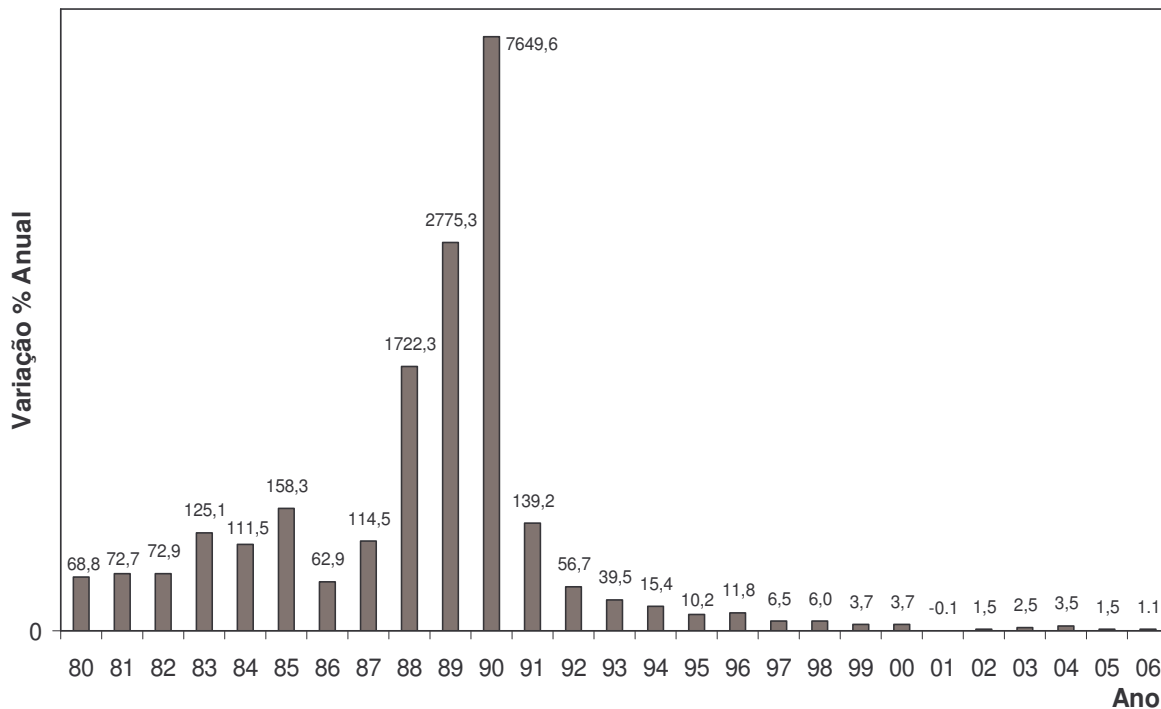


Figura 2.4. Registro histórico da inflação do Peru (1980 – 2006).

Fonte: Elaborado com dados do BCRP (2007)

O governo de Alan García historicamente gerou a inflação mais alta no Peru (1985-1990; Figura 2.4). Atualmente esse indicador está bem reduzido (1,1% em 2006, Figura 2.4). No período de abril de 2006 a abril de 2007, a inflação foi praticamente zero (INEI, 2007). Segundo Morón (2007), deve-se entender que existem fatores que influenciam

somente de forma temporal na inflação, como por exemplo, a baixa dos combustíveis. Outro fator que segue pressionando a baixa inflação é a apreciação do dólar. Estando o dólar barato, muitos produtos que são comprados estarão mais baratos e pressionarão à queda da inflação. O temido fenômeno climático El Niño, não apresentou um impacto altamente destrutivo da produção agrícola como era esperado, conseqüentemente, não houve pressões inflacionárias por limites na produção. Porém, o panorama pelo lado da demanda segue gerando tensão no Banco Central de Reserva do Peru. Os indicadores de emprego continuam em alta; a demanda agregada não para de crescer acima do PIB; os créditos de consumo crescem a mais de 25%; entretanto, esses fatores não mudaram a taxa de juros do Banco Central de Reserva do Peru (BCRP).

2.3. ASPECTOS SOCIAIS

Diversos estudos que avaliam o grau de desigualdade no Peru evidenciam que os avanços foram mínimos. Assim o confirmam os seguintes estudos realizados:

- Segundo Webb e Figueroa (1975), em 1961 o 10% da população com mais altos ingressos tinha o 49% do ingresso nacional; entretanto o 20% mais pobre, alcançava só o 2,4%.
- Segundo a Entrevista Nacional de Medição de Níveis de Vida (ENNIV) de 1985, os 20% mais pobres recebiam 4% do ingresso; entretanto os 20% mais ricos recebiam 56% (Webb e Ventocilla, 1999).
- Em 1996, o Banco Mundial estimou que os 10% mais ricos recebiam 35,2%, enquanto que os 10% mais pobre recebiam somente 1,6% (The World Bank, 2002).
- No ano 2000, Pasco-Font e Saavedra (2001) estimaram que os 20% mais pobre recebem 6% do ingresso e os 20% mais rico recebem 48%.

Nos itens anteriores pode-se observar que a economia do Peru tem crescido de forma estável nos últimos anos. Entretanto, tal crescimento econômico tem contribuído de fato para a redução da pobreza?

Durante as duas décadas compreendidas entre 1985 e 2005, o governo Peruano investiu grandes quantidades de recursos públicos para reduzir a pobreza. Lamentavelmente, os resultados do investimento social têm impacto limitado na diminuição da vulnerabilidade econômica dos mais excluídos (Vasquez e Franco, 2007). O crescimento, per capita, do PIB no período 2001-2004 foi de 9,3 %, o que significou uma redução de somente 2,7 pontos no índice agregado de pobreza. Neste período, a pobreza extrema foi reduzida de forma mais significativa (5,0 pontos percentuais) (Figura 2.5).

Segundo Céspedes (2004) a elasticidade pobreza-crescimento do PIB per capita é de 0,5. Para Loayza e Polastri (2004), este valor é menor comparado a outros países em desenvolvimento (onde a elasticidade é de -0,82), pelo qual o Peru necessita crescer mais para alcançar uma determinada redução na pobreza, isto devido a padrões de desigualdade que afetam o investimento nos setores mais pobres.

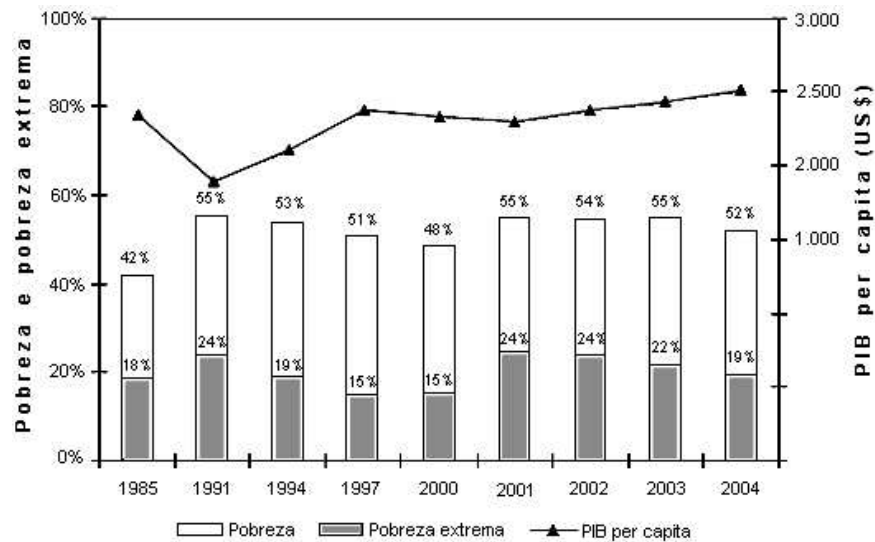


Figura 2.5. Trajetória do PIB per capita e níveis de pobreza: Peru 1985 – 2004.

Fonte: Vasquez e Franco (2007).

Por outro lado, a respeito do desenvolvimento humano, o Peru ocupa o 82º lugar no mundo segundo o Relatório de Desenvolvimento Humano 2006 elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), e está catalogado entre os países de desenvolvimento médio.

A evolução do índice de desenvolvimento humano (IDH) (Tabela 2.3) mostra que o Peru melhorou seu IDH de 0,645 em 1975 para 0,767 no ano 2004, porém sua localização no ranking mundial passou do 45º lugar em 1975 para 82º lugar em 2004, embora isto ocorra devido ao ingresso de novos países no processo de avaliação.

Tabela 2.3. Variação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Peru.

Ano	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2004
IDH	0,645	0,675	0,699	0,708	0,735	0,760	0,767

Fonte: Watkins (2006)

No contexto latino-americano a posição do Peru é bastante modesta, pois se localiza no terço inferior de seu grupo. Este lugar se deve principalmente a seus escassos bons resultados produtivos e aos baixos níveis de qualidade na educação. Isto apesar dos avanços alcançados nos indicadores de esperança de vida, saúde e níveis de alfabetismo, onde os resultados mostraram avanços como: a taxa de mortalidade infantil passou de 115 para 33 a cada mil nascidos vivos entre 1970 e 2005 (INEI, 2007); a expectativa de vida passou de 55 anos em 1975 a 70 anos em 2005 (INEI, 2007); a taxa de alfabetização de adultos passou de 85,5% em 1990 a 87,7% em 2004 (Watkins, 2006); e, a taxa de desnutrição crônica de crianças menores de 5 anos passou de 36,5% em 1991/92 a 25,4% em 2000 (INEI, 2007).

2.4. ASPECTOS AMBIENTAIS

2.4.1. O clima

Por sua localização geográfica, o Peru deveria ser um país tropical, de clima temperado e úmido (com elevada pluviosidade). Porém, o Peru é um país com clima subtropical e tropical devido à existência de fatores determinantes que modificam completamente suas condições climáticas, possuindo quase todas as variantes climatológicas existentes no mundo.

No intento de agrupar todas estas variantes climáticas, diferentes autores tem classificado o território peruano em regiões ou domínios, como por exemplo:

- Oito regiões naturais: Chala ou Costa, Yunga, Quechua, Suni ou Jalca, Puna, Janca ou Cordilhera, Rupa-rupa ou Selva Alta e Omagua ou Selva Baja (Pulgar, 1941).
- Quatro domínios ou regiões: região Oceânica ou Mar Territorial, região Costeira, região Andina e região Amazônica (Cabrera e Willink, 1973).
- Cinco Domínios Geográficos e nove Eco-regiões: Domínio Amazônico com cinco eco - regiões (Amazônica ou Selva Baixa, Yunga ou Selva Alta, Pacífica ou Bosque Tropical do Pacífico, Equatorial e Páramo); Domínio Chaqueño com uma eco-região (Savana de Palmeiras); Domínio Andino - Patagônico com três ecoregiões (Puneña, Deserto ou Deserto Costeiro do Pacífico e Serrania Esteparia); Domínio Oceânico Peruano Chileno ou Mar Frio da Corrente Peruana e Domínio Oceânico Tropical (Brack, 1976).
- Uma Região, 2 sub-regiões, 4 províncias, 2 sub-províncias, 14 distritos e 2 sub-distritos (Ceballos-Bendezú, 1976).
- 84 zonas de vida das 104 que existem no mundo, segundo o sistema de Holdridge, e 17 de caráter transicional, distribuídas em três franjas latitudinais: tropical, subtropical e temperada cálida (ONERN, 1976).
- O Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia do Peru (SENAMHI) em 1977, usando o sistema Thornthwaite, classificou o Peru em 28 tipos de clima dos 32 existentes no planeta, com uma alta variabilidade local entre os mesmos: semi-cálido muito seco; cálido muito seco; temperado sub-úmido; frio ou boreal; Frigido ou de tundra; de neve ou gélido; semi - cálido muito úmido; cálido úmido (INEI, 1999).
- Sete regiões geográficas de acordo com o sistema de classificação natural dos solos proposto pela FAO: Deserto Costeiro ou Yermosólica; Flanco Ocidental dos Andes ou Litosólica, Altoandina ou Paramosólica, Vales Interandinos ou Kastanosólica; Selva muito Alta ou Lito cambiosólica; Flanco Oriental Boscoso ou Acrisólica e Selva Baixa ou Acrisólica Ondulada (ONERN, 1982).

Para simplificar o entendimento do sistema avaliado, nesta tese, foi escolhida a classificação por domínios de Cabrera e Willink (1973), chamado também de regiões naturais do Peru (Figura 2.6).

2.4.1.1. Mar Peruano

O Peru tem soberania e jurisdição sobre o mar adjacente às costas do território nacional, compreendida entre essas costas e uma linha imaginária paralela a elas e traçada sobre o mar a uma distância de 200 milhas marinhas seguindo a linha bissetriz ao ângulo que formam as costas do Peru e os países vizinhos (Chile e Equador). O Mar Peruano, ou também denominado “Mar de Grau”, tem uma extensão superficial de 1.042.676 km², incluindo o solo e o subsolo submarino. Esta zona marítima peruana foi declarada no Decreto Supremo Nº 781 de 01 de agosto de 1947.



Figura 2.6. Regiões naturais do Peru (Modificado de MINAG, 2007).

Sua importância econômica ocorre devido a existência da corrente fria marinha do Peru, que por ser rica em plâncton atrai a mais abundante e variada fauna ictiológica, tornando-se uma das regiões chave da economia do Peru (Chavez et al., 1996). O Mar Peruano é formado por duas correntes marinhas que definem a abundância de recursos, a paisagem e o estilo de vida dos moradores do litoral, sendo elas: a Corrente de Humboldt e a Corrente de El Niño.

A Corrente de Humboldt

A região atual da Corrente de Humboldt inclui uma grande área ao longo da costa ocidental de América do Sul, desde a beira do Equador no norte, passando pelo litoral Peruano, até o sul do Chile (Figura 2.7). A área constitui um único e rico ecossistema, onde a corrente de Humboldt influi fisicamente e ecologicamente na biota original (CPPS, 2006).

A corrente de Humboldt movimenta cerca de 6 milhões de m³/s de água e ostenta temperaturas de 14° C durante o inverno e um pico de 21° C durante o verão, mostrando níveis salinos constantes de mais de 35%. O efeito do vento e o movimento da água da superfície determinam a aparição de águas mais profundas, resfriando e enriquecendo, conseqüentemente, a água mais próxima à superfície com grande abundância de nutrientes que formam o início de uma rica cadeia alimentícia. Os nutrientes movimentados até a superfície formam a base do fitoplâncton, partículas de plâncton microscópico que flutuam na superfície (CIPCA, 2002). Por estes motivos, a Corrente de Humboldt é considerada como o ecossistema marinho mais produtivo do mundo (maior a 300 gC/m²/ano) e também a corrente marinha de maior afloramento (LME, 2007), sendo assim, aproximadamente 19% da captura pesqueira do mundo ocorre em águas Peruanas e Chilenas (FAO, 2002). O afloramento ocorre durante todo o ano na costa Peruana, porém, no Chile ocorre somente durante a primavera e o verão (LME, 2007).

A Corrente de El Niño

A corrente chamada El Niño é uma contracorrente marinha equatorial quente que se dirige em direção da costa do Peru, enfrentando e desalojando parcialmente à Corrente de Humboldt (Figura 2.7). O El Niño representa o aquecimento anormal das águas superficiais e sub superficiais do Oceano Pacífico Equatorial. Os antigos pescadores do Peru chamaram

estas águas mais quentes de Corrente de “El Niño Jesus” (em alusão ao menino Jesus), posteriormente adotou-se o nome de El Niño apenas.



Figura 2.7. A Corrente de Humboldt e a Corrente de El Niño.

É importante estabelecer a diferença entre os termos: Corrente El Niño e Fenômeno El Niño. O primeiro destes, a Corrente El Niño (Figura 2.8a) trata-se de um fenômeno periódico e normal que sucede cada ano entre os meses de dezembro e abril. Esta tem característica de águas cálidas quentes que provêm do norte da bacia de Panamá descendo pelas costas da América do Sul, a qual marca o início da estação quente e úmida da região costeira do Equador. O segundo termo, Fenômeno El Niño (Figura 2.8b) também conhecido como fenômeno ENOS (El Niño - Oscilação Sul) por sua relação com a Oscilação do Sul, se trata de um evento não periódico, eventual e com conseqüências globais e não somente nas costas da América do Sul, como visto no caso anterior (CEPES, 2007).

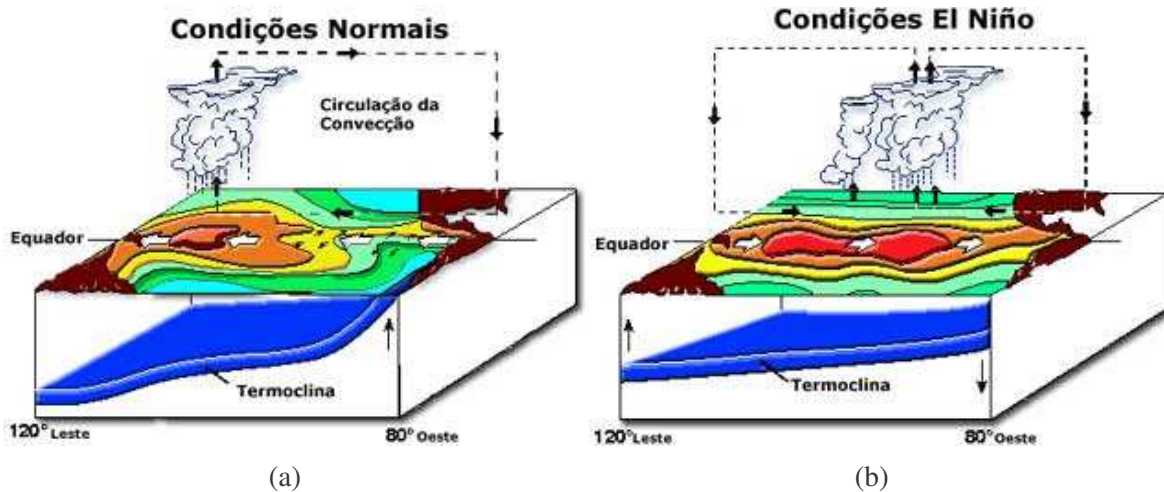


Figura 2.8. (a) Circulação observada no Oceano Pacífico Equatorial em anos sem a presença do El Niño, ou seja, anos normais. Pode-se ver a inclinação da termoclina, mais rasa junto à costa oeste da América do Sul e mais profunda no Pacífico Ocidental. (b) Padrão de circulação observada em anos de El Niño na região equatorial do Oceano Pacífico. Nota-se que os ventos em superfície, em alguns casos, chegam até a mudar de sentido, ou seja, ficam de oeste para leste. Há um deslocamento da região com maior formação de nuvens. No Oceano Pacífico Equatorial pode ser observado águas quentes em praticamente toda a sua extensão. A termoclina fica mais aprofundada junto à costa oeste da América do Sul (PMEL, 2007).

TAO (2007) explica que quando no Oceano Pacífico Central a pressão é alta, a mesma tende a ser baixa entre o Oceano Índico e Austrália; estas condições estão associadas a chuvas cuja intensidade varia em sentido contrário à pressão. A alternância entre anomalias positivas e negativas entre tais regiões oceânicas constitui a essência do fenômeno conhecido como Oscilação Austral. A anomalia da diferença de pressão entre a ilha de Tahití (Polinésia francesa) e o porto de Darwin (norte de Austrália) é usada como índice (IOS - Índice de Oscilação do Sul). Um valor positivo corresponde a uma intensificação da atividade convectiva em toda a região do sudeste asiático e Austrália, entretanto um índice negativo corresponde a um decréscimo das precipitações nesta região e a um aumento destas no Pacífico Central. Ambos os mecanismos, o oceânico e o atmosférico, estão intimamente relacionados entre si, o que tem levado aos cientistas a falar de um único fenômeno chamado ENOS (El Niño - Oscilação do Sul).

Na atualidade, as anomalias do sistema climático, que são mundialmente conhecidas como El Niño, representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico tropical, tendo conseqüências no tempo e no clima em todo o planeta. Nesta definição, considera-se não somente a presença das águas quentes da Corrente El Niño, mas também

as mudanças na atmosfera próxima à superfície do oceano, com o enfraquecimento dos ventos alísios (que sopram de leste para oeste) na região equatorial. Com esse aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, começaram a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade, e, portanto variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas (Sampaio, 2001).

Por outro lado, as variações na temperatura influem na salinidade das águas, modificando-se, conseqüentemente, as condições ambientais para os ecossistemas marinhos. Estas mudanças, por sua vez, afetam as populações de peixes, e conseqüentemente, a atividade pesqueira. As mudanças na circulação atmosférica alteram o clima global, afetando a agricultura, os recursos hídricos e outras atividades econômicas importantes em extensas áreas do planeta. Assim, o fenômeno ENOS causa o colapso do sistema de afloramento da Corrente de Humboldt, produzindo mudanças na abundância e distribuição dos recursos pesqueiros no litoral Peruano, principalmente. O resultado é um efeito dominó com grande impacto social e econômico na região. Este colapso conduz também a mudanças seqüenciais que provocam uma alternância na abundância de sardinhas e anchovas, espécies dominantes no sistema. Tais mudanças podem ter conseqüências negativas para a indústria pesqueira na economia da região (CPPS, 2006). Mas, em condições normais, a convergência da massa de água quente da corrente de El Niño com a massa de água fria da Corrente de Humboldt, é um dos fatores que fazem do mar peruano um dos mais ricos do mundo (Educared, 2007).

2.4.1.2. Região Costa (ou Chala)

A Costa é uma estreita franja longitudinal que se estende desde o Oceano Pacífico até 650 metros acima do nível do mar, onde se localizam os contrafortes ocidentais da Cordilheira dos Andes. A Costa do Peru ocupa uma extensão de 15.087.282 ha que representa 11,7% da superfície total do país (Figura 2.9), com um litoral de 3.080 km de comprimento, estreito no Sul do Peru e amplo no norte (estado de Piura). Em seu relevo majoritariamente plano, destacam os terraços marinhos, os abanicos fluviais, as dunas e os depósitos de areia eólica, alternadas com pequenas montanhas que constituem a parte baixa do contraforte ocidental da Cordilheira dos Andes.

A costa se encontra cortada perpendicularmente por 50 vales costeiros, férteis enclaves agrícolas formados pelos rios que nascem em alturas andinas e que correm em direção ao mar (Sears, 1985). A maioria destes rios é de regime irregular e sua vazão diminui consideravelmente durante os meses de verão (de abril a dezembro).

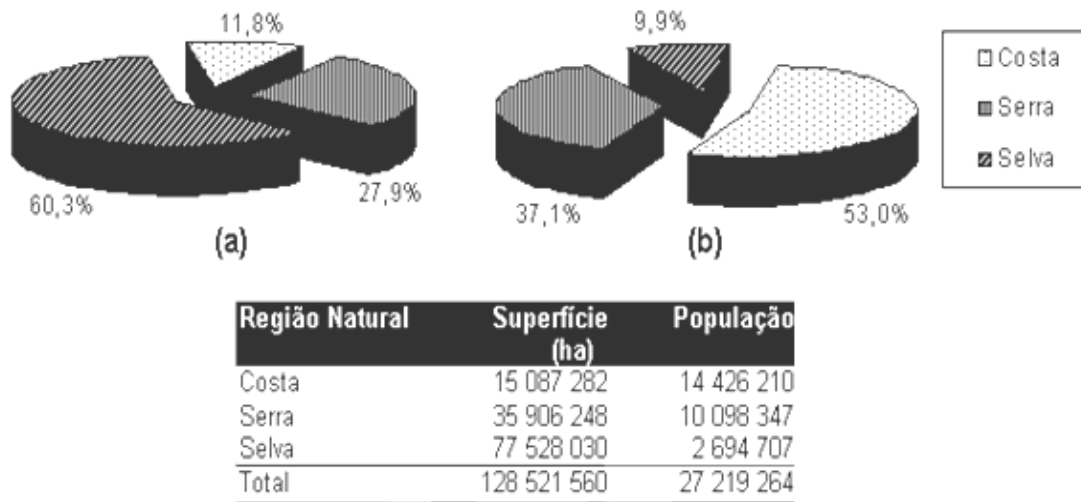


Figura 2.9. (a) Distribuição territorial e (b) populacional do Peru por regiões naturais.

Fonte: Elaborado com dados do INEI (2007)

A Costa está constituída por uma variedade de paisagens como: os vales, que ocorrem de forma transversal (de Leste a Oeste); os desertos interfluviais, localizados entre os vales, compreendem paisagens tais como, planícies ou pampas, cerros e quebradas secas; o bosque seco do deserto costeiro do Norte, que se estende desde a fronteira com o Equador até o Sul do estado de Lambayeque; o ecossistema dos manguezais, pequeno, mas único em seu gênero no Peru, localizado no extremo norte do estado de Tumbes; e o ecossistema de dunas, disposto nas estribações andinas, próximos ao Oceano Pacífico (As dunas de Ica, por exemplo) (Figura 2.10). Também são encontradas numerosas ilhas de diferentes tamanhos e importância, entre elas: Lobos de Tierra, Lobos de Afuera, a Viuda, Mazorca, San Lorenzo, Chíncha, as Ballestas, etc.

Também no litoral peruano (na costa) se encontram os portos e hidrovias, utilizados para o intercâmbio comercial marítimo tanto com o interior do país, como com o resto do mundo (INEI, 1999).



Figura 2.10. Dunas de Ica

A carência de água é um fator limitante para o intensivo aproveitamento agrícola dos solos da costa, estimando-se que só 10% de sua superfície são cultiváveis. Nesta superfície se produzem importantes produtos entre os quais se destacam o algodão, açúcar, arroz e aspargos que além de satisfazer o mercado interno fortalece o comércio exterior (Escobal et al., 2000). Os solos secos

também possuem grande valor econômico. No Norte, por exemplo, encontram-se instaladas as indústrias exploradoras de petróleo e as indústrias de transformação de peixe e acero. Na Costa, também se localizam os centros mais populosos do país, sendo Lima Metropolitana o maior, com mais de 7 milhões de habitantes (INEI, 2007).

Clima da Costa

O clima da costa é temperado e úmido graças à fria “Corrente de Humboldt” e à quente “Corrente de El Niño”. Em termos gerais, existem dois tipos de clima na Região da costa: entre as localidades de Lambayeque e Tacna, é subtropical, com temperatura média que varia entre 18° e 21°C e excessiva umidade atmosférica que alcança entre 90 e 98%. Entre Tumbes e Piura é semi-tropical, de elevada temperatura com uma média anual de 24°C, chuvas periódicas de verão e abundante umidade. A região norte da Costa não sofre influência da corrente de Humboldt, graças a isto tem quase 300 dias de sol e temperaturas que alcançam os 35°C no verão (Alheit e Niquen, 2004). A região central e sul da costa peruana possuem duas estações: uma de inverno, entre abril e outubro; e uma de verão, entre novembro e março. Durante o inverno uma densa capa de nuvens cobre o céu e são freqüentes as chuvas ligeiras ou “garoas”. Apesar da sensação de frio, produto da grande umidade, a temperatura dificilmente não ultrapassa os 12°C enquanto que no verão, o sol brilha com força e a temperatura alcança os 30°C (Gotolatin, 2000). Na Tabela 2.4 pode se observar o comportamento das principais variáveis climáticas da Costa entre 1992 e 2004.

Tabela 2.4. Principais variáveis climáticas da Costa entre 1992 e 2004.

Ano	Umidade Relativa Anual (%)	Temperatura média anual (°C)	Precipitação total anual (mm)
1992	78,3	22,7	39,8
1993	81,3	22,6	65,6
1994	80,3	22,2	39,1
1995	77,1	22,1	28,4
1996	79,0	21,1	22,6
1997	76,9	24,2	200,1
1998	79,9	23,1	696,3
1999	80,4	21,4	99,9
2000	79,6	21,7	43,7
2001	81,5	21,4	84,9
2002	82,4	20,8	94,1
2003	78,9	21,1	25,0
2004	77,3	20,7	25,7

Fonte: INEI (2007).

2.4.1.3. Região Andina (ou Serra)

A Região Andina encontra-se dominada pela Cordilheira dos Andes, a qual constitui um escarpado sistema montanhoso que recorre de Sul a Norte, atravessando longitudinalmente o país e ocupando uma posição central entre a costa e a selva. Os Andes constituem um divisor continental de águas, pois ali nascem os rios que seguem para o Oceano Pacífico (vertente ocidental) ou para a grande bacia do rio Amazonas (vertente oriental) (Tovar et al., 2006).

Em conjunto, a paisagem andina apresenta uma configuração heterogênea com cumes proeminentes, profundas gargantas, bacias estreitas inter-andinas e amplas mesetas. Possui uma superfície estimada de 35.906.248 ha, que representa 27,9% do território nacional. Está conformada por três cadeias montanhosas (cordilheira): ocidental, central e oriental. A primeira é a mais importante, já que seus cumes formam a divisória continental das águas que separam as vertentes do Pacífico e do Atlântico. A população desta Região se localiza em sua maior parte entre 2 mil e 3 mil metros acima do nível do mar, por ser a zona mais propícia para o desenvolvimento das atividades agro-econômicas.

Sua inclinação, abrupta e complexa, está marcada por profundas e férteis bacias, extensas planícies alto-andinas, grandes lagos navegáveis (como o Titicaca), e mais de 12 mil lagoas, como as de Llanganuco, situadas em um estreito vale da Cordilheira Branca em pleno parque nacional Huascarán. A altitude média da cordilheira oscila entre 3 mil e 4 mil metros acima do nível do mar, mas é possível alcançar alturas superiores a 6 mil metros percorrendo somente 100 km de distância. O nevado Huascarán (Figura 2.11), de 6.768 metros, é a montanha mais alta do Peru e a segunda de América, depois do Aconcágua na Argentina (INEI, 1999).

O Clima na Serra

A Serra apresenta duas estações bem diferenciadas: uma de verão (entre abril e outubro) caracterizada por dias com sol e noites muito frias com ausência de chuvas, e uma chuvosa (entre novembro e março), na qual as precipitações são abundantes. Assim, o clima varia desde temperado até frio glacial.



Figura 2.11. Nevado Huascarán

Uma característica desta região é a variação de temperaturas ao longo do dia, geralmente com temperaturas de até 24°C ao meio dia e tão baixas como 3°C durante madrugada. Segundo MINAG (2007) as temperaturas médias da Serra variam entre 6 e 16 °C. Os cumes nevados sobre os 4.500 metros acima do nível do mar apresentam um clima glacial,

e o altiplano suporta um clima frígido; as vertentes baixas têm temperaturas moderadas e os vales profundos são quentes. As precipitações pluviais que ocorrem acima de 3800 metros, são em forma de neve e granizo; abaixo desta altitude até os 2.500 metros ocorrem chuvas abundantes, particularmente durante o verão (dezembro a abril). Em geral as precipitações na Serra variam de 500 mm a 900 mm anuais. Na Tabela 2.5 é possível observar o comportamento das principais variáveis climáticas da Serra entre 1991 e 2004.

Tabela 2.5. Principais variáveis climáticas da Serra entre 1991 e 2004.

Ano	Umidade Relativa anual (%)	Temperatura média anual (°C)	Precipitação total anual (mm)
1991	52,7	12,2	589,9
1992	50,4	12,7	525,6
1993	55,0	11,8	850,3
1994	52,6	11,9	833,9
1995	50,8	12,4	666,8
1996	50,9	12,2	599,8
1997	52,3	12,4	654,0
1998	53,2	12,9	726,2
1999	64,3	11,7	713,8
2000	60,9	12,0	678,7
2001	52,0	10,5	568,1
2002	64,0	11,5	734,3
2003	65,9	12,4	725,8
2004	68,1	12,4	659,9

Fonte: INEI (2007).

Segundo a classificação por regiões de Vidal (1941), a Serra apresenta as seguintes variantes climáticas:

- Na região Yunga, de 1.000 a 2.000 metros, o clima é moderadamente cálido e ligeiramente úmido, com abundante radiação solar durante todo o ano.
- Na região Quechua, entre 2.000 a 3.000 metros, a temperatura oscila entre 15 e 0°C, com chuvas no verão (janeiro a março), escassa umidade atmosférica e ventos dominantes do Sudeste.
- Na região Suni, de 3.000 a 4.000 metros, impera o clima temperado frio, sendo a região de início das geadas.
- Na região Puna ou Jalca, entre 4.000 a 5.000 metros, o clima é frio e com escassa umidade.
- Na região Janca ou Cordilheira, acima de 5.000 metros, o clima é glacial com temperaturas abaixo de 6°C, com atmosfera muito seca e precipitações sob a forma de neve.

2.4.1.4. Região Amazônica (Selva)

A Região Amazônica perfaz 68,74 milhões de ha que representam aproximadamente 53,7% do território peruano (FAO, 2005). Sua topografia é predominantemente plana e situada no lado Leste dos Andes formando parte da Bacia Amazônica. Devido as abundantes precipitações que recebe ao longo do ano tornou-se uma região bastante exuberante. Possui um relevo ondulado e de suaves inclinações. Desde seu início nas vertentes orientais dos Andes, a vegetação tropical domina a paisagem, estendendo-se ininterrompidamente ao longo do plano amazônico. Possuidora de uma extraordinária riqueza natural é uma terra de bosques e rios meândricos (Figura 2.12) que servem, com freqüência, como única via de comunicação entre os povos que a habitam. É importante destacar que todos os rios da selva desembocam no Rio Amazonas (Gotolatin, 2007).

De forma geral, distinguem-se duas zonas (Boivin-Chabot, 2004): a Selva Alta (acima de 700 metros) e o Plano Amazônico ou Selva Baixa (abaixo de 700 metros). A Selva Alta compreende extensas áreas de bosques da vertente oriental dos Andes. Sua topografia é bastante acidentada e está localizada sobre as últimas montanhas orientais andinas. A Selva Baixa ou Plano Amazônico apresenta baixa inclinação e está coberto por uma exuberante vegetação tropical e sujeita a inundações periódicas, exceto as terras altas, colinas e montanhas baixas. Hidrograficamente existem grandes sistemas fluviais que formam parte da grande bacia do Rio Amazonas.



Figura 2.12. Rio Amazonas.

Clima da Selva

Na Selva são distinguidos dois climas distintos, sendo os climas da selva alta e da selva baixa, ambos tropicais. A Selva Alta possui clima subtropical e temperado, com chuvas abundantes entre novembro e março e dias ensolarados entre abril e outubro. A temperatura média anual varia entre 22 e 26°C, com precipitação entre 2.600 mm a 4.000 mm, com máximas superiores a 8.000 mm/ano. A localidade de Quincemil (Cusco) é a

zona mais chuvosa do país (8.965 mm em 1964) (INEI, 2007). Na Selva Baixa, as temperaturas são mais altas, com médias anuais entre 16°C e 35°C e volume de chuvas superiores a 1000 mm/ano. Na Tabela 2.6 pode-se observar o comportamento das principais variáveis climáticas da Selva entre 1992 e 2004.

Tabela 2.6. Principais variáveis climáticas da Selva entre 1992 e 2004.

Ano	Umidade Relativa anual (%)	Temperatura média anual (°C)	Precipitação total anual (mm)
1992	89,0	26,9	1 673,8
1993	93,3	26,8	1 959,7
1994	92,9	26,3	1 771,6
1995	93,0	26,6	1 350,2
1996	93,7	26,5	1 423,7
1997	92,8	26,6	2 735,9
1998	90,8	26,8	2 278,9
1999	88,1	26,1	2 411,1
2000	86,8	26,2	2 616,5
2001	86,0	25,9	2 082,7
2002	87,9	26,7	2 554,1
2003	86,4	25,4	2 227,1
2004	82,1	22,9	1 484,1

Fonte: INEI (2007).

2.4.2. Recursos naturais do Peru e sua problemática ambiental

O Peru possui os mais diversos recursos naturais mas nesta tese serão abordados somente os mais relevantes, como: biodiversidade, água, solo, produtos pesqueiros, minérios e hidrocarbonetos.

2.4.2.1. Biodiversidade

Dos 247 países que existem no planeta, 17 concentram 80% da diversidade biológica, e o Peru é um dos três primeiros. A diversidade de ecossistemas, de espécies de flora e

fauna silvestre, de recursos genéticos, e de culturas vivas, faz com que o Peru seja considerado um país mega-biodiverso, prestando valiosos serviços ambientais ao planeta (Brack e Mendiola, 2006).

Segundo CONAN (2006), o Peru é conhecido no mundo como um dos países mega-diversos por sua rica diversidade biológica em ecossistemas, espécies, recursos genéticos e diversidade cultural. Por exemplo, o Peru possui quatro zonas que têm categoria de Patrimônio da Humanidade, estabelecidas desta maneira no marco do Programa do Homem e Biosfera (MAB) da UNESCO. As quatro zonas são: o Parque Nacional Huascarán (Patrimônio Natural), o Parque Nacional do Manu (Patrimônio Natural), o Parque Nacional do Rio Abiseo (Patrimônio Natural - Cultural) e o Santuário Histórico de Machu Picchu (Patrimônio Natural - Cultural). Também possui três Reservas de Biosfera, reconhecidas pela UNESCO, sendo: (a) Reserva do Manu (Um milhão 881 mil 200 hectares nos estados de Cusco e Madre de Deus) que devido à variação de altitude (200 a 4.000 metros) apresenta 14 zonas de vida, permitindo a existência de uma admirável biodiversidade estimando-se um total de 5 mil espécies de plantas com flores; (b) Reserva de Huascarán (339 mil 239 hectares no estado de Ancash); (c) Reserva de Noroeste (231 mil 402 hectares no estado de Tumbes e Piura).

Uma das formas de conservar a biodiversidade é protegendo legalmente as áreas naturais¹. A política de áreas protegidas do governo peruano começou em 1961 com a criação do primeiro parque nacional (PN) do país (PN de Cutervo). Desde a publicação dos “Lineamentos de política de conservação dos recursos naturais renováveis do Peru” em 1974 pela Oficina Nacional de Avaliação de Recursos Naturais (ONERN), foi criada uma estratégia para a conservação dos solos, água, vegetação e vida animal. Posteriormente, a Lei Florestal de 1974 e seus regulamentos para as unidades de conservação, conduziram à declaração de 7,5 milhões de hectares (aproximadamente 6 % do território nacional) como áreas naturais protegidas. Um avanço relevante foi a criação do Sistema Nacional de Áreas Naturais Protegidas pelo Estado (SINANPE) em 1990, formado por unidades de conservação, bosques nacionais, postos fronteiriços e outras categorias de interesse público

¹ Segundo a União Mundial para a Natureza – UICN (<http://www.iucn.org/>), as Áreas Protegidas são “uma superfície de terra e/ou mar especialmente consagrada à proteção e manutenção da diversidade biológica, assim como de recursos naturais e os recursos culturais associados, e dirigida através de meios jurídicos e outros meios eficazes”.

estabelecidas pelo setor agrário com fins conservacionistas. Desde então o sistema foi ampliado até 61 áreas protegidas em uma área de quase 18 milhões de hectares (14,2 % da superfície total do país) (INRENA, 2006). Embora o Peru tenha estabelecido uma elevada percentagem de áreas protegidas, está abaixo de países vizinhos como a Bolívia e o Equador, apesar de estar significativamente acima de outros países latino-americanos ricos em biodiversidade, como o Brasil (Figura 2.13) quando analisamos a porcentagem declarada como área protegida existente em cada país.

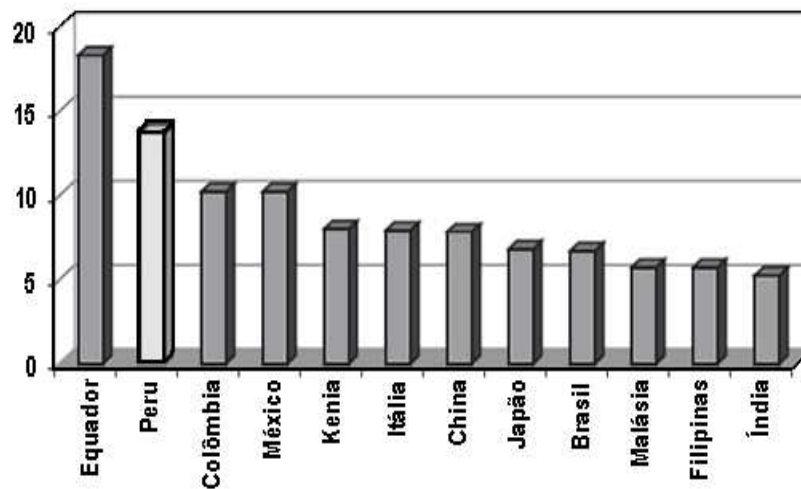


Figura 2.13. Percentagem de território nacional declarado como área protegida (Modificado de: Banco Mundial, 2006).

Segundo Póveda (2006a), a biodiversidade é importante para a sociedade por muitos motivos. No nível macro, a biodiversidade favorece a funções ecossistêmicas vitais para o planeta, como o ciclo do carbono e os depósitos carbônicos, os fluxos das águas superficiais e subterrâneas, a proteção e enriquecimento dos solos, e a regulação do clima. No caso do Peru, a diversidade biológica oferece valores estéticos, científicos, culturais e outros de natureza intangível e não monetária, mas que gozam de um reconhecimento praticamente universal. A biodiversidade é fonte de alimentos, fibras, produtos farmacêuticos, e constitui uma fonte de informação para a biotecnologia, permitindo melhorias nas variedades existentes de produtos agrícolas e gado, além de desenvolver outros novos. Por fim, em função da particularidade e beleza dos diversos sistemas ecológicos, estes oferecem uma grande variedade de espaços usados para recreação.

Assim, a rica biodiversidade do Peru indica um potencial econômico latente. Ainda mais: pode desempenhar um papel essencial na luta contra a pobreza. As distintas variedades de batata, por exemplo, contribuem significativamente para segurança alimentícia do Peru e constituem uma fonte de ingressos para milhares de famílias do âmbito rural (em particular no altiplano, onde não podem ser cultivados outros produtos). A biodiversidade do Peru também pode ser a fonte de crescimento econômico no futuro caso seja realizada uma melhor gestão comercial de muitas espécies de fauna e flora com grande potencial econômico. Alguns exemplos disto são: a alpaca, lhama, e vicunha, os peixes tropicais, o pecari (carne e couro), as orquídeas, os elementos para elaborar cosméticos naturais e muitos outros. Além do mais, o incentivo ao turismo (como Paracas, Manu, Pacaya Samiria, Huascarán, etc.) pode gerar emprego e recursos para o país.

O mercado global anual de produtos derivados da biodiversidade (que inclui produtos agrícolas, alimentos funcionais, produtos farmacêuticos e bio-farmacêuticos, ervas medicinais, sementes e produtos cosméticos e de higiene pessoal) foi estimado recentemente em mais de 230 mil milhões de dólares (Roca et al., 2004). Chambi (2002) sugere que a biodiversidade do Peru possui um considerável valor econômico, sendo que, uma administração adequada poderia converter este valor (da biodiversidade silvestre e agrícola) em fonte de maior renda nacional e emprego. Junto à agricultura e ao crescimento de indústrias como o ecoturismo, o Peru possui um notável potencial para melhorar a gestão comercial de muitas espécies da fauna e da flora. Dados adicionais da biodiversidade do Peru podem ser encontrados no Anexo 1.

2.4.2.2. Água

O Peru é possuidor de abundantes recursos hídricos e têm média nacional de abastecimento de água fresca de quase 60.000 metros cúbicos per capita, cifra maior que em outros países latino-americanos como México ou Argentina (Banco Mundial, 2007). Mais de 98% da água que cai sobre sua superfície em forma de chuva, escoam pela selva até o Oceano Atlântico, o restante é utilizado pelo país, apesar desta água não estar facilmente disponível (Prieto, 2002). Contudo, esta disponibilidade de água no Peru é errônea no espaço e no tempo, em contraste com a população. Por exemplo, na selva tem-se uma ampla extensão de território (60% da área total), que se correlaciona com a

disponibilidade de água; porém, 2% apenas são aproveitados. O caso costeiro é inverso, ocupa 11% do território peruano, mas com 53% da população total do Peru usando aproximadamente 80% da água disponível (Bernez et al., 2004).

O setor agrícola consome a maior parte (86 %) da água disponível a nível nacional. Este padrão é observado em maior escala na região costeira, onde esta localizada 58% da infra-estrutura das irrigações nacionais (Banco Mundial, 2007). Na Região costeira existe um marcado déficit mensal de recursos hídricos devido à ausência de chuvas (1.414 mm); entretanto na região da Serra a diferença é menor, porém, ainda com um déficit de 615 mm. Na Amazônia o balanço resulta ser positivo, com 1.623 mm. O balanço médio do país apresenta um superávit de 1.457 mm, sendo a precipitação média de 2.028 mm e a evaporação total potencial de 571 mm (PNUMA, 2001).

O Peru possui importantes recursos hídricos: 12 mil 201 lagoas na serra, mais de 1007 rios, e um nível de precipitação entre 100 mil e 300 mil m³/s no rio Amazonas. O mar peruano tem uma área de 617 mil 500 km de águas territoriais, desde sua linha costeira com 2.330 km de comprimento até uma distância de 200 milhas marinhas, mar adentro. Apesar disto, o aproveitamento dos recursos hídricos para diversas atividades como a geração de energia, agricultura, água potável, indústria, entre outros, é o que gera a pressão sobre a disponibilidade e qualidade do recurso (CONAM, 2006).

Em relação ao século passado a demanda mundial de água aumentou em sete vezes, entretanto a população mundial em três (Clarke e King, 2005). Para satisfazer as necessidades de água previsíveis no futuro, os governos precisam dar um lugar prioritário à gestão deste recurso nos planos de ação nacionais e internacionais. As recomendações para dirigir os desafios do setor hídrico, segundo o Banco Mundial (2007), incluem: (a) contínua implementação e reforço de um sistema compreensivo de direitos de água, (b) uma contínua modernização das práticas de irrigação e agenciamento de bacias para melhorar a eficiência, (c) a promoção de um manejo integrado de águas e terras; e, (d) fortalecimento das organizações dos usuários.

2.4.2.3. Solo

O solo para utilização agropecuária é o recurso mais escasso do Peru (7% do território nacional) e também é o mais ameaçado pelos processos de deterioração, sendo os principais a salinização na costa, a erosão paulatina na serra e a perda de fertilidade na Amazônia (INEI, 1994). Um estudo mais atual (Banco Mundial, 2007) indica que a terra cultivável no Peru é um recurso escasso: a quantidade de terra de cultivo é de 0,155 hectares per capita, uma das mais baixas entre as nações em desenvolvimento.

No Peru, 8 milhões de hectares estão classificados como solos de erosão severa e 31 milhões como de erosão moderada. Estima-se que 40% dos solos agrícolas da Costa estão afetados por processos de salinização devido à má drenagem. Além do mais, com as enchentes anuais dos rios no verão e com o Fenômeno de El Niño, e por falta de defesas dos rios, são perdidas importantes superfícies das escassas terras agrícolas. Na Serra, pelo menos 60% dos solos agropecuários estão afetados por processos de erosão de mediana a extrema gravidade pela falta de técnicas de manejo e pela destruição da cobertura vegetal nas ladeiras. Na Amazônia 60% dos solos das terras ocupadas e colonizadas (aproximadamente 5 milhões de ha) estão em estado de abandono por causa da perda de fertilidade e da erosão devido à utilização de técnicas inadequadas (INEI, 1994). Segundo o Banco Mundial (2007) a perda de solos como produto da erosão é de mais de 300.000 hectares por ano.

A salinidade do solo também afeta significativamente parte da terra cultivável do Peru, devido a falta de monitoramento, torna-se impossível confirmar a magnitude do problema atual. Larsen e Strukova (2005) estimam que a perda de renda dos agricultores, causada pela erosão do solo e pela salinização, somam entre 544 milhões e 918 milhões de soles por ano (164 e 276 milhões de US\$ por ano).

Por outro lado, dos 128.522 mil hectares que o Peru possui como extensão territorial, 53% são florestas (Tabela 2.7). Esta cifra localiza ao Peru em segundo lugar em superfície florestal, depois do Brasil na América Latina, e em sétimo lugar, entre os países do mundo.

A superfície florestal do Peru é formada por bosques tropicais úmidos, caracterizados pela grande variedade de espécies. Calcula-se que o desmatamento anual seja de 286.600 hectares, a uma taxa de 0,4% anual. A maior parte das intervenções da sociedade não-

indígena e das empresas nacionais e estrangeiras tem contado com um marco muito flexível para a apropriação e extração intensiva dos recursos naturais. Isto se manifesta na agricultura migratória, na exploração petrolífera, na mineração aurífera, na extração de madeira e no cultivo de coca. Estima-se que a área desmatada na Amazônia peruana é de mais de 8 milhões de hectares (WRM, 2001). Para o ano 2000, segundo um estudo recente (Morizaki, 2005), 7,2 milhões de hectares estavam desmatados, processo que, entre 1990 e 2000 chegou a 149.632 hectares por ano. As atividades de agricultura migratória e de criação de gado, realizadas por camponeses em pobreza, são a causa principal do desmatamento no Peru. Os baixos rendimentos agrícolas nesses solos desmatados estimulam os camponeses migrantes à abandoná-los depois de poucas colheitas, fazendo com que busquem outro terreno e iniciem um novo ciclo de desmatamento e exploração agrícola.

Tabela 2.7. Distribuição do solo peruano em categorias de terra (em hectares).

Categoria de terra	Total	%	Referência
Florestas	68.742.000	53%	FAO (2005)
Pastos ⁽ⁱ⁾	36.180.000	28%	Castro (2001), Produce (2006)
Cultivos (área de colheita 2004)	2.728.481	2%	Cilloniz (2006)
Águas continentais e geleiras	2.904.274	2%	Inrena (1995), Inrena (2007)
Tundra e desertos (baixa produtividade)	10.311.803	8%	Deduzido neste trabalho
Zonas pantanosas	6.458.500	5%	Inrena (1995)
Zonas urbanizadas	1.196.542	1%	Deduzido de Hails et al. (2006).
Total	128.521.600	100%	

⁽ⁱ⁾ Incluem pastos naturais (15,7 milhões de ha), pradeiras e pastizais (10,5 milhões de ha) (Castro, 2001) e novos pastos produto do desatamento (10,0 milhões de ha/ano) (Produce, 2006).

A maior parte das terras desmatadas nas últimas décadas não são adequadas para a atividade agropecuária à longo prazo pois sofrem erosão e degradam-se rapidamente, uma vez que os bosques são derrubados e queimados. Desta maneira, tal prática incrementa a magnitude das ameaças geodinâmicas e hidrodinâmicas, alterando o comportamento hidrológico, o que desencadeia uma série de impactos em áreas rurais e urbanas.

Assim, sabendo-se que os bosques têm uma enorme capacidade de produção de bens e serviços, de forma sustentável, esta capacidade deve ser aproveitada; e para isso torna-se necessário um manejo florestal integrado a indústrias madeireiras eficientes e competitivas internacionalmente. Do mesmo modo, é imperativo promover o desenvolvimento florestal de produtos não madeireiros e de serviços ambientais. Finalmente, é responsabilidade dos agentes econômicos peruanos que o setor florestal ocupe um lugar importante na economia do país.

2.4.2.4. Produtos pesqueiros

O setor pesqueiro do Peru está entre os mais ricos do mundo. Mais de 274 milhões de toneladas métricas de peixe foram capturados de águas peruanas durante 1950 - 2001. Assim, o setor pesqueiro é um contribuinte significativo à economia peruana, gerando, aproximadamente, 6 % de emprego, 1 % do PIB, dando conta de 11 a 16 % do total dos ingressos de exportação (Banco Mundial, 2007).

A atividade pesqueira produtiva se concentra fundamentalmente no aproveitamento de espécies pelágicas. A captura destas espécies, especialmente anchoveta e sardinha, tem sido utilizadas tradicionalmente como insumo para a elaboração de farinha e azeite de pescado, conservas e pescado congelado, que se destinam em sua maior parte à exportação. Contudo, CONAM (2001) afirma que a indústria de farinha e azeite de pescado é uma das atividades que mais contribuíram para a contaminação da zona marinha costeira, incluindo o mar, as praias e o ar. A descarga de líquidos das fábricas contém um alto conteúdo de matéria orgânica, produto do uso de água para o bombeio da pesca às fábricas de processo, e do próprio processo produtivo. Estas emissões, quando chegam ao mar, consomem o oxigênio da água, utilizando-o para descompor seu conteúdo de matéria orgânica, ocasionando a morte de peixes e outros organismos, mesmo aqueles que habitam em ambientes mais profundos.

Por outro lado, existe atualmente, a preocupação de que as atividades pesqueiras estejam ultrapassando os limites de extração permitidos pelos oceanos. Tal fato ocorre quando é pescado um excessivo número de peixes de uma determinada população, de forma que a população restante não seja capaz de manter o ciclo de reprodução da espécie. Esta situação é a conhecida como pesca insustentável. Pascó-Font (1999) afirma que nos

anos de 1989, 1990, 1991 e 1992 a quantidade de animais capturados superou os níveis para garantir a sustentabilidade do recurso (o que também se chama exploração biológica). Um estudo mais recente (Talberth et al., 2006) afirma que para o ano 2003 a pesca do Peru alcançou um consumo 6,5 vezes maior que a sua disponibilidade natural. Estas afirmações sugerem que o setor pesqueiro da economia do Peru pode ser considerado, nas análises de sustentabilidade, como um recurso não renovável.

Segundo o Banco Mundial (2007), a sustentabilidade da pesca peruana está ameaçada criticamente por vários fatores. A alta capacidade da frota pesqueira e a ocorrência do El Niño tem resultado na diminuição do recurso e a ultra-exploração de várias espécies. As ineficiências econômicas são grandes no setor com navios que permanecem ociosos a maior parte do ano e o setor absorvendo uma quantidade substancial de capital para pagar suas dívidas. Os problemas adicionais que deveriam ser abordados para assegurar a sustentabilidade da produção pesqueira peruana incluem: (a) impactos negativos para o ambiente/ecossistema, (b) governabilidade débil e uma inadequada supervisão, manifestada em evasivas legais e a concessão de “exceções” que tem permitido o crescimento da capacidade do setor apesar de regulações existentes desenhadas para impedir tal crescimento; (c) responsabilidade débil e ausência de transparência, resultado da influência de um poderoso lobby e os conflitos de interesse que se derivam da dobre função do Ministério da Produção do Peru (PRODUCE) de regulação e supervisão descuidada; e (d) problemas de equilíbrio social, incluindo a necessidade de desenvolver um mercado doméstico para o consumo direto de espécies que representam uma fonte potencial de proteínas para os mais pobres e a perda de rendas que o governo poderia coletar do setor, para apoiar outros objetivos sociais, como a diminuição da pobreza.

Se a situação atual da pesca peruana continuar, provavelmente resultará em uma severa sobre-exploração do recurso pesqueiro (com conseqüências ambientais difíceis de reverter) e o desperdício de um escasso recurso econômico que poderia ser usado, como já aconteceu no passado, como uma plataforma para desenvolver uma economia forte e variada. Neste contexto, o governo peruano deveria considerar a institucionalização de um sistema de quotas negociáveis para a frota pesqueira, como uma ação de curto prazo. Isto possivelmente ajudará na redução da alta capacidade neste setor.

2.4.2.5. Minério

Segundo Póveda (2006b), durante os primeiros anos da década de 1980 o desenvolvimento da atividade mineradora esteve principalmente a cargo de empresas estatais, centradas na exportação de metais como o ferro, o cobre e a prata. Durante a década passada iniciou-se, como parte de uma primeira geração de reformas, um processo integral de privatização do setor e estabeleceu-se um atrativo ambiente institucional para o investimento no setor. Este processo melhorou a competitividade, estimulou o crescimento da intervenção privada setorial em exploração e produção de minerais, e contribuiu para que o Peru chegasse a cifras de produção mineral excepcionais em relação com as mundiais. No início da década de 90 o cobre, o zinco, o chumbo, a prata e o ferro representavam aproximadamente 97% das exportações minerais, permitindo a exportação de minerais de maneira diversificada, gerando certa estabilidade frente a flutuações de preços dos produtos primários. No final dessa mesma década, o ouro tornou-se rapidamente em um dos principais produtos minerais, chegando a representar 34 % das exportações minerais no ano 2000 (frente a 20 % no início da década). Segundo o Ministério de Energia e Minas do Peru (MINEM, 2007), a quantidade de ouro produzido entre 2000 e 2006 aumentou em 55%. O país aportou em 2005, 8 % da produção de ouro do mundo, atrás de África do Sul (1ª com 17%), Austrália (2ª, com 11%) e USA (3ª com 10%).

Atualmente, o Peru é o maior produtor de prata do mundo, o terceiro produtor de cobre e zinco, o quarto produtor de chumbo e o quinto produtor de ouro. Assim, macroeconomicamente, o setor minerador é extremamente importante. Este setor representa 62% do conjunto das exportações peruanas e 6% do PIB em 2006. Por outro lado, durante os últimos dez anos a taxa anual média de crescimento do PIB foi de 4 %, enquanto que a mineração alcançou, em média, 10 % (SNMPE, 2007). Mas, estas perspectivas ficam desmerecidas, por um lado, pelos danos ambientais e, por outro, pelas limitações existentes no uso e distribuição da arrecadação procedente deste setor.

Os problemas ambientais do setor no Peru se apresentam no contexto de uma atividade mineradora poli metálica, desde as indústrias de grande porte (ouro, cobre, ferro), chegando até à de pequeno porte e as do setor informal. No caso do Peru, o minério é uma atividade que coexiste com a atividade agrícola desenvolvida por dezenas de comunidades

camponesas assentadas nos Andes e em outras regiões do país (CONAM, 2001). Os efeitos nocivos gerados na atualidade em relação à exploração constituem um sério problema ambiental e de saúde, e são uma causa importante do descontento social das comunidades locais. O manejo inadequado e gestão da enorme quantidade de materiais perigosos e contaminantes associados à exploração mineira já provocaram: infiltrações generalizadas, ácidos escorregados com a conseqüente contaminação de águas, e outros efeitos prejudiciais para a biodiversidade e para os ecossistemas. Segundo Póveda (2006b), sabe-se que tal atividade está originando determinados efeitos negativos, incluindo: (a) a destruição ou degradação de terras produtivas; (b) a degradação de águas subterrâneas; (c) a contaminação de águas superficiais por ácidos, sedimentos ou sais; (d) a degradação de meios de vida dependentes de ecossistemas aquáticos pela infiltração de contaminantes e sedimentos contaminados; (e) mudanças na vazão dos rios; (f) contaminação do ar por matéria particulada e/ou gases tóxicos; (g) riscos de seguridade por poças abandonadas; (h) erosão e deslizamentos de terra; e, (i) custos no tratamento de problemas sanitários.

Por outro lado, as explorações mineiras abandonadas também passaram a ser objeto do setor informal por mineradores de pequeno porte, que usam explosivos perigosos e substâncias químicas para extraírem minerais, sem o devido manejo, contaminando, conseqüentemente o meio ambiente. Por exemplo, a contaminação por mercúrio, provoca um sério impacto associado ao ouro de aluvião. O mercúrio usado para a amalgamação do ouro percorre as bacias adjacentes ou se evapora sob a forma de gases, sendo levado pela ação do vento. Estima-se que são perdidas 70 toneladas anuais de mercúrio líquido só no estado de Puno (Mosquera, Trillo e Lujan 1999). O minério artesanal (de aluvião) (de pequena escala / de pequeno porte) também incide sobre a qualidade do solo. Por exemplo, no Estado de “Madre de Dios” o minério artesanal originou um alarmante incremento da erosão em conseqüência da destruição e da queima dos bosques, e do elevado volume de movimentação da terra para explorar os depósitos de ouro. Nas explorações onde se empregam equipamentos pesados, a terra se compacta de tal forma que a vegetação não volta a crescer, o que se soma aos danos já ocasionados pela contaminação de lubrificantes e combustíveis. Outra situação preocupante é a redução da capacidade do solo na retenção da umidade, fator que em função do tratamento das areias de ouro (Banco Mundial, 2005).

Segundo Póveda (2006b), o Ministério de Energia e Minas peruano deveria elaborar uma estratégia para regular o minério artesanal e o de pequena escala sugerindo o seguinte:

- O governo deveria ter mais presença em áreas onde abunda o minério de pequena escala, e desenvolver mecanismos para proporcionar assistência técnica e legal aos mineradores e para resolver com agilidade os conflitos.
- Apesar de 20 mil a 30 mil pessoas viverem do minério artesanal, tais pessoas são expostas a grandes riscos. Existindo, portanto, a necessidade de promover a seguridade laboral e sanitária entre os mineiros artesanais de pequena escala.
- É preciso realizar mais estudos para determinar o efeito real do minério artesanal e de pequena escala sobre a saúde e o meio ambiente.
- Existe a possibilidade de oferecer contratos de trabalho e regularizar alguns mineradores informais, o que permitiria um monitoramento mais fácil e uma maior execução das leis.
- Realizar uma avaliação dos efeitos (econômicos e sociais) das fases cíclicas do preço dos metais sobre o minério artesanal e informal. Isto permitiria a prevenção de problemas importantes, caso os preços dos metais não sejam favoráveis.

2.4.2.6. Hidrocarbonetos

Em termos gerais, a produção de energia no Peru é insuficiente para satisfazer o consumo total. Seu balanço energético para 2004 revela que o Peru é importador nato de energia primária (petróleo e carvão mineral): as exportações totais destes recursos energéticos ascendiam a 35.226 TJ, entretanto as importações a 202.150 TJ (Rimari, 2005). No ano de 2005 as exportações diminuíram a 27.271 TJ, entretanto as importações aumentaram para 230.130 TJ (Rimari, 2006), piorando o déficit no saldo comercial deste setor.

Neste contexto, o projeto do gasoduto de gás natural Camisea merece destaque especial. Camisea é atualmente o projeto de infra-estrutura mais importante do Peru, mas está sendo construído em uma das áreas ambientais e sociais mais sensíveis do mundo. Camisea é uma região de grande biodiversidade, incluindo as populações indígenas que vivem em isolamento voluntário. Durante o período em que se vem desenvolvendo o projeto, foram identificados alguns fatos que confirmam o impacto negativo pela falta de

cuidado e responsabilidade com o meio ambiente e ecossistemas por parte das autoridades e do consórcio.

A atual localização da planta de fracionamento na praia Loberia, na zona da Reserva Nacional de Paracas, segue em discussão por causa do impacto ambiental que pode causar sobre as espécies que habitam nessa zona (Amazon Watch, 2006). Mesmo assim, o gás de Camisea chegou a Lima em agosto de 2004, vinte anos depois de descoberto. Este desenvolvimento tem criado uma opção estratégica na política energética do Peru, já que permite incrementar as reservas de hidrocarbonetos e modificar as pautas de oferta e demanda da matriz energética. O uso de gás pelas centrais elétricas, pela indústria, o transporte motorizado e as vivendas gerará um efeito de substituição que permitirá reduzir o déficit comercial petrolífero (Mayorga, 2006). A produção e exportação de condensados (principalmente nafta e gás liquefeito de petróleo) são de grande importância. Em 2005, a participação dos combustíveis líquidos na matriz energética peruana havia diminuído já em 9% em relação a 2004 a favor do gás (Rimari, 2006).

Por outro lado, Camisea implica em uma mudança notável na oferta energética do mercado no Peru, ao introduzir o gás como combustível na zona de maior densidade de consumo industrial e domiciliar: a Costa. A SNA (2003) indica que se gerará uma reserva em custo energético durante o período 2004 - 2033 de aproximadamente USD 5,1 bilhões (em valor presente líquido) ao deslocar o uso de diesel, mais custoso e contaminante, por um combustível menos custoso e mais limpo como o gás natural. A produção líquida de gás cobrirá não só as necessidades do mercado local, mas também estrangeiro, em benefício da balança comercial do Peru, reduzindo o déficit até um 30%. Da mesma forma, se estima que o Projeto Camisea aumente a produção em aproximadamente USD 3,9 bilhões durante o período 2004 – 2033.

Mesmo com estas aparentes vantagens, o Peru continua dependendo de energia não renovável. Cabe fazer-se a pergunta: quando o gás se acabar, a que tipo de energia se recorrerá? Segundo Charpentier e Hidalgo (1999) duas vias de solução parecem especialmente promissoras para fazer frente a esta importante problemática. Por um lado aproveitar mais eficientemente a energia, e por outro, recorrer a fontes de energia renováveis (solar, eólica, hidráulica, etc.).

2.5. EXPLICAÇÃO SISTÊMICA DO PERU

A linguagem simbólica (Anexo 2) é utilizada para explicar o funcionamento sistêmico do Peru. Pelas características particulares de cada grande região, a explicação sistêmica foi feita considerando a seguinte divisão: Costa, Serra e Amazônia (Figura 2.14).

O primeiro aspecto relevante do funcionamento do sistema é a distribuição desigual da população em relação à superfície territorial de cada região. Assim, enquanto na costa vivem 53% da população peruana ocupando 12% da superfície territorial do Peru, temos 10% da população peruana vivendo na região amazônica em uma superfície que corresponde a 60% da extensão total do Peru. Os recursos hídricos também estão desigualmente distribuídos através do território peruano. Sendo que a maior parte das atividades econômicas (e da população) está localizada na costa fazendo com que esta região consuma aproximadamente 80% da água disponível (Bernez et al., 2004), gerando considerável estresse deste recurso. Do total da água que cai sobre solo peruano em forma de chuva, 98% escoam pela selva até o Oceano Atlântico. O restante (2%) é consumida pela população peruana, apesar de não estar disponível facilmente (Prieto, 2002).

Outro aspecto relevante no sistema peruano consiste na localização da indústria e de como ela se inter-relaciona como o mercado interno e externo. As indústrias localizadas na região Andina e na Amazônia são praticamente extrativas (principalmente mineradoras e madeireiras), enquanto que na costa são encontradas as indústrias extrativas (principalmente marinhas) e de comércio (exportadoras e importadoras). Assim, a maioria de recursos, da região Andina e Amazônia, são aproveitados pela costa e então exportados.

Por outro lado, o Peru é grande importador de combustíveis fósseis, mas com uma tendência decrescente de utilização deste produto devido ao estímulo dado ao gás e bio-combustíveis, os quais são produzidos internamente.

Finalmente, entre os principais produtos que o Peru exporta estão: os metais, os produtos pesqueiros e a água. Esta última, normalmente, não é considerada nas estatísticas e nem em relatórios do governo. Como foi realçado anteriormente, 98% da água que cai sobre a zona andina do Peru, escoam até a Amazônia e depois para países vizinhos, principalmente o Brasil. Mas este escoamento não é somente da água da chuva, mas também de minerais e nutrientes que a água captura em seu percurso pelos Andes Peruanos, convertendo-se em um recurso de importância econômica.

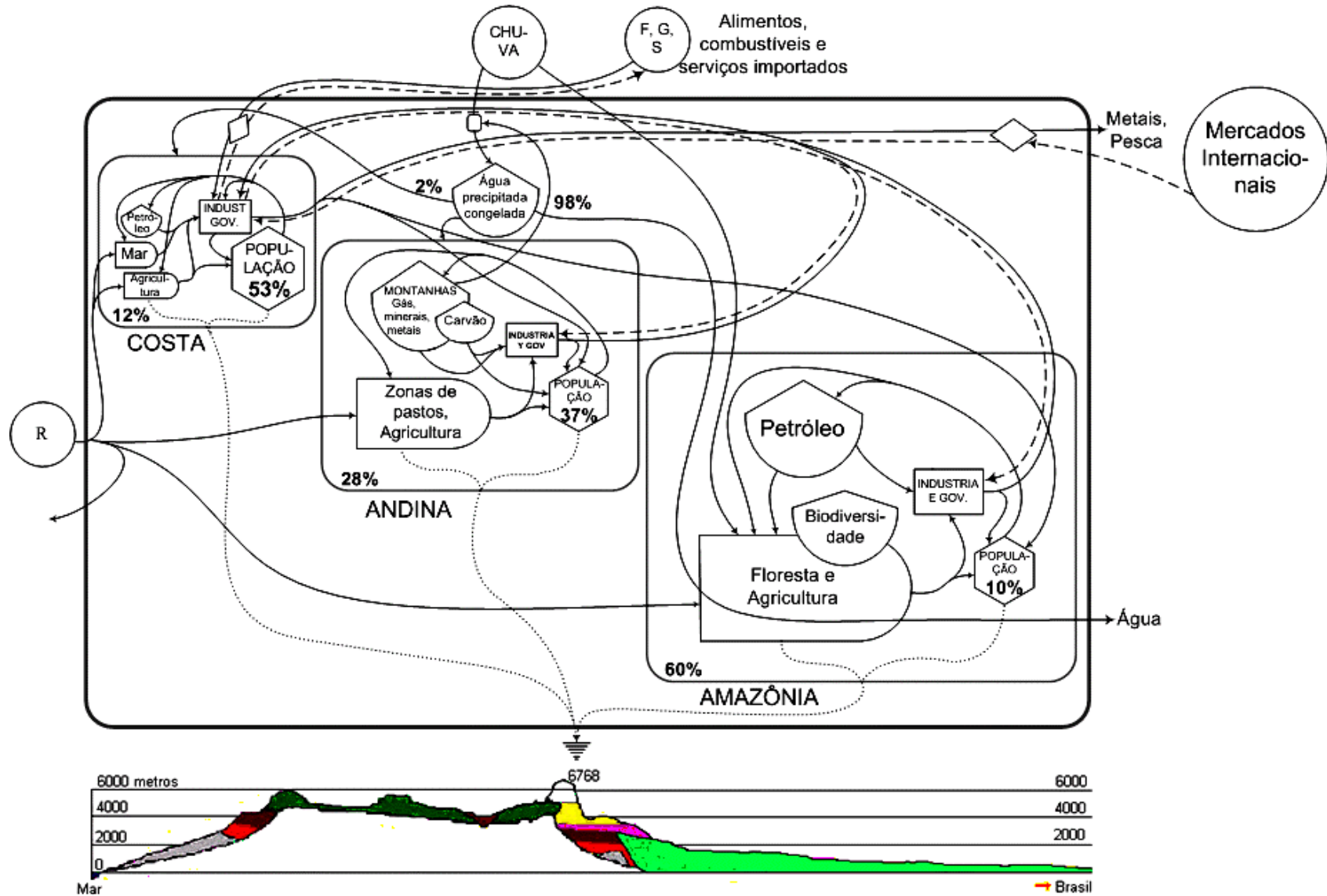


Figura 2.14. Explicação sistêmica do funcionamento do Peru (2007).

2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alheit, J., Niquen, M. 2004. Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. *Progress in Oceanography* 60, 201–222.
- Amazon Watch. 2006. Camisea: Natural Gas Project. Disponível em: <http://www.amazonwatch.org/amazon/PE/camisea/>
- Banco Mundial. 2005. Wealth and Sustainability: The Environmental and Social Dimensions of the Mining Sector in Peru. Washington D. C.: Banco Mundial.
- Banco Mundial. 2007. Análisis Ambiental del Perú: Retos para un desarrollo sostenible. Unidad de Desarrollo Sostenible Región de América Latina y el Caribe. Lima, Peru.
- Brack, A., Mendiola, C. 2006. Ecología del Perú. Enciclopedia Virtual. ONG Peru Ecológico. Disponível em: <http://www.peruecologico.com.pe/libro.htm>
- BCRP – Banco Central de Reserva del Peru. 2007. Estadísticas Anuales. Disponível em: <http://www.bcrp.gob.pe>
- Bernex, N., Warner, R., Flores, L., Oblitas, L (Org). 2004. Hacia una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el Perú. Editorial ROEL S.A. Lima, Peru.
- Boivin-Chabot, S. Margolis, H., Weber, J. 2004. Variation in coppice-shoot growth among provenances of *Calycophyllum spruceanum* Benth. in the Peruvian Amazon Basin. *Forest Ecology and Management* 198 (2004) 249–260.
- Brack A. 1986. Las Ecoregiones del Perú. *Boletín de Lima* 44, 57–70.
- Cabrera, A.L., Willink, A. 1973. Biogeografía de América Latina. Serie Biología, Monografía 13. Organización de Estados Americanos.
- Castro, M. 2001. Comunicación Nacional del Peru a la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Consejo Nacional del Ambiente. Manati S.A. Lima, Peru.
- Ceballos-Bendezú, I. 1976. Nuevo esquema biogeográfico del Perú. *Revista Universitaria* 130, 19-44, Cusco, Peru.
- CEPES - Centro Peruano de Estudios Sociales. 2007. ¿Qué es el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO)? Disponível em: <http://www.cepes.org.pe/webnino/2-quees.htm>
- Céspedes, N. 2004. Pobreza y crecimiento económico: una medida del efecto “goteo hacia abajo” en Perú. Mimeo.
- Chambi, P. 2002. Valoración económica de la captura de carbono mediante simulación aplicada a la zona boscosa del río Inambari y Madre de Dios. Tacna: IICFOE.
- Chavez, F., Buck, K., Service, S., Newton, J., Barbers, R. 1996. Phytoplankton variability in the central and eastern tropical pacific. *deep-sea research ii*. vol. 43. no. 46. pp. 835-870.
- Charpentier, S., Hidalgo, J. 1999. Las Políticas Ambientales en el Perú. AGENDA: Peru. Lima, Peru. Disponível em: <http://www.agendaperu.org.pe/pdfs/pub-07.pdf>
- Cilloniz, F. 2006. Perú: Exportaciones agropecuarias por producto 1990 – 2005. Apresentação em Power Point no Foro da Sociedade de Comercio Exterior do Peru. Disponível em: <http://www.comexperu.org.pe>.
- CIPCA - El Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. 2002. El Fenómeno de El Niño. Disponível em: <http://www.cipca.org.pe/cipca/nino/nino/feni%F1o.htm>.
- Clarke, R., King, J. 2005. The Atlas of Water. Myriad Editions Limited. Brighton, UK.
- CONAM - Consejo Nacional del Medio Ambiente. 2001. Informe Nacional sobre el Medio Ambiente - CEO Peru 2000. Lima, Peru.

- CONAM - Consejo Nacional del Medio Ambiente. 2006. Informe Nacional del Ambiente GEO PERU 2002 – 2004. 290 p. Disponible em: <http://www.conam.gob.pe/Modulos/Home/GEOPERU2k4.asp>
- CPPS - Permanent Commission for the South Pacific. 2006. Humboldt Current – GIWA Regional assessment 64. GIWA - Global International Waters Assessment. United Nations Environment Programme, Sweden. 100p.
- Dantas, F. 2007. Crescimento forte e estabilidade: A economia peruana chegou lá. O Estado de S. Paulo do 29/04/2007.
- Digesa. 2001. Estudio de la Calidad del Aire de la Ciudad de Lima Metropolitana 1996 – 2000. 25 p. Disponible em: <http://www.digesa.sld.pe/aire/pdf/ecal1999.PDF>
- Educared. 2007. Geografía del Peru: Oferta ambiental. Disponible em: http://www.educared.edu.pe/estudiantes/geografia/tema2_2_3_1.asp
- Escobal, J., Agreda, V., Reardon, 2000. T. Endogenous institutional innovation and agroindustrialization on the Peruvian coast. *Agricultural Economics* 23, 267–277.
- FAO. 2002. FISHBASE. Disponible em: <http://www.fao.org>.
- FAO. 2005. Global Forest Resources Assessment 2005: Progress towards sustainable forest management. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italia. Disponible em: <http://www.fao.org/DOCREP/008/a0400e/a0400e00.htm>
- Ferrando, D., Meza, L., Dávila, E., Orjeda, B. 2001. Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población, 1950-2050. Boletín de Análisis Demográfico N° 35. Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales, Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, Peru. 46p.
- Figuroa, A. 2001. Reformas en sociedades desiguales. La experiencia peruana, Fondo Editorial, Pontificia Universidad Católica del Peru.
- Gotolatin. 2000. Una Mirada a Perú. Gotolatin Travel S.A. Disponible em: <http://pe.gotolatin.com/spa/Info/MPeru/Mirada-Peru.asp>
- Hails, C., Loh, J., Goldfinger, S. (Eds). 2006. Living planet report 2006. World Wide Fund for Nature International (WWF), Zoological Society of London (ZSL), Global Footprint Network, Gland, Switzerland.
- INEI – Instituto Nacional de Estadística e Informática. 1994. III Censo Nacional Agropecuario, 1994. Disponible em: <http://www.inei.gob.pe> (link Censos)
- INEI – Instituto Nacional de Estadística e Informática. 1999. Perú: Estadísticas del Medio Ambiente, 1999. Disponible em: <http://www.inei.gob.pe/biblioinei/pub/bancopub/Est/Lib0350/>
- INEI – Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2007. Biblioteca Digital. Disponible em: <http://www.inei.gob.pe/biblioinei.asp>
- Inrena. 1995. Mapa Forestal del Peru. Instituto de Recursos Naturales del Peru, Lima, Peru.
- INRENA – Instituto Nacional de Recursos Naturales. 2006. Sistema Nacional de Áreas Naturales protegidas por el Estado. Lima, Peru. Disponible em: http://www.inrena.gob.pe/index_inicio.htm
- Inrena. 2007. Nuestro planeta peligra. Disponible em: <http://www.inrena.gob.pe/escolares/planeta/pag10.htm>
- Larsen, B., Strukova, E. 2005. Peru: Cost of Environmental Damage: An Analysis of Environmental Health and Natural Resources. The World Bank. Final Report.

- LME - Large Marine Ecosystems. 2007. LME #13: Humboldt Current. Disponible em: <http://www.lme.noaa.gov/Portal/>
- Loayza, N., Polastri, R. 2004. Poverty and Growth in Peru. Background Report for Peru Poverty Assessment. Mimeo.
- Mayorga, A.E. 2006. Hidrocarburos. In: M. Giugale, V. Fretes-Cibils e J. Newman. Peru: La oportunidad de um país diferente. Banco Mundial. Pp. 393 – 415.
- MINEM - Ministério de Energia e Minas. 2007. Producción Anual Minera. Disponible em: http://www.minem.gob.pe/mineria/estad_anual2006.asp
- MINAG - Ministério de Agricultura. 2007. Hidrometeorología: El Clima. Disponible em: http://www.minag.gob.pe/hidro_clima_gen.shtml
- Morizaki, T.A. 2005. Informe Nacional para la Quinta Sesión del Foro de las Naciones Unidas sobre los Bosques: Peru. Intendencia Forestal y de Fauna Silvestre del INRENA. 21 p. Disponible em: <http://www.un.org/esa/forests/reports-unff5.html>
- Morón, E. 2007. La inflación no levanta. El Comercio, 03/05/07.
- Mosquera, C., Trillo, A., Luján, A. 1999. Propuesta para un Plan de Acción para el Proyecto GAMA. Informe final. Lima: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE. Peru.
- ONERN - Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. 1976. Mapa ecológico de Perú: Guía explicativa. Lima, Peru, 146 p.
- ONERN - Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. 1982. Clasificación de tierras del Perú. Lima, Peru, 113 p.
- Paulet-Iturri, M. 2000. El proceso de cambio institucional para la gestión del agua en el Perú. IICA San José (Costa Rica), 12 p.
- Pascó-Font, A. 1999. Desarrollo Sustentable en el Perú. AGENDA: Peru. Lima, Peru. Disponible em: <http://www.agendaperu.org.pe/pdfs/pub-07.pdf>
- Pascó-Font, A., Saavedra, J. 2001. Reformas estructurales y bienestar. Una mirada de los noventa. Grupo de Análisis para el Desarrollo GRADE-CEPAL, Lima, Peru.
- PMEL - Pacific Marine Environmental Laboratory. 2007. El Nino: Theme Page. Seattle, Washington, EUA. Disponible em: <http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/nino-home.html>
- PNUMA - Consejo Nacional del Ambiente. 2001. Informe nacional sobre o el estado del ambiente: Geo Perú 2000. CONAM, Lima, 167 p.
- Póveda, R. 2006a. Recursos Naturales. In: M. Giugale, V. Fretes-Cibils e J. Newman. Peru: La oportunidad de um país diferente. Banco Mundial. Pp. 367 – 391.
- Póveda, R. 2006b. Minería. In: M. Giugale, V. Fretes-Cibils e J. Newman. Peru: La oportunidad de um país diferente. Banco Mundial. Pp. 445 – 466.
- Prieto, M. (Ed.) 2002. Recursos hídricos (AQUASTAT). Ministério de Agricultura, Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Lima, Peru. 61 p. Disponible em: http://www.fao.org/ag/AGL/swlwpnr/reports/y_lm/z_pe/pe.htm
- PRODUCE – Ministerio de la Producción. 2006. Lineamientos estratégicos para impulsar el desarrollo forestal en el Perú. Asociación de Exportadores - ADEX, Sociedad Nacional de Industrias – SIN, Confederación Peruana de la Madera – CPM, Asociación de Industriales Madereros de Loreto – AIMAL, Asociación de Productores Forestales de Ucayali - APROFU, Asociación de Extractores e Industriales Forestales de Madre de Dios, Asociación de Industriales Productores Forestales de Satipo-APFIS. Lima, Peru. 75p.

- Pulgar, V.J. 1941. Las ocho regiones naturales del Perú, Boletín del Museo de historia natural Javier Prado 17, 145-161, Lima, Peru.
- Rimari, E.A. (Org). 2005. Balance Nacional de Energía 2004. Ministerio de Energía y Minas, Oficina de Planeamiento y Políticas Sectoriales. 184 p.
- Rimari, E.A. (Org). 2006. Balance Nacional de Energía 2005. Ministerio de Energía y Minas, Oficina de Planeamiento y Políticas Sectoriales. 197 p.
- Roca, W., Espinoza, C. e Patana, A. 2004. Agricultural Applications of Biotechnology and the Potencial for Biodiversity Valorization in Latin American and the Caribbean. *Agbioforum* 7: 13-22.
- Rodríguez, R., Mabres, A., Luckman, B., Evans, M., Masiokas, M., Ektvedt, T. 2006. ‘‘El Niño’’ events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia* 22 (2005) 181–186.
- Sampaio, G. 2001. El Niño e Você - o fenômeno climático. Transtec Editorial. São José dos Campos, SP, Brasil.
- Sears, A.F. 1985. The coastal desert of Peru. *Bulletin of American Geographical Society* 28:256–71.
- SNA - Sociedad Nacional del Ambiente. 2003. Reseña del Proyecto de Camisea. Boletín de la Sociedad Nacional del Ambiente, N° 3, sep. 2003.
- SNMPE - Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. 2007. Reporte estadístico minero energético. Segundo semestre 2006. Lima: SNMPE.
- TAO – Tropical Atmosphere Ocean. 2007. What is El Niño? Disponible em: <http://www.pmel.noaa.gov/tao/el-nino/el-nino-story.html>
- Talberth, J., Venetoulis, J., Wolowicz, K. 2006. Recasting Marine Ecological Fishprint Accounts. Technical Report, Redefining Progress. Disponible em: <http://www.rprogress.org/newprograms/sustIndi/fishprint/index.shtml>
- The World Bank. 2002. World Development Indicators 2001. CD-ROM, Washington D.C.
- Tovar, J.A, Sayán, J.L, Pérez, G., Guzmán, A. 2006. Estado del conocimiento de la hidrogeología en Perú. *Boletín Geológico y Minero*, 117 (1): 147-161.
- Vásquez, E., Franco, M. 2007. Fusión de programas sociales en el Perú: Un fondo de inclusión social como propuesta. Documento de discussão. Centro de Pesquisa da Universidade do Pacífico. 109p.
- Villanueva-Sotomayor, J.R. 2001. El Perú en los Tiempos Antiguos. Empresa Periodística Nacional SAC y Quebecor World Perú S.A., Lima, Peru.
- Watkins, K. (Org.). 2006. Human Development Report 2006. United Nations Development Programme (UNDP). Disponible em <http://www.undp.org/>
- Webb, R., Figueroa, A. 1975. Distribución del ingreso en el Perú. Instituto de Estudios Peruanos, Perú Problema 14, Lima.
- Webb, R., Ventocilla, M. 1999. Pobreza y Economía Social: Análisis de una encuesta (ENNIV – 1997). Instituto Cuánto, UNICEF, USAID, Lima, Peru.
- WRM - World Rainforest Movement. 2001. Bosque Amazónico: 10 años después de la Cumbre de la Tierra. Disponible em: <http://www.wrm.org.uy/paises/Amazonia/libro.html>

CAPÍTULO III:
**ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE: ANÁLISE
COMPARATIVA**

RESUMO

Neste capítulo é feita uma análise comparativa, qualitativa e quantitativa, de dois índices de sustentabilidade ambiental de nações: a “pegada ecológica” e o “índice de sustentabilidade ambiental”, com os “índices de desempenho emergético” – EMPI’s² (renovabilidade e índice de sustentabilidade emergético). Todos eles estão ganhando espaço e popularidade na comunidade científica e nos governos de diferentes países. Apesar dos esforços para obter um índice que represente adequadamente a sustentabilidade de uma região, de acordo com os resultados deste capítulo, não há ainda um índice completamente satisfatório. Assim, considera-se que todos necessitam ser melhorados. Os resultados apontam à possibilidade de conseguir um melhor índice de sustentabilidade através da junção da metodologia da “pegada ecológica” com a “análise emergética”.

3.1. INTRODUÇÃO

Nos anos 60 o livro “Silent Spring” de Carson (1962) tornou-se emblemático e contribuiu decisivamente para uma mudança de perspectiva do movimento ambientalista, marcando a passagem do “conservacionismo” ao “ecologismo”. Dez anos mais tarde outra publicação causou grande impacto, o livro “The Limits to Growth” fruto do trabalho de um grupo de pesquisadores do Instituto de Tecnologia de Massachussets (Meadows et al., 1972). Nesse livro foram apontados graves problemas que a humanidade iria enfrentar nas décadas seguintes, caso continuasse com o mesmo modelo de desenvolvimento. Entre os problemas citados encontram-se: o uso intensivo de combustíveis fósseis com o conseqüente fim das reservas; diminuição dos estoques dos recursos naturais; incremento da atividade industrial e poluição; aumento e colapso da população; e, limitação da capacidade da produção de alimentos.

Oficialmente, o conceito de sustentabilidade foi introduzido no encontro internacional em The World Conservation Strategy (IUCN et al., 1980). A partir desta data, esse conceito passou a ser empregado com maior frequência, assumindo dimensões econômicas, sociais e ambientais, buscando embasar uma nova forma de desenvolvimento. O termo sustentabilidade foi bem explicado pela primeira vez dentro de um estudo realizado pela

² EMPI’s: do Inglês “**E**mergy **P**erformance **I**ndices”

Comissão Mundial sobre Meio Ambiente das Nações Unidas, mais conhecido como Relatório Brundtland, que define o seguinte: “é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações em satisfazer suas necessidades” (WECD, 1987). Neste relatório, entre outras coisas, chegou-se à conclusão de que era necessária uma mudança de base no enfoque do desenvolvimento, já que o planeta e todos seus sistemas ecológicos vêm sofrendo graves e irreversíveis impactos negativos.

A idéia de desenvolver indicadores para avaliar a sustentabilidade surgiu na Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente – Rio 92, conforme registrado no capítulo 40 da Agenda 21: “os indicadores comumente utilizados, como o produto nacional bruto (PNB) ou as medições das correntes individuais de contaminação ou de recursos, não são precisas para indicar a sustentabilidade. Os métodos de avaliação da interação entre diversos parâmetros setoriais do meio ambiente e o desenvolvimento são imperfeitos ou são aplicados de forma deficiente. Desta forma, é preciso elaborar indicadores de desenvolvimento sustentável que sirvam como uma base sólida para adotar decisões em todos os níveis, e que contribuam a uma sustentabilidade auto-regulada dos sistemas integrados do meio ambiente e o desenvolvimento” (United Nations, 1992). A proposta era definir padrões sustentáveis de desenvolvimento que considerassem aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais. Para atingir esse objetivo tornou-se necessário elaborar indicadores que mensurassem e avaliassem o sistema em estudo, considerando todos esses aspectos.

Uma das mais importantes contribuições ao uso de indicadores de sustentabilidade foi dada por Rees (1992) com o desenvolvimento de um índice denominado Pegada Ecológica ou EF (do inglês Ecological Footprint). A metodologia original consistiu em construir uma matriz de consumo/uso de terra, considerando cinco categorias principais do consumo (alimento, moradia, transporte, bens de consumo e serviços) e seis categorias principais do uso de terra (energia da terra, ambiente (degradado) construído, jardins, terra fértil, pasto e floresta sob controle). O objetivo deste índice é calcular a área de terra necessária para a produção e a manutenção de bens e serviços consumidos por uma determinada comunidade (Wackernagel e Rees, 1996). No Brasil, a pegada ecológica é a ferramenta mais lembrada e conhecida pelos especialistas que atuam em diferentes esferas da sociedade e que lidam com o conceito de desenvolvimento sustentável (Van Bellen, 2004). Recentemente, foi

publicada uma nova versão da Pegada Ecológica (GFN, 2006) com o objetivo de melhorar as deficiências da metodologia original. As principais diferenças são: (a) inclusão da superfície total do planeta no cálculo de sua biocapacidade; (b) reservar uma parte da biocapacidade para outras espécies; (c) mudança das taxas de sequestro de carbono pela vegetação; (d) uso da produtividade primária líquida (NPP) na determinação de fatores de equivalência para o cálculo da biocapacidade e da pegada ecológica (Venetoulis e Talberth, 2006). Considerando essas alterações, a situação global (biocapacidade - pegada ecológica) é ligeiramente pior que a obtida através da metodologia original, pois passou de 1,2 ha/pessoa para 1,37 ha/pessoa.

Outro índice considerado de grande importância na discussão sobre a sustentabilidade dos países é o Índice de Sustentabilidade Ambiental ou ESI (do inglês Environmental Sustainability Index) (Samuel-Johnson e Esty, 2000). Este índice, quando proposto, rapidamente, originou importantes discussões e controvérsias em escala acadêmica e política nos países do mundo inteiro (Jesinghaus, 2000; *The Ecologist*, 2001; Jha e Bhanu-Murthy, 2003; Morse e Fraser, 2005), principalmente, porque alguns países como Estados Unidos e Dinamarca, que possuem uma comprovada participação na poluição do planeta, aparecem com valores muito bons. Por outro lado, através dos índices fornecidos pela pegada ecológica e pelos indicadores de desempenho emergético, os EUA e a Dinamarca possuem um desempenho considerado ruim (Siche et al., in press). A comunidade científica considera o EF e o ESI como os índices de maior uso na avaliação da sustentabilidade de países (Jha e Bhanu-Murthy, 2003; Sutton e Costanza, 2002; Morse, 2004), isto é, estão gerando grandes discussões e estão sendo utilizadas no mundo todo.

Os chamados Indicadores de Desempenho Emergético ou EMPIs (do inglês Energy Performance Index), Renovabilidade e Índice de Sustentabilidade Emergética (Brown e Ulgiati, 1997), consideram o sistema econômico como um sistema termodinâmico aberto e contabilizam os fluxos dos recursos da economia em unidades de energia agregada. Estes índices estão baseados na teoria da emergência proposta por Odum (1996). Estudos e propostas para avaliar a sustentabilidade a nível global (Brown e Ulgiati, 1999) e dos países, foram e estão sendo realizadas utilizando a análise emergética como ferramenta (Ulgiati et al., 1994; Brown e McClanahan, 1996; Siche e Ortega, 2005; 2006).

Outras tentativas interessantes no desenvolvimento de índices para avaliar a sustentabilidade de países foram publicadas em importantes revistas internacionais (Pearse e Atkinson, 1993; Gilbert e Feenstra, 1994; Nilsson e Bergström, 1995; Azar et al., 1996; Stockhammer et al., 1997; Bicknell et al., 1998; Neumayer, 2001; Baloccoa et al., 2004; Steinborn e Svirezhev, 2000; Moser, 1996; Krotscheck e Narodslawsky, 1996; Barrera e Saldívar, 2002), mas estes índices e indicadores são pouco utilizados pela comunidade científica, devido ao elevado nível de manipulação de dados, a forma de obtenção dos dados primários, ponderação dos dados e mudança de unidades, exigindo muito tempo e grande conhecimento da ferramenta.

O foco deste capítulo foi comparar os índices acima citados (EF, ESI e EMPIs), analisando sua metodologia e aplicação, em forma qualitativa e quantitativa, identificando os aspectos favoráveis e as debilidades de cada um deles.

3.2. ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE: CONCEITOS E FUNDAMENTOS

Para uma melhor discussão dos índices EF, ESI e EMPIs é necessário definir os conceitos relacionado a índices de sustentabilidade.

3.2.1. O que é um Índice?

Existe certa confusão sobre o significado de índice e indicador, onde muitas vezes são erroneamente utilizados como sinônimos. Segundo Mitchell (1996), indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade. Para Mueller et al. (1997), um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, sendo que um bom indicador deve conter os seguintes atributos: fácil entendimento; quantificação estatística e lógica coerente; e comunicar eficientemente o estado do fenômeno observado. Para Shields et al. (2002), um índice revela o estado de um sistema ou fenômeno. Prabu et al. (1996) argumentam que um índice pode ser construído para analisar dados através da junção de um jogo de elementos com relacionamentos estabelecidos.

Em uma análise superficial, índice e indicador possuem o mesmo significado. Para nós e outros pesquisadores, a diferença está em que um índice é o valor agregado final de todo um procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõe. Pode-se dizer também que um índice é simplesmente um indicador de alta categoria (Khanna, 2000). É importante salientar que um índice pode se transformar num componente de outro índice. Este é o caso do ESI, que utiliza a EF como uma de suas variáveis. Assim, no presente artigo entende-se o termo **índice** como,

“um valor numérico que representa a correta interpretação da realidade de um sistema simples ou complexo (natural, econômico ou social), utilizando, em seu cálculo, bases científicas e métodos adequados”.

O índice pode servir como um instrumento de tomada de decisão e previsão, sendo considerado um nível superior da junção de um jogo de indicadores ou variáveis. Por outro lado, o termo **indicador** é definido como,

“um parâmetro selecionado e considerado isoladamente ou em combinação com outros para refletir sobre as condições do sistema em análise. Normalmente um indicador é utilizado como um pré-tratamento dos dados originais”.

Poucas são as referências que utilizam corretamente os termos indicador e índice. Sem dúvida, indicador é o termo mais utilizado, porém erroneamente. Considerando que indicadores são normalmente utilizados como pré-tratamento dos dados originais (Gomes et al., 2000) e índices correspondem a um nível superior de agregação. Portanto não é muito adequado, por exemplo, chamar a Pegada Ecológica de indicador, já que segundo a definição, trata-se de um índice.

Índices ou indicadores funcionam como um sinal de alarme para manifestar a situação do sistema avaliado, pois são valores estáticos, isto é, dão uma fotografia do momento atual. Sabendo que a natureza e a economia são sistemas dinâmicos, os índices não captam certos fenômenos que ocorrem no sistema, como a mudança tecnológica ou a adaptabilidade dos sistemas sociais.

Alguns indicadores podem ser tratados com potencialidade para pressagiar o futuro, já que suas metodologias consideram a mudança das reservas internas do sistema com o tempo como consequência das alterações das forças externas ou do estabelecimento de novos arranjos internos. Os índices mais importantes nesta linha são os de desempenho emergético (Brown e Ulgiati, 1997). A maioria dos índices e indicadores de sustentabilidade é considerada como informações essenciais que nos auxiliam na avaliação do sistema em estudo no presente momento, e uma alternativa na construção de cenários no caminho da sustentabilidade.

Através da figura 3.1 observamos que o topo da pirâmide corresponde ao grau máximo de agregação de dados, enquanto a base representa os dados primários desagregados. Cada ferramenta de avaliação possui suas particularidades. A EF, por exemplo, não trabalha com índices ou indicadores intermediários, pois utiliza somente os dados primários e agregados para obter o índice final. Logo, essa ferramenta vai da segunda para a última etapa.

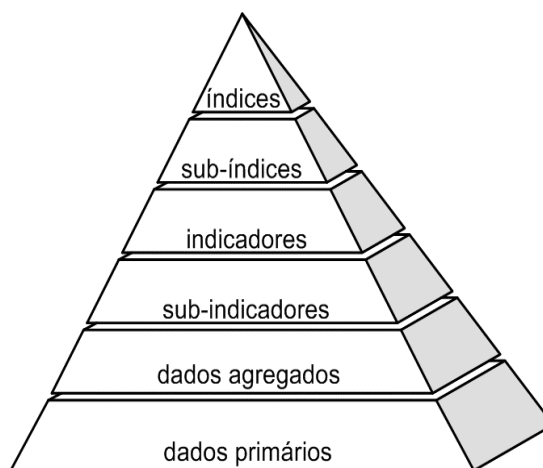


Figura 3.1. Nível de agregação de dados de uma determinada ferramenta de avaliação da sustentabilidade. Fonte: adaptado de Shields et al. (2002).

O ESI utiliza todas as etapas da pirâmide de informação, pois precisa de uma enorme quantidade de dados primários para obter as variáveis (dados agregados + sub-indicadores) e os indicadores. Em seguida, os indicadores que estão separados em dimensões (sub-índices) são agregados para obter o índice final. Já os EMPIS, precisam de dados primários e dados agregados para obter seus indicadores, e, em seguida, juntá-los para obter os índices finais. Dessa forma, essa ferramenta não possui as etapas sub-indicadores e sub-índices da pirâmide.

3.2.2. *O que é Sustentabilidade?*

A palavra sustentabilidade é usada freqüentemente em muitas combinações diferentes: desenvolvimento sustentável; crescimento sustentável; comunidade sustentável; indústria sustentável; economia sustentável; agricultura sustentável; etc. Mas o que este termo significa realmente?

Sustentabilidade vem do latim “*sustentare*” que significa suste, sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir. Dessa forma, sustentável é tudo aquilo que é capaz de ser suportado, mantido.

A sustentabilidade, de acordo com Sachs (1990), constitui-se num conceito dinâmico que leva em conta as necessidades crescentes das populações num contexto internacional em constante expansão. Para o autor, a sustentabilidade tem como base cinco dimensões principais, que são a sustentabilidade social, a econômica, a ecológica, a geográfica e a cultural. A sustentabilidade social está vinculada a uma melhor distribuição de renda com redução das diferenças sociais. A sustentabilidade econômica está vinculada ao fluxo constante de inversões públicas e privadas, além da destinação e administração correta dos recursos naturais. A sustentabilidade ecológica está vinculada ao uso efetivo dos recursos existentes nos diversos ecossistemas e, como um dos resultados, mínima deterioração ambiental. A sustentabilidade geográfica está ligada a uma espacialização rural urbana mais equilibrada. A sustentabilidade cultural procura a realização de mudanças em harmonia com a continuidade cultural vigente.

Em 2002, este mesmo autor acrescentou mais quatro dimensões de sustentabilidade: ambiental, territorial (em lugar de geográfica), política nacional e política internacional. A sustentabilidade ambiental permitiria que ecossistemas naturais realizassem autodepuração. A territorial visa à eliminação de disparidades inter-regionais, a destinação igualitária de investimentos públicos e a conservação da biodiversidade pelo eco desenvolvimento. A sustentabilidade no âmbito das políticas nacionais passaria por um nível razoável de coesão social, democracia e capacidade institucional do Estado em implantar um projeto nacional. Em relação às políticas internacionais, a sustentabilidade passaria pela garantia de paz assegurada pelo fortalecimento da ONU, controle do sistema financeiro internacional, verdadeira cooperação científica e diminuição das disparidades sociais entre os hemisférios norte-sul (Sachs, 2002).

Outros autores apresentam diferentes formas de analisar a sustentabilidade. Segundo Chambers e Conway (1992), a sustentabilidade dos meios de subsistência deve ser analisada sob dois prismas: ambiental e social. Do ponto de vista ambiental, a sustentabilidade implica na capacidade sistêmica de lidar com o estresse e os choques, possuindo a habilidade de continuar e melhorar. Já a dimensão positiva da sustentabilidade social está na capacidade de previsão, adaptação e aproveitamento de mudanças no ambiente físico, social e econômico. Os autores apontam que a sustentabilidade depende de como os recursos e as potencialidades são utilizadas, mantidas e realçadas para preservar os meios de subsistência. De acordo com Karr (1993), o foco da sustentabilidade deve estar na sociedade e não no desenvolvimento. Apesar de tudo, a realização de uma sociedade sustentável requer a atenção da dimensão econômica, além da dimensão social, biológica, ecológica e ambiental.

Para a GFN (2006), sustentabilidade é uma idéia simples, baseada na quantificação das taxas de produção e consumo de recursos naturais. Em um mundo sustentável, a pressão da sociedade sobre a natureza deve estar dentro dos limites desta em responder de modo equilibrado a esta pressão. Quando as demandas da humanidade de recursos ecológicos excedem a capacidade da natureza em fornecê-los, surge o excesso ecológico.

Em termos emergéticos,

“a sustentabilidade de uma economia é uma função da dependência dessa economia de energia renovável local, do grau de dependência de energia importada, e a carga total da atividade econômica no ambiente (Brown e Ulgiati, 1997)”.

O conceito de desenvolvimento sustentável tem ganhado ampla simpatia porque possui uma interpretação simples e satisfatória: “desenvolvimento que permanece”. Mas, na tentativa de encontrar uma definição mais substancial, é necessário discriminar entre um grande número de diferentes abordagens. Considerando uma abordagem econômica ao problema, a escolha chave é se uns acreditam que o capital natural – as muitas funções que o meio ambiente fornece à humanidade e para ela mesma – deveria receber uma proteção especial ou poderia ser substituído por outras formas de capital, especialmente capital produzido pelo homem (Dietz e Neumayer, 2007).

Turner (1993, apud Ekins et al., 2003, p.168) definiu sustentabilidade forte e fraca como: (a) sustentabilidade ambiental fraca deriva da percepção de que o bem estar não é normalmente dependente de uma forma de capital específica e pode, com algumas exceções, ser mantida pela substituição do capital natural pelo capital humano; (b) sustentabilidade ambiental forte deriva de uma percepção diferente, de que a substituição do capital natural pelo capital humano é fortemente limitada por algumas características ambientais, como irreversibilidade, incerteza e existência de serviços indispensáveis ao bem estar da biosfera.

De acordo com Dietz e Neumayer (2007), o capital natural engloba quatro categorias de funções. Primeiro, fornece o material bruto para produção e consumo direto como alimento, madeira e combustíveis fósseis. Segundo, assimila os resíduos decorrentes da produção e consumo de bens e materiais. Terceiro, fornece serviços de amenidade, como a amenidade visual da paisagem. Quarto, fornece funções básicas ao bem estar da biosfera, dependentes das três primeiras funções citadas. Portanto, a quarta categoria não é somente um determinante direto do bem estar humano, mas um valor primário – um valor que suporta todas as outras categorias – enquanto as três primeiras categorias possuem um valor secundário.

Os mesmos autores dizem que para a sustentabilidade fraca seria possível substituir alguns serviços naturais de assimilação de resíduos e de amenidade. Entretanto, o sistema básico de suporte de vida é certamente impossível de ser substituído. Isto significa que o meio ambiente global - biosfera - fornece para a humanidade funções básicas a seu bem estar, como alimento, água, ar limpo e clima estável. Esses serviços ambientais indispensáveis são tratados pela sustentabilidade forte.

Na validação do paradigma da sustentabilidade fraca, é preciso que um dos seguintes itens seja verdadeiro (Dietz e Neumayer, 2007):

- (a) os recursos naturais são superabundantes;
- (b) a elasticidade da substituição entre capital natural e humano é maior ou igual à unidade (equilíbrio no limite da razão produção-recurso);
- (c) o progresso tecnológico pode aumentar a produtividade do estoque de capital natural mais rápido do que ele está sendo utilizado.

Segundo Victor (2005), que criticou a sustentabilidade fraca, as possibilidades de substituição de recursos dependem de um elevado grau de fornecimento contínuo e crescente de energia barata, cuja hipótese está sendo desconsiderada por muitos pesquisadores (Campbell e Laherrère, 1998; Campbell, 2006) que acreditam que o petróleo, relativamente barato, vindo das fontes convencionais alcançou seu fim.

Em síntese, a sustentabilidade está ligada à preservação dos recursos produtivos e a auto-regulação do consumo desses recursos, eliminando o crescimento selvagem obtido ao custo de elevadas externalidades negativas (sociais e ambientais).

Localmente, o principal desafio é melhorar a qualidade de vida, recuperando e usando adequadamente os recursos renováveis. Globalmente, o principal desafio é mudar o estilo de vida, vislumbrando a contenção do consumo, especialmente nas áreas urbanas dos países ricos.

3.2.3. Índices de Sustentabilidade

Quando se trata de indicadores ou índices de sustentabilidade temos um debate que está apenas iniciando, pois não há, até o presente momento, uma fórmula ou receita consensual para avaliar o que é sustentável e o que é insustentável.

Um índice de sustentabilidade deve inicialmente referir-se aos elementos relativos da sustentabilidade de um sistema (Camino e Müller, 1993) e a explicitação de seus objetivos, sua base conceitual e seu público (alvo) usuário (Romeiro, 2004).

Um dos aspectos críticos de um índice de sustentabilidade é a metodologia adotada, tanto para sua determinação, quanto para sua leitura e interpretação. Independente da escolha, esta deve ser clara e transparente, não deixando dúvidas sobre quais os princípios que estão na base do processo. Outro aspecto determinante em uma avaliação ambiental de um sistema, é que não existe a possibilidade de determinar sua sustentabilidade considerando apenas um indicador ou indicadores que se refiram a apenas um aspecto do sistema. A sustentabilidade é determinada por um conjunto de fatores (econômicos, sociais e ambientais), e todos devem ser contemplados no cálculo do índice de sustentabilidade através dos correspondentes indicadores (Bouni, 1996), tal como ocorreu com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (UNDP, 2005).

Enfim, um índice de sustentabilidade implica:

- (a) explicação dos mecanismos e lógicas atuantes na área sob análise;
- (b) quantificação dos fenômenos mais importantes que ocorrem no sistema.

Através destes dois itens será possível conhecer como a ação humana está afetando seu entorno; alertar quanto a riscos para a sobrevivência humana e animal; prever situações futuras, além de guiar a tomada de melhores decisões políticas.

3.3. ANÁLISE COMPARADA

3.3.1. Pegada Ecológica (EF)

O conceito da pegada ecológica foi introduzido por Rees (1992) e elaborada por Wackernagel e Rees (1996, 1997) entre outros.

A EF pode ser comparada com a capacidade biológica produtiva da terra e do mar disponíveis a essa população (WWF, 2005) e mede a demanda por recursos naturais. Para seus criadores, a EF é uma medida do impacto da população expressa em termos da área apropriada; é a superfície de território ecologicamente produtivo (terra e água) nas diversas categorias, terras agrícolas, pastos, florestas, etc., necessária para fornecer todos os recursos de energia e matéria que consome uma população e para absorver seus desperdícios considerando sua atual tecnologia (Wackernagel e Rees, 1996).

Um termo característico desta metodologia é a “biocapacidade”. A biocapacidade mede a bioprodutividade ou a produtividade biológica em uma área. A produtividade biológica média de um hectare de superfície produtiva de terra é chamada “hectare global” (gha) e usada como a unidade comum de comparação. A bioprodutividade é a habilidade de um bioma (por exemplo, terra arável, pasto, floresta, mar produtivo) de produzir biomassa, que é definido como o peso da matéria orgânica, incluindo animais, plantas e micro-organismos (vivos e mortos), acima e abaixo da superfície do solo. Assim, os biomas têm diferentes níveis de bioprodutividade. A biocapacidade é dependente não somente das circunstâncias naturais, mas também do tipo de uso atual (por exemplo, uso em cultivos, uso em floresta).

O uso de “área bioprodutiva” como uma unidade agregada é considerado como um poderoso meio de medir e de comunicar o impacto ambiental e a sustentabilidade (Hardi and Barg, 1997; Lewan and Simmons, 2001).

É importante notar que a biocapacidade representa a capacidade sustentável máxima teórica por ano. O excesso ecológico pela sua definição revela a degradação do capital natural.

Na EF, comparando a demanda com os recursos disponíveis é possível estimar a sustentabilidade ecológica de territórios ou de países. A EF de uma nação corresponde à área de terra e água agregada em várias categorias ecossistêmicas para produzir todos os recursos consumidos, e para absorver todo o desperdício gerado, usando a sua tecnologia atual.

O método da Pegada Ecológica implica basicamente em três passos:

- a) Cálculo da Pegada (EF), considerando categorias de produtos (por exemplo, área de cultivos, floresta, e pesca):

$$EF = \text{Consumo} \times \text{Fator de Equivalência} / \text{Rendimento Global}$$

- b) Cálculo da Biocapacidade (BC) para cada categoria:

$$BC = \text{Área bioproductiva} \times \text{Fator de rendimento} \times \text{Fator de equivalência}$$

- c) Finalmente, é possível calcular o Saldo Ecológico (SE) para cada categoria:

$$SE = \text{Biocapacidade} - \text{Pegada}$$

De acordo com Monfreda et al. (2004) uma Pegada maior que a Biocapacidade total indica que a demanda excede a capacidade regenerativa do capital natural existente (déficit ecológico). O déficit ecológico pode ser compensado de duas formas:

- Equilibrando o déficit através das importações, tendo por resultado um “déficit ecológico no comércio”.
- Consumindo em excesso os recursos domésticos, com a conseqüente degradação natural.

Uma descrição mais detalhada deste índice pode ser encontrada em Wackernagel e Rees (1996, 1997) e no Capítulo 4 desta tese, recentes modificações em Wiedmann et al. (2006) e Venetoulis e Talberth (2007), e o resultado do cálculo para 149 países no relatório Living Planet Report 2004 (WWF, 2005).

3.3.2. Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI)

O ESI foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores das universidades de Yale e Columbia e apresentado formalmente em 2000 no Fórum Econômico Mundial (Annual meeting 2000, Davos Switzerland) por Kim Samuel-Johnson e Daniel C. Esty.

O ESI, publicado primeiramente em 2001 e subsequentemente em 2002 e em 2005, viu rapidamente crescer sua popularidade (Morse, 2004; Morse e Fraser, 2005). Aachamos que a popularidade crescente do ESI se deve ao fato de que este índice foi promovido pelo influente Fórum Econômico Mundial (WEF). Para Sutton e Costanza (2002) o ESI é um enfoque que ganha interesse na valorização do capital natural crítico.

Segundo o ESI, a sustentabilidade ambiental é um conceito multidimensional. A sustentabilidade ambiental é a habilidade de manter os recursos ambientais por várias décadas e de controlar os problemas que emergem quando mudam as condições ambientais (Esty et al., 2005).

Na construção do ESI-2001 foram utilizados 22 indicadores e 67 variáveis. No ESI-2002, os indicadores foram 20 e as variáveis 68. Já na construção do ESI-2005 os indicadores foram 21 e as variáveis aumentaram a 76 (Anexo 5). É importante notar que a “pegada ecológica” é considerada como uma variável no cálculo deste índice. Por outro lado, os valores do ESI variam entre 0 (mais insustentável) a 100 (mais sustentável).

O ESI considera cinco dimensões: sistemas ambientais (ar, água, solo e ecossistemas), estresses (algum tipo crítico de poluição ou qualquer nível exorbitante de exploração de recurso natural), vulnerabilidade humana (situação nutricional e doenças relacionadas ao ambiente), capacidade social e institucional (capacidades que permitem lidar com os problemas e desafios ambientais), e responsabilidade global (esforços e esquemas de cooperação internacional representativos da responsabilidade global).

O ESI é um índice aplicado na avaliação da sustentabilidade de nações, sendo seu objetivo principal estabelecer um meio de comparação da sustentabilidade de países. O método de “análise estatística de clusters” foi utilizado para a comparação cruzada dos grupos de países com perfis semelhantes. Assim, o ESI-2005 considera 7 grupos de países (clusters) (Anexo 6), em substituição dos 5 grupos considerados no ESI-2002. Os dados necessários para o cálculo do ESI são múltiplos.

O método para o cálculo do ESI, segundo a referência internacional de seus criadores, é a seguinte (Esty et al., 2005):

- a) Seleção dos países (baseado no tamanho do país, alcance das variáveis e alcance dos indicadores).
- b) Estandarização³ das variáveis para a comparação cruzada dos países.
- c) Transformação das variáveis (procedimentos de imputação e agregação).
- d) Substituição de dados não disponíveis utilizando o algoritmo de imputação múltipla.
- e) Estandarização dos dados.
- f) Agregação dos dados em indicadores e no ESI final.

Na página Web do ESI (<http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/ESI/>) podem ser encontrados dados históricos e descrições detalhadas da construção deste índice.

3.3.3. Índices de Desempenho Emergética (EMPIs)

Utilizamos a nomenclatura EMPIs quando fazemos referência aos índices da contabilidade emergética (renovabilidade (REN) e índice de sustentabilidade emergético - EMSI⁴) usados na avaliação da sustentabilidade de um sistema econômico, propostos por Brown e Ulgiati (1997). A Análise Emergética (EMA) foi formalizada, depois de diversos estudos, como um método de valoração ecossistêmica do ponto de vista da economia biofísica. Os fundamentos desta análise têm como referência os trabalhos de Lotka (1925), Bertalanffy (1968) e outros. Odum (1986), utilizou pela primeira vez a palavra “emergy” (escrito com “m”) com o significado de “energia incorporada” (*Embodied and enERGY*), chamado também de “memória energética” (*EnERGY and Memory*) (Scienceman, 1987).

³ A *estandarização* é uma simples transformação linear das pontuações brutas, de modo a que a nova distribuição tenha uma média de 0 e um desvio padrão de 1. Para obter um *resultado estandarizado* (z_i) basta calcular: $z_i = (x_i - M_x) / DP_x$ (em que x_i , M_x e DP_x são, respectivamente, o resultado bruto, a média e o desvio-padrão dos resultados brutos).

⁴ Usado por Siche e Ortega (2005), para diferenciá-lo do “ESI” (Environmental Sustainability Index) e do “SI” (Sustainability Index). Alguns pesquisadores têm utilizado a abreviação “ESI” (Brown e Ulgiati, 1997; Cuadra, 2005; Zhao et al., 2005) e outros “SI” (Lagerberg, 1999; Haden, 2003) para denominar o Emergy Sustainability Index.

Na prática, a análise emergética (EMA) utiliza a teoria geofísica para dar valor à quantidade de energia relacionada à produção e uso de recursos naturais e antrópicos. O foco desta metodologia é obter uma medida termodinâmica da energia utilizada para produzir um recurso usando uma unidade comum para todos os recursos: joule de energia solar equivalente (seJ). A energia solar é utilizada para dar valor aos recursos naturais que a economia não consegue avaliar corretamente (chuva, matérias primas da natureza, água dos rios, biodiversidade) e também para os recursos que provêm da economia humana, principalmente, combustíveis fósseis e seus derivados (bens e serviços da economia industrial). A análise emergética, por esta característica, é utilizada para realizar estudos de inventário ambiental e impacto humano sobre ele, e colocada como uma alternativa à contabilidade ambiental econômica que utiliza a moeda corrente como unidade de medida de todos os bens e serviços.

A EMA consiste nos seguintes passos:

- a) Identificação de todos os fluxos de materiais e energia que participam nos processos realizados dentro de um sistema, e cálculo dos fluxos de energia utilizando o fator chamado “transformidade”. Transformidade é a energia solar requerida para fazer um joule de produto ou serviço (Odum, 1996). Assim,

$$\text{Fluxo de energia (ou massa)} \times \text{Transformidade} = \text{Fluxo de emergência}$$

- b) Agregação dos fluxos por tipo de recurso, por exemplo, a emergência dos recursos locais renováveis (R) e a emergência total utilizada no sistema (U)⁵; um índice de sustentabilidade pode ser calculado com estes dois fluxos agregados, a Renovabilidade (REN):

$$REN = \frac{R}{U}$$

- c) Cálculo dos indicadores: taxa de rendimento emergético (EYR) e taxa de carga ambiental (ELR); O EYR de uma economia é a razão entre a emergência total e a emergência vinda do sistema econômico, assim: $EYR = U / (F + G + P_2I)$. O ELR de uma economia expressa a razão entre a emergência dos recursos locais não-renováveis e

⁵ Somatória de: recursos não-renováveis não contabilizados monetariamente (N_0), recursos não-renováveis contabilizados monetariamente (N_1), recursos renováveis (R), combustíveis e minerais importados (F), produtos importados (G), e serviços importados (P_2I).

do sistema econômico e a energia renovável, assim: $ELR = (N_0 + N_1 + F + G + P_2 I) / R$. Finalmente calcula-se o Índice de Sustentabilidade Emergético (EMSI):

$$EMSI = \frac{EYR}{ELR}$$

O EMSI assume que o objetivo final da sustentabilidade é conseguir o maior saldo energético com o menor impacto ambiental. Quanto mais elevado este índice mais uma economia depende de fontes de energia renovável, minimizando as importações e a carga ambiental. No caso da renovabilidade, a longo prazo, somente os processos com REN elevado são sustentáveis (Brown e Ulgiati, 1997).

Descrições detalhadas e aplicações do método são encontradas em Odum (1996) e no Capítulo 6 desta tese.

3.4. RESULTADOS

Foram selecionados 12 países cuja sustentabilidade já havia sido avaliada previamente com os três métodos escolhidos nesta pesquisa (EF, ESI e EMPIs).

A figura 3.2 mostra os resultados da pegada ecológica para os 12 países selecionados.

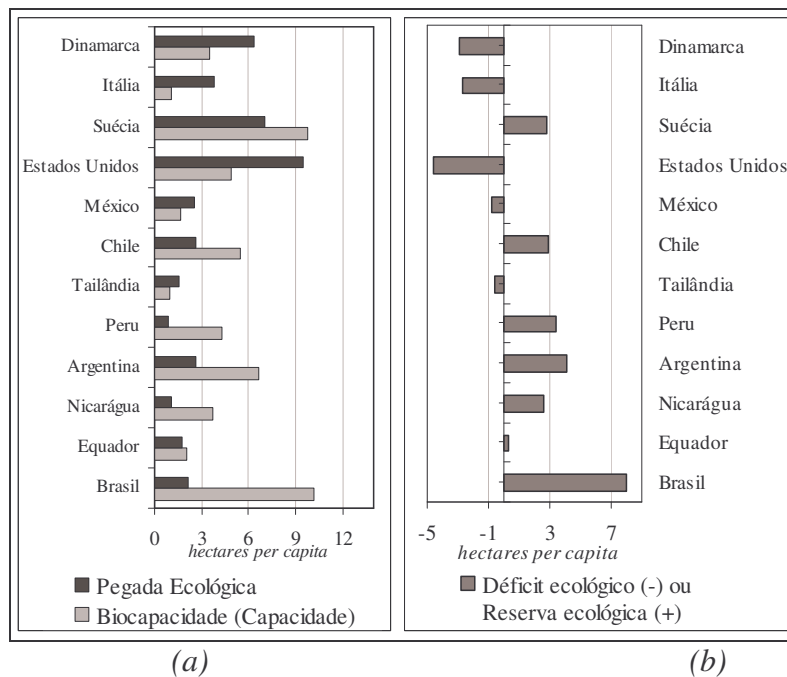


Figura 3.2. Pegada Ecológica: (a) Pegada e Biocapacidade; (b) Saldo Ecológico.

Elaborado baseado em Hails et al. (2006).

Na figura 3.2 duas escalas diferentes são incluídas: “consumo” (EF) e “biocapacidade” (BC), em hectares per capita para cada país (Fig. 3.2a), e a diferença entre EF e BC, expresso em “déficit ecológico” (ED) ou “reserva ecológica” (ER) para cada país (Fig. 3.2b). No caso dos Estados Unidos se observa uma grande pegada (EF = 9,5), e uma baixa capacidade para suportar esse consumo (BC = 4,9) (Fig. 3.2a), isto resulta em um alto déficit ecológico (ED = 4,6) (Fig. 3.2b). No caso contrário, a Suécia também tem uma alta pegada (EF = 7,0), mas uma alta biocapacidade (BC = 9,8) que resulta em uma reserva ecológica (ER = 2,8), que o define como um país sustentável, segundo este índice. Este índice foi calculado para Chile, Peru, Argentina e Brasil e os resultados mostram baixos consumos comparados com suas altas biocapacidades, colocando-os entre os países mais sustentáveis do planeta.

A Fig. 3.3 mostra o ESI calculado para cada país. Nesta análise os países que tem alto valor do ESI são os países mais sustentáveis e os que têm valor baixo são os insustentáveis; assim, a Suécia, que segundo o ESI-2005 tem um valor de 71,7 (4º no ranking ESI), é um dos países mais sustentáveis do planeta. México, que tem um valor ESI de 46,2 (95º no ranking ESI), é um dos países mais insustentáveis do planeta. Estados Unidos com um valor ESI de 52,9 (45º no ranking ESI) é considerado um país de sustentabilidade intermediária na escala do ESI. Argentina, Brasil e Peru, 9º, 11º e 16º respectivamente no ranking ESI, são países sustentáveis.

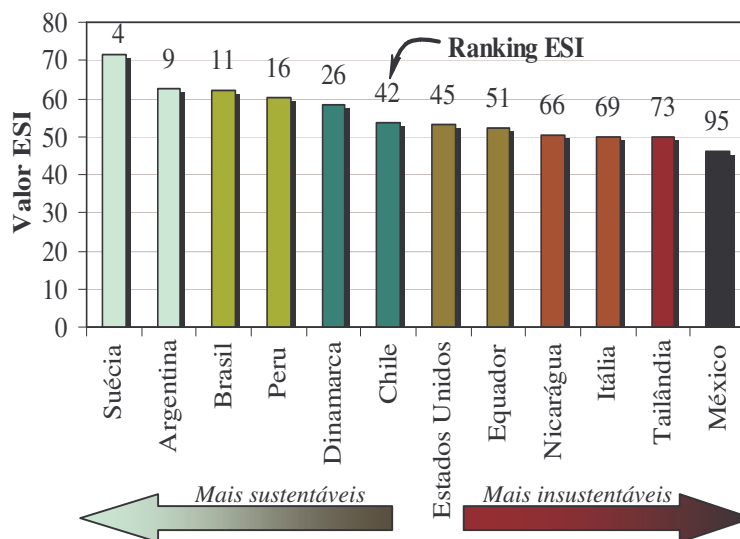


Figura 3.3. Índice de Sustentabilidade Ambiental (Valor e Ranking).

Baseado em Esty et al. (2005).

A Fig. 3.4 mostra os EMPIs (EMSI e REN) para cada país. Os países que tem valores de EMSI e REN altos são sustentáveis, e os países com valores baixos de EMSI e REN são insustentáveis. Assim, Dinamarca (EMSI = 0,14 e REN = 0,09), Itália (EMSI = 0,17 e REN = 0,10), Suécia (EMSI = 0,19 e REN = 0,12), e Estados Unidos (EMSI=0,48 e REN = 0,11) são países insustentáveis. Países como Argentina (EMSI = 8,20 e REN = 0,56), Nicarágua (EMSI=13,86 e REN = 0,77), Equador (EMSI = 15,48 e REN = 0,50), e Brasil (EMSI = 16,50 e REN = 0,70) são países sustentáveis.

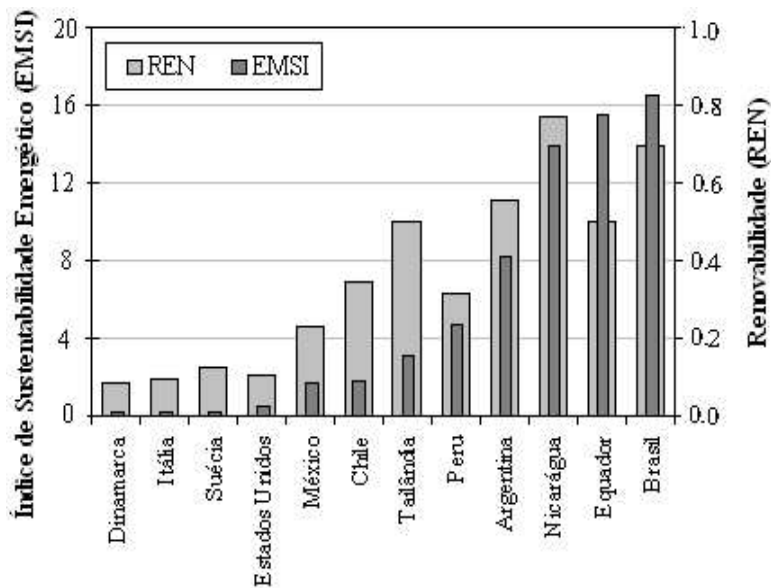


Figura 3.4. Índices de Desempenho Energético: Renovabilidade (REN) e Índice de Sustentabilidade Energético (EMSI). Baseado nos estudos de Brown e McClanahan (1996), Cuadra (2005), Haden (2003), Lagerberg (1999), Ortega (2003), Siche e Ortega (2007), Scatena et al. (2002).

Na Figura 3.5, os valores de sustentabilidade dos três métodos avaliados estão desenhados em uma escala de 0 a 100. Foi utilizada a normalização linear de dados (UNDP, 2005) para converter os valores dos índices avaliados em escalas comparáveis, mas conservando a importância relativa da medida original. No caso da EF que tem uma tendência contrária aos índices ESI e REN, seu valor complementar foi calculado ($EFr = 1 - EF$) para manter a consistência.

A Figura 3.5 mostra a concentração dos resultados obtidos. No lado direito, Brasil e Argentina mostram consistência de resultados. Os valores de sustentabilidade obtidos com os três métodos são similares. No lado esquerdo, as discrepâncias entre os resultados de

cada índice são evidentes. Assim, o ESI calcula um valor de sustentabilidade muito bom para Suécia, enquanto que os índices REN e EF calculam baixos valores de sustentabilidade. No caso oposto, o México, que segundo o ESI tem uma baixa sustentabilidade, apresenta alta sustentabilidade quando é utilizado a EF.

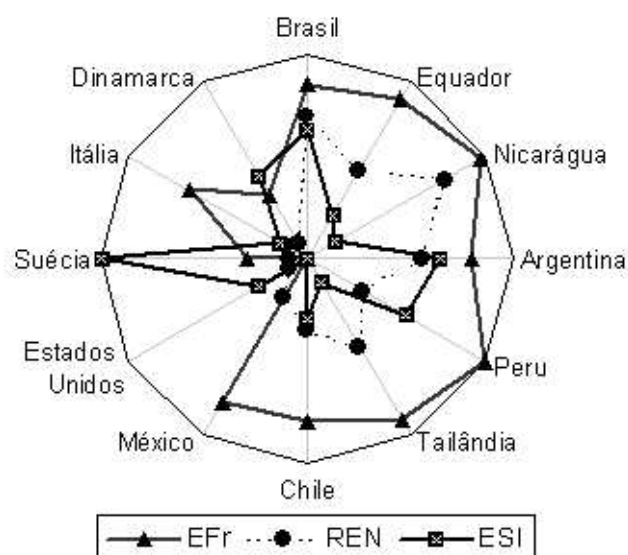


Figura 3.5. Perfil comparativo dos valores de sustentabilidade.

Na Figura 3.6 as regressões entre pares destes índices são apresentadas. O coeficiente de correlação (R^2) é utilizado aqui como uma ferramenta para definir, além da semelhança entre os métodos, também o grau de dependência. Um $R^2 = 0.0004$ (Fig. 3.6a) indica que os métodos comparados (ESI e EMSI) dão resultados muito diferentes, ou que o ESI é explicado em 0.04% pelo EMSI, ou vice-versa, o EMSI é explicado em 0.04% pelo ESI. Um $R^2 = 0.5156$ (Fig. 3.6e) indica que os métodos comparados (EF e REN) dão resultados semelhantes, ou a EF é explicada em 52% pelo REN, ou vice-versa.

Finalmente, com a finalidade de comparar os métodos, duas tabelas foram preparadas. A Tabela 3.1 mostra o tipo de processamento dos dados brutos para alcançar o índice final e a Tabela 3.2 descreve as principais características de cada método.

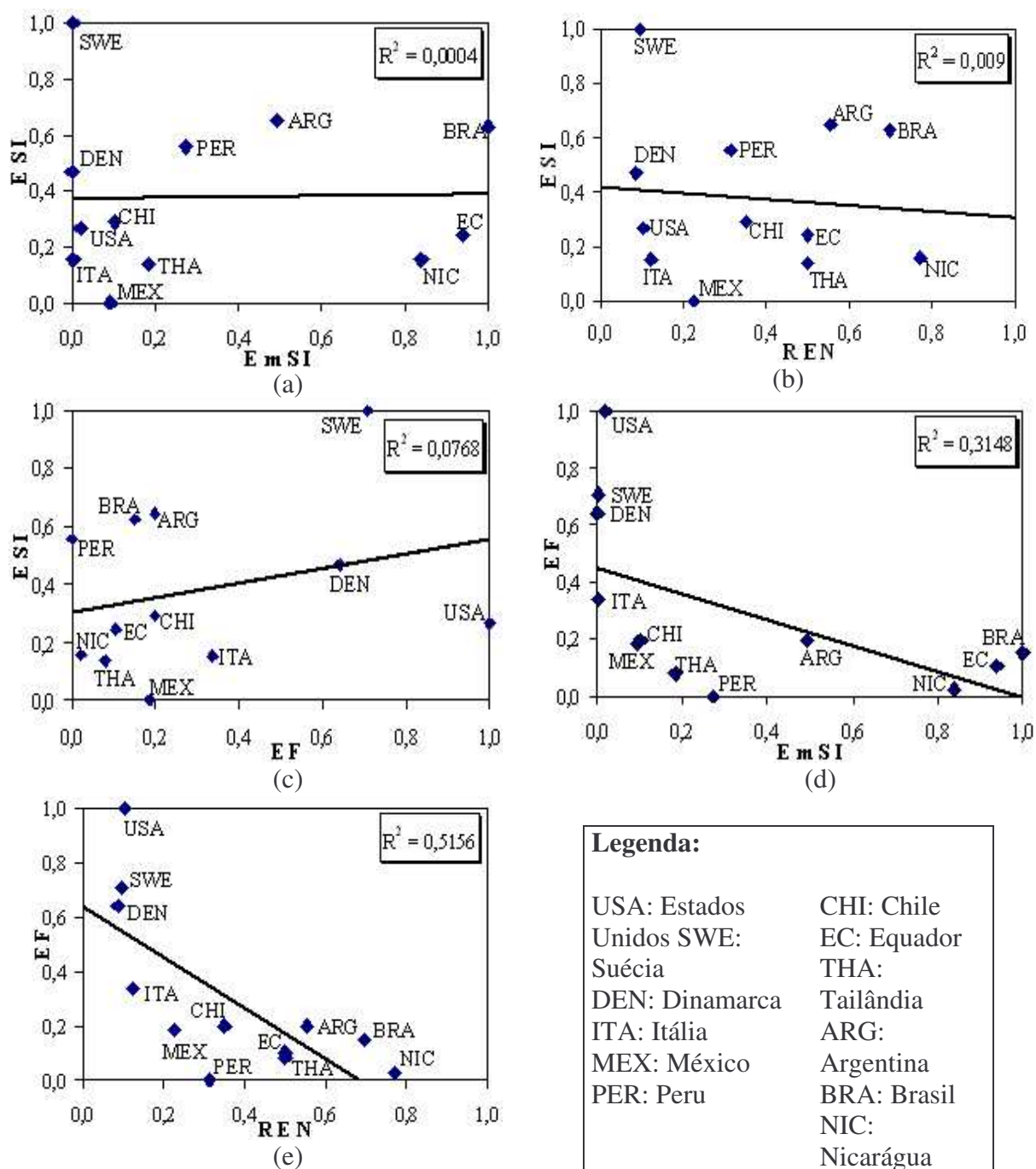


Figura 3.6. Correlações entre os índices avaliados. (a) ESI – EMSI; (b) ESI – REN; (c) ESI – EF; (d) EF – EMSI; (e) EF – REN.

3.5. DISCUSSÃO

Os três métodos analisados apresentam vantagens e limitações, eles mostram enfoques distintos, diferentes níveis de complexidade, e usam diferentes unidades em seus cálculos.

A EF é expressa em unidades que todos compreendem (área de terra). O ESI não tem uma dimensão específica. Seu valor é obtido de um procedimento que inclui muitos conceitos, cada um com diferentes unidades, incluindo “área de terra”, já que sua metodologia inclui a EF como uma de suas 146 variáveis. Assim, o ESI é o índice mais complexo e trabalhoso de se calcular. Os EMPIs são obtidos a partir de equações que consideram somente uma unidade de medida: energia solar (joule solar equivalente ou seJ).

Como pode ser observado na Tabela 3.1, os três índices resultam em um valor numérico como consequência da agregação de outros indicadores.

Tabela 3.1. Agregação dos dados dos métodos avaliados.

Pirâmide de informação	Pegada Ecológica	Índice de Sustentabilidade Ambiental	Índices de Desempenho Emergético
Índice	EF	ESI	EMSI, REN
Sub-índices ou dimensões	Não utiliza	5 dimensões	Não utiliza
Indicadores	Não utiliza	21 indicadores	EYR e ELR
Variáveis ou dados agregados	Não utiliza	146 variáveis	U, Energia Importada, Energia Exportada
Dados organizados	Consumo e biocapacidade	Não utiliza	N, R, F, G, P ₂ I, P ₁ E
Dados primários	Fluxos de matéria e energia do sistema sob análise.	Todo dado disponível incluindo outros índices ou indicadores.	Fluxos de matéria, energia e dinheiro, que ingressam, saem e/ou se reciclam.

N: Recursos Não-renováveis.

P₁E: Valor dos produtos e serviços exportados.

Os três índices podem revelar situações críticas dos sistemas avaliados. Usualmente eles são utilizados como métodos estáticos, e provêm de um retrato do momento atual. Porém, como a natureza e a economia são sistemas dinâmicos, estes índices não captam certos fenômenos que ocorrem neles como a mudança tecnológica ou a adaptabilidade dos sistemas sociais. A análise emergética desenvolveu um método específico para modelação dinâmica e simulação (Odum e Odum, 2000; Valyi e Ortega, 2004), já que esta metodologia considera a mudança dos estoques internos como consequência das alterações das forças externas ou do estabelecimento de novos arranjos internos. Isto possibilita modelar e simular ecossistemas ou economias.

Os criadores da EF dizem que a predição nunca foi sua intenção. A EF pode ser considerada como uma câmara fotográfica ecológica; cada análise fornece um instante da demanda atual sobre a natureza, um retrato da demanda de terra sob a prevalecente tecnologia e valores sociais (Rees e Wackernagel, 1996). Eles reiteram que a pegada ecológica não é uma janela do futuro, mas preferivelmente uma maneira de avaliar a realidade atual e uma alternativa para construir cenários na busca da sustentabilidade.

A EF e os EMPIs têm sido aplicados para realizar avaliações ambientais em todas as escalas (Tabela 3.2), por exemplo a situação global tem sido avaliada com a EF (WWF, 2005) e com os EMPIs (Brown e Ulgiati, 1999). Estas duas ferramentas também estão sendo utilizadas para avaliar países, regiões além de grandes e pequenos negócios. Por outro lado, o ESI tem sido utilizado somente para avaliar a sustentabilidade de países.

Uma vantagem importante do ESI é a apresentação de uma vasta informação junto ao valor final do índice (Jesinghaus, 2000), mas como Welsch (2004) indica, no ESI há pouco interesse sobre a qualidade dos dados que são empregados. Somente valores simples para cada variável são usados.

O cálculo dos EMPIs necessita de um adequado conhecimento de conceitos emergéticos baseados na termodinâmica de sistemas abertos, mas são fáceis de calcular. A EF é o método mais simples, pois não utiliza indicadores (Tabela 3.1), mas atrás da sua simplicidade aparente há um cálculo complexo de índices territoriais para várias atividades humanas e naturais. O ESI inclui o uso de algoritmos de imputação múltipla para substituir

dados não disponíveis e outras ferramentas e suposições estatísticas (a análise estatística de clusters, por exemplo) o que dificulta a reprodução de seus dados.

Tabela 3.2. Caracterização das metodologias avaliadas.

Característica	Metodologia		
	EF	ESI	EMPI's
Unidade de medida	Área de terra	Várias	Energia
Nível de	Baixo	Alto	Médio
Complexidade	Estático	Estático	Estático e
Tipo	G, N, SN, L, B e	N	Dinâmico
Escala ⁽ⁱ⁾	P	Todos	G, N, SN, L, B e P
IDER ⁽ⁱⁱ⁾	Só emissão CO ₂	Completa	Todos
EDES ⁽ⁱⁱⁱ⁾	Parcial	Indireta	Superficial
DEFR ^(iv)	Subestima		Direta

(i) Escala: representa o nível geográfico no que a sido aplicado o índice (G: Global; N: nacional; SN: sub-nacional; L: local; B: negócios; P: produtos)

(ii) Inclusão na metodologia de desperdício, emissões e reciclagem.

(iii) Considera o efeito das emissões sobre o ecossistema.

(iv) O método reconhece a diferença entre energia fóssil e energia renovável.

Em relação ao desperdício, emissões e reciclagem (IDER, Tabela 3.2) a EF contabiliza a área requerida para absorver o dióxido de carbono formado durante a combustão de combustíveis fósseis, mas sem considerar outra forma de contaminação, pelo menos diretamente. Assim, a EF falha em não considerar ou subestimar fatores importantes como as emissões residuais e a reciclagem. Nos EMPIs, qualquer fluxo ou estoque pode ser mensurado; porém, na prática, as avaliações emergéticas de sistemas nacionais não contabilizam emissões atmosféricas e estoques de resíduos.

Segundo Odum (1996), usar recursos que apresentam uma renovabilidade extremamente lenta (ou não-renováveis) aumentam a carga ambiental do sistema. Assim, procurando o método que reconhece a diferença entre energia não renovável e energia renovável (DEFR, Tabela 3.2) chegamos ao método emergético, sendo este o único que considera esta diferenciação. Os EMPIs estabelecem uma clara diferenciação entre as

fontes de energia finita (não-renováveis) e fontes renováveis. A EF quando considera a biocapacidade inclui esta diferenciação, mas não em outros cálculos. Conseqüentemente a EF não explicita o grau de sustentabilidade no indicador final. No caso do ESI, esta consideração é tomada de forma indireta; primeiro, porque em seus cálculos a EF é considerada como uma variável (talvez com baixo peso), e segundo, porque muitas outras variáveis usadas no cálculo do ESI representam de algum modo o uso de recursos renováveis, como a variável “produção de energia hidráulica e renovável como porcentagem do consumo de energia total”.

Pode-se dizer que os três indicadores estudados conseguem avaliar a sustentabilidade de um modo geral, e em alguns casos podem fornecer resultados semelhantes. Mas é preciso ser cuidadoso no momento de tirar conclusões e fazer propostas. Por exemplo, de acordo com o relatório “Living Planet Report 2004” países como Tailândia, Peru, Nicarágua e Equador registram valores muito bons (Fig. 3.2a), ou seja, estas regiões possuem mais área do que a necessária para suportar o estilo de vida dos seus habitantes. Mas este fato está, contudo ligado a situações de pobreza e subdesenvolvimento. Já em países como Estados Unidos, Dinamarca e Itália, há um déficit de área (Fig. 3.2b); isto quer dizer que o estilo de vida dos seus habitantes não pode ser sustentado com os recursos locais. Na prática, os países com alto consumo sobrevivem com os recursos de outros países (petróleo dos países árabes, minerais, combustíveis e matérias primas de países da América Latina e África, etc.).

Uma semelhança entre a EF e os EMPIs é o fato de ambos aceitarem a hipótese de que os habitantes de uma determinada região da terra não estão “isolados” e que consomem o que nele é produzido. A diferença é que os EMPIs consideram a energia importada e a energia exportada como variáveis (Tabela 3.1) do sistema avaliado e embutido em alguns de seus indicadores; este não é o caso da EF, quem contabiliza-os em forma indireta como parte do cálculo do consumo mas não é refletido no índice final.

A análise matemática (Fig. 3.5 e Fig. 3.6) mostra que a EF e os EMPIs têm comportamento similar. Um dos principais resultados da análise matemática é que o ESI obtém valores muito bons para alguns países que têm uma grande participação comprovada na poluição do planeta, como Estados Unidos e Dinamarca, ao contrário de valores ruins de EF e EMPIs para estes países (Fig. 3.5).

Os índices com melhor relacionamento são a EF e os EMPIs ($R^2 = 0,3148$ para EF-EMSI, Fig. 3.6d; $R^2 = 0,5156$ para EF-REN, Fig. 3.6e) e aqueles com piores relacionamento são o ESI e os EMPIs ($R^2 = 0,0004$ para ESI-EMSI, Fig. 3.6a; $R^2 = 0,009$ para ESI-REN, Fig. 3.6b). Pode-se dizer que 32% da variação da EF é explicada pelo EMSI, e 52% da variação da EF é explicada pelo REN. A Fig. 3.6c mostra uma baixa correlação entre o ESI e a EF ($R^2 = 0,0768$), valor baixo em comparação com o calculado por Esty et al. (2005) entre o ESI e a EF ($R^2 = 0,15$) e maior em comparação com o valor calculado entre o ESI e o Índice de Vulnerabilidade Ambiental ($R^2 = 0,03$). Assim, em todos os casos, baixos relacionamentos foram encontrados entre o ESI e qualquer outro índice de sustentabilidade, e grandes relacionamentos entre a EF e qualquer outro índice de sustentabilidade.

Os criadores do ESI (Esty et al., 2005) tinham encontrado um relacionamento maior entre o ESI e a riqueza (medidos através do PIB) ($R^2 = 0,23$) e um relacionamento similar entre o ESI e o Índice de Competitividade Global ($R^2 = 0,34$). Pior ainda, Morse e Fraser (2005), trabalhando com todos os dados do ESI e a suposição de igual ponderação, encontraram um grande relacionamento entre o ESI e o PIB ($R^2 = 0,82$ de relacionamento linear e $R^2 = 0,86$ de relacionamento quadrático). Estes resultados, junto com os nossos, afirmam que o ESI não fornece uma boa interpretação da sustentabilidade de um país, mas pode ser interpretado como o quão bem um país pode lidar com as ameaças à sua própria sustentabilidade, usando sua riqueza. Isto acontece devido ao fato de que o ESI é resultado de uma preponderância de variáveis que têm uma correlação positivamente forte com a riqueza. Estes argumentos fortalecem a idéia do ESI ter sido feito em favor dos países mais ricos (The Ecologist, 2001) e poderiam facilitar o uso do ESI para relacionar a sustentabilidade ambiental com o desempenho econômico (Morse e Fraser, 2005) como também à corrupção (Morse, 2006).

Entanto o ESI parece focalizar-se em interpretar o quão bem um país pode lidar com as ameaças a sua sustentabilidade, enquanto que a EF realmente está focalizada nos impactos na sustentabilidade global. Para a EF, os Estados Unidos têm uma pegada enorme, mas em prejuízo de outros países. Por outro lado, o ESI dos Estados Unidos apresenta bons resultados, já que não considera o efeito da sustentabilidade global. Ou como Schaefer e Schavey (2002) argumentam, o ESI representa o sucesso de um país em lidar com os

desafios ambientais e em cooperar com outros países na gerência e na melhoria de problemas ambientais comuns.

Finalmente, a principal crítica de ESI é a subjetividade do processo de seleção das variáveis que o compõe (Jha e Bhanu-Murthy, 2003; Morse e Fraser, 2005). Em termos práticos, a tentativa do ESI de medir a sustentabilidade falha porque procura abranger fenômenos diferentes demais sob o mesmo foco conceptual (The Ecologist, 2001).

3.6. CONCLUSÕES

A pegada ecológica (Ecological Footprint - EF) se fundamenta sobre a comparação entre “consumo” versus “recursos”, contudo uma evidente imperfeição deste índice é a ausência de informação associada à sustentabilidade (por exemplo, perda de solo, consumo de água fresca, e perda de floresta), aspectos que os métodos EMA e ESI contabilizam. Por outro lado, a demanda de informação no ESI é impressionante; porém o ESI pode ser considerado muito informativo. Apesar das limitações do ESI, pensamos que o ESI poderia ser mais útil se for desagregado em seus componentes individuais, permitindo que o usuário decida pelos pesos apropriados.

A análise emergética (EMA) aplicado à sustentabilidade de países, até o momento, não tem adotado o cálculo de indicadores associados aos itens: biomassa natural, desmatamento, e consumo de água fresca; mas poderiam ser incluídos com facilidade, já que EMA é muito adaptável. EMA poderia incluir variáveis relevantes segundo o requerimento. Assim, EMA dá uma solução aproximada da sustentabilidade do sistema que pode ser refinada. Outro ponto importante é que EMA separa os recursos renováveis e não-renováveis.

A análise de correlação indica que o ESI comparado com qualquer outro índice de sustentabilidade apresenta baixos relacionamentos ($R^2_{ESI-EmSI} = 0,0004$; $R^2_{ESI-EF} = 0,0768$), em contraste da EF, que apresenta os maiores relacionamentos com qualquer outro índice ($R^2_{ESI-EF} = 0,0768$; $R^2_{EF-REN} = 0,5156$). Assim, dos três métodos avaliados, os índices que mostram melhores relacionamentos são a pegada ecológica (EF) e os índices de desempenho emergético (EMPIs). Neste sentido, melhorar e refinar a metodologia da

pegada ecológica (método estático), considerando os pontos fortes da metodologia emergética (como componente dinâmico), poderia ser uma boa alternativa.

Pesquisas nesta linha foram publicadas recentemente (Zhao et al., 2005; Chen e Chen, 2006), mas estes novos métodos misturados mantêm algumas deficiências das metodologias originais. Por outro lado, novas alternativas de convergência entre EF e EMA estão sendo propostas para melhorar as deficiências dos enfoques iniciais (Siche et al., 2007; Agostinho et al., 2007).

É possível dizer que os três métodos são importantes alternativas para calcular a sustentabilidade de nações, mas que necessitam ser refinados; sendo também possível desenhar um método alternativo de convergência entre eles.

3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostinho, F., Siche, J.R, Ortega, E., 2007. True Ecological Footprints for Small Farms in Brazil. International Ecological Footprint Conference, 8-10 May, 2007. Cardiff, UK.
- Azar, C., Holmberg, J., Lindgren, K., 1996. Socio-ecological indicators for sustainability. *Ecol. Econ.* 18, 89–112.
- Barrera, R.A., Saldívar, V.A., 2002. Proposal and application of a Sustainable Development Index. *Ecol. Indic.* 2, 251–256.
- Baloccoa, C., Papeschib, S., Grazzinia, G., Basosib, R., 2004. Using exergy to analyze the sustainability of an urban area. *Ecol. Econ.* 48, 231–244.
- Bertalanffy, L. Von., 1968. *General System Theory Foundations, Development, Application*. New York: Braziller.
- Bicknell, K.B., Ball R.J., Cullen R., Bigsby, H.R., 1998. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand. *Ecol. Econ.* 27, 149–160.
- Brown, M.T., McClanaham, T.R., 1996. Emergy Analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. *Ecol. Model.* 91, 105–130.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecol. Eng.* 9, 51–69.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 1999. Emergy evaluation of the biosphere and natural capital. *Ambio* 28, 468–493.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 2001. Emergy measures of carrying capacity to evaluate economic investments. *Population and Environment* 22, 471-501.
- Carson, R., 1962. *Silent Spring*. Boston: Houghton Mifflin Company, USA.
- Chen, B., Chen, G.Q., 2007. Modified ecological footprint accounting and analysis based on embodied exergy – a case study of the Chinese society 1981–2001. *Ecol. Econ.* 61, 355-376.
- Cuadra, M., 2005. Assessment of the natural resource base of Nicaragua and case studies of its use in agricultural production and export. Dept. of Ecology and Crop Production Science, SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 25.
- Economist, 2002. The Environmental Sustainability Index. 362 (8264).
- Esty, D, Levy, M., Srebotnjak, T., Sherbinin, A., 2005. 2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship. New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy.
- Gilbert, J.A., Feenstra, F.J., 1994. A sustainability indicator for the Dutch environmental policy theme ‘Diffusion’: cadmium accumulation in soil. *Ecol. Econ.* 9, 253–265.
- Haden, A., 2003. Emergy Evaluation of Denmark and Danish Agriculture – Assessing the Limits of Agricultural Systems to Power Society. Centre for Sustainable Agriculture Sciences, Swedish University of Agric. Sciences, Uppsala. *Ecological Agriculture* 37.
- Hails, C., Loh, J., Goldfinger, S., 2006. Living planet report. 2006. World Wide Fund for Nature International (WWF), Zoological Society of London (ZSL), Global Footprint Network, Gland, Switzerland.
- Hardi, P., Barg, S. 1997. *Measuring sustainable development: Review of current practice*. Winnipeg: IISD.
- IUCN, UNEP, WWF, 1980. *The World Conservation Strategy*. WWF, Gland, Switzerland.

- Jesinghaus, J., 2000. The World Economic Forum's Environmental Sustainability Index: strong and weak points Ispra, Italy. Joint Research Centre of the European Commission, Brussels, Belgium.
- Jha, R., Bhanu-Murthy, K.V., 2003. A Critique of the Environmental Sustainability Index. Working papers in trade and development, the Australian national university. Disponível em: <http://rspas.anu.edu.au/economics/publications.php>
- Krotscheck, C., Narodoslowsky, M., 1996. The Sustainable Process Index, a new dimension in ecological evaluation. *Ecol. Eng.* 6, 241–258.
- Lagerberg, C., 1999. Emergy analysis of the resource use in greenhouse crop production and of the resource basis of the Swedish economy. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria* 191.
- Lewan, L., Simmons, C. 2001. The use of Ecological Footprint and Biocapacity Analyses as Sustainability Indicators for Sub-national Geographical Areas: A Recommended Way Forward. European Common Indicators Project EUROCITIES/Ambient, Italy. Disponível em: http://www.prosus.uio.no/english/sus_dev/tools/oslows/2.htm
- Lotka, A.J., 1925. *Elements of Physical Biology*. Williams and Wilkins, Baltimore, Maryland, USA.
- Meadows, D.H. et al., 1972. *The Limits to growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Man Kind*. New York: Universe Books.
- Monfreda, C., Wackernagel, M., Deumling, D., 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts. *Land Use Policy* 21, 231–246.
- Moser, A., 1996. Ecotechnology in industrial practice: implementation using sustainability indices and case Studies. *Ecol. Eng.* 7, 117–138.
- Morse, S., 2004. *Indices and indicators in development. An unhealthy obsession with numbers?* Earthscan, London, UK.
- Morse, S. Fraser, E.D.G., 2005. Making 'dirty' nations look clean? The nation state and the problem of selecting and weighting indices as tools for measuring progress towards sustainability. *Geoforum* 36, 625-640.
- Morse, S., 2006. Is Corruption Bad for Environmental Sustainability? A Cross-National Analysis. *Ecology and Society* 11 (1): 22.
- Neumayer, E., 2001. The human development index and sustainability - a constructive proposal. *Ecol. Econ.* 39, 101–114.
- Nilsson, J., Bergström, S., 1995. Indicators for the assessment of ecological and economic consequences of municipal policies for resource use. *Ecol. Econ.* 14, 175–184.
- Odum, H.T., 1986. Emergy in Ecosystems. In: N. Polunin (Editor). *Environmental Monographs and Symposia*. John Wiley, NY, 337-369.
- Odum, H.T., 1996. *Environmental Accounting, Emergy and Decision Making*. J. Wiley, NY.
- Odum, H.T., Odum, E.C., 2000. *Modeling for all scales*. Academic Press, New York.
- Pearse, W.D., Atkinson, D.G, 1993. Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability. *Ecol. Econ.* 8, 103-108.
- Rees, W., 1992, Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economies leaves out. *Environ. Urban.* 4, 121–130.
- Rees, W., Wackernagel, M., 1996. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. *Environ. Impact Assess. Rev.* 16, 223–248.
- Samuel-Johnson, K., Esty, D.C., 2000. *Pilot Environmental Sustainability Index Report*. World Economic Forum: Annual Meeting, Davos, Switzerland.

- Scatena, F., Doherty, S., Odum, H., Kharecha, P., 2002. An emergy evaluation of Puerto Rico and the Luquillo experimental forest. Gen. Tech. Report IITF-GTR-9. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, International Institute of Tropical Forestry.
- Scienceman, D.M., 1987. Energy and Emergy. In G. Pillet and T. Murota (Eds), Environmental Economics: The Analysis of a Major Interface. Geneva: Leimgruber, pp. 257-276.
- Schaefer, B.D., Schavey, A., 2002. America's International Development Agenda. Backgrounder. Washington, D.C.: Heritage Foundation. Disponível em: <http://www.heritage.org/Research/TradeandForeignAid/BG1546.cfm>.
- Siche, J.R., Ortega, E., 2007. Emergy-based sustainability of the Peruvian economy. In: Proceedings of the IV Biennial Emergy Analysis Conference, Gainesville, Florida, pp. 11.1 – 11.12.
- Siche, J.R., Agostinho, F., Ortega, E., 2007. Emergy Net Primary Production as basis for calculation of Ecological Footprint. International Ecological Footprint Conference, Cardiff, UK. Disponível em: http://www.brass.cf.ac.uk/uploads/Ortega_Siche_M54.pdf
- Steinborn, W., Svirezhev, Y., 2000. Entropy as an indicator of sustainability in agro-ecosystems: North Germany case study. Ecol. Model. 133, 247-257.
- Stockhammer, E., Hochreiter, H., Obermayr, B., Steiner, K., 1997. The index of sustainable economic welfare (ISEW) as an alternative to GDP in measuring economic welfare. The results of the Austrian (revised) ISEW calculation 1955-1992. Ecol. Econ. 21, 19-34.
- Sutton, P., Costanza, R., 2002. Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation. Ecol. Econ. 41, 509-527.
- The Ecologist, Friends of the Earth, 2001. Keeping score: which countries are the most sustainable? The Ecologist 31(3), 44.
- Ulgianti, S., Brown, M.T., 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. Ecol. Model. 108, 23-36.
- UNDP, 2005. Human Development Report 2005. Washington, USA. Disponível em: <http://hdr.undp.org>.
- United Nations, 1992. Conference on Environment & Development. Rio de Janeiro, Brazil. Available at http://www.sidsnet.org/docshare/other/Agenda21_UNCED.pdf.
- Valyi, R., Ortega, E., 2004. Emergy simulator, an open source simulation platform dedicated to systems ecology and emergy studies. In: E. Ortega and S. Ulgianti (Editors). Proceedings of the IV International Biennial Workshop Advances in Energy Studies. Brazil, pp. 349-360.
- Venetoulis, J.; Talberth, J., 2007. Refining the ecological footprint. Environment, Development, and Sustainability DOI 10.1007/s10668-006-9074-z.
- Wackernagel, M., Rees, W., 1996. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island, BC, and Philadelphia, New Society Publishers.
- Wackernagel, M., Rees, W.E., 1997. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective. Ecol. Econ. 20, 3-24.
- Wiedmann, T., Minx, J., Barret, J., Wackernagel, M., 2006. Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. Ecol. Econ. 56, 28-48.
- World Commission on Environment and Development, 1987. Our Common Future. Oxford University Press. WWF - The Global Conservation Organization, 2005. Humanity's Ecological Footprint. Disponível em : http://www.panda.org/news_facts/publications/living_planet_report/footprint/
- Zhao, S.; Li, Z., Li, W., 2005. A modified method of ecological footprint calculation and its application. Ecol. Model. 185, 65-75.

CAPÍTULO IV:
ANÁLISE DA PEGADA ECOLÓGICA DO CASO PERUANO

RESUMO

Este capítulo aborda a inserção da Pegada Ecológica enquanto instrumento capaz de revelar quanto de área produtiva de terra e de mar do Peru é necessário para prover os recursos e assimilar os resíduos gerados pela sua atividade econômica. Primeiramente foi realizada uma profunda análise dos conceitos, suposições e das categorias que fazem parte da metodologia Pegada Ecológica. Em seguida, a metodologia foi aplicada ao caso Peruano com dados do ano 2004.

Os resultados revelam que os problemas ambientais mais graves do Peru estão centrados na agricultura e a pesca, seguido pelo desmatamento e as emissões de CO₂. Estimou-se que o Peru, com o ritmo atual de consumo e perda de sua biocapacidade, deixará de pertencer ao grupo dos países com saldo ecológico favorável, aproximadamente entre os anos 2014 e 2020.

4.1. INTRODUÇÃO

A humanidade enfrenta um desafio sem precedentes no que se refere a sua subsistência devido à limitada capacidade do planeta em sustentar o atual nível de consumo e estilo de vida. De acordo com O'Meara (1999) as áreas urbanas, que contemplam mais da metade da população mundial, são responsáveis por 80% das emissões de carbono, 75% do uso da madeira e 60% do consumo de água. As cidades ocupam apenas de 1 a 5% da área do planeta, mas consomem 75% de seus recursos. Elas podem ser consideradas como “pontos quentes”, pois um hectare de uma área metropolitana consome mais de 1000 vezes energia que a mesma área em um ambiente natural.

Vários esforços estão sendo feitos para medir a apropriação humana dos espaços ecológicos, mas a Pegada Ecológica sobressai por suas vantagens, convertendo-se em uma ferramenta muito popular no mundo todo. A grande vantagem da Pegada Ecológica é ser um poderoso instrumento pedagógico de conscientização ecológica. Segundo Loh e Wackernagel (2004), por volta de 1986 (Figura 4.1) a pegada humana total atingiu o ponto limítrofe da capacidade ecológica do planeta, o que significava que, até esse período, um planeta era suficiente para suportar as atividades antrópicas; já em 1996 eram necessários

1,2 planetas. Segundo Hails et al. (2006) a pegada para o ano 2003 foi calculada em 2,2 hectares globais por pessoa (sem considerar a porcentagem à proteção da diversidade), enquanto a biocapacidade global por pessoa foi de 1,8 hectares, o que significa um excesso de 25%, ou seja, em 2003 já eram necessários 1,25 planetas para suportar as atividades da humanidade. Assim, resulta de fundamental importância que se saiba quanto dos recursos há ainda no planeta, ou nos países, e quanto daqueles recursos são consumidos, detectando o excesso ou a reserva como os elementos de base nas propostas de novas políticas públicas de desenvolvimento sustentável dos países.

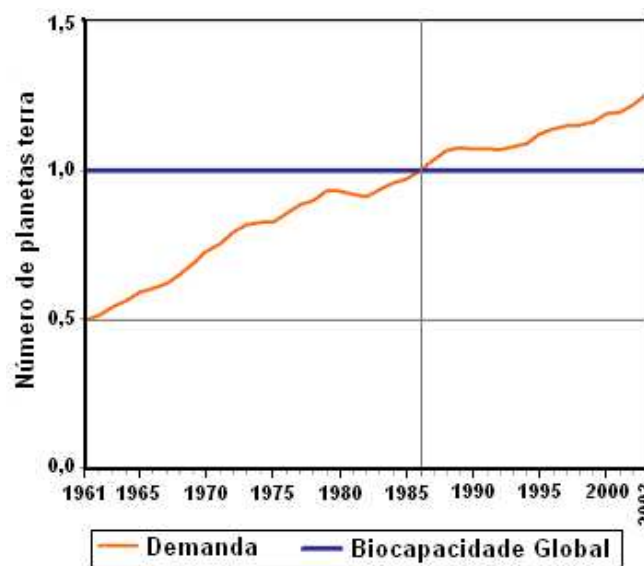


Figura 4.1. A pegada Ecológica da humanidade, 1961 – 2003
(Adaptado de Hails et al., 2006)

No último relatório Living Planet Report (Hails et al., 2006) é evidenciado que as atividades humanas têm se apropriado de grandes áreas produtivas do planeta, diminuindo a proporção per capita desses espaços ecológicos. Essa apropriação não se dá de forma igualitária, pois os países desenvolvidos usam áreas produtivas dos países em desenvolvimento, já os países em desenvolvimento possuem cada vez menos acesso a essas áreas. Nesta situação, alguns ganham e outros perdem, mas em longo prazo, todos perdem.

O Peru como país em desenvolvimento não escapa desta realidade, mesmo fazendo uma simples análise interna (por regiões) do país (ver capítulo 2 desta tese), encontra-se

que as áreas da serra e selva (88% do território nacional) com 47% da população são bastante afetadas pelas cidades da costa (12% do território nacional) onde vivem 53% da população. Assim, uma pequena área de 12% do território se apropria dos recursos provenientes de uma extensa área que representa o 88% do território nacional, já que dela vêm os minerais, água, madeira, alimentos, e outras necessidades urbanas que as áreas costeiras precisam. Um claro exemplo é citado por Bernez et al. (2004): “na selva se tem uma ampla extensão de território (60% da área total), que se correlaciona com a alta disponibilidade de água, porém se aproveita só um 2% deste recurso. O caso costeiro é inverso, ocupa 12% da área total, mas com 53% da população total usando aproximadamente 80% da água disponível no Peru”.

Na escala global, um estudo das Nações Unidas divulgado em 2000 prevê que 45% da população mundial vai ficar sem água até 2025. Hoje esse problema já afeta dois bilhões de pessoas. Isso porque nos últimos 50 anos, enquanto a população mundial cresceu três vezes o consumo de água cresceu seis vezes; e junto com a população cresceu também a agricultura que é a atividade que mais consome água. A humanidade sempre tratou a água doce como um recurso inesgotável, mas estamos descobrindo que esse recurso é finito.

Com tudo isso, fica evidente, que nas últimas décadas, o intenso consumo dos recursos naturais, produto do modelo de crescimento econômico e populacional, tem acelerado mudanças no ambiente a tal ponto de perturbar os sistemas vitais da humanidade e pôr em risco sua sobrevivência. Não podemos esquecer que outros milhões de espécies do planeta também dependem dos mesmos recursos e serviços para sua manutenção.

Nossa intenção neste capítulo é discutir a fundo cada uma das idéias centrais em que está baseada a Pegada Ecológica, começando pela discussão da Economia Ecológica, e logo aplicando esta ferramenta ao caso Peruano com dados do ano 2004. Para finalizar a situação ambiental do Peru é discutida.

4.2. ECONOMIA ECOLÓGICA

A Economia Ecológica é considerada uma corrente alternativa à economia convencional que não se trata só de um ramo da Teoria Econômica convencional, se não de uma revisão a fundo, talvez um ataque destrutivo, contra a ciência econômica (Martínez

Alier, 1994). Diferentes estudos dentro do enfoque termodinâmico da economia têm contribuído para a adequação da chamada Economia Ecológica. Dentro destes estudos tem destaque o trabalho de Georgescu-Roegen (1971) cuja noção de sustentabilidade se vincula à necessidade de considerar as idéias de irreversibilidade e limites nos sistemas produtivos.

Por outro lado, Romeiro (2001) argumenta que a análise econômica com base no conhecimento ecológico identifica o sistema econômico como um subsistema de um maior que o contém, impondo uma restrição absoluta à sua expansão. Encarando o processo econômico com esta visão, a economia ecológica implica uma mudança fundamental na percepção dos problemas de alocação de recursos e de como eles devem ser tratados, do mesmo modo que uma revisão da dinâmica do crescimento econômico.

Neste sentido, a Economia Ecológica não rejeita os conceitos e instrumentos da economia convencional e da ecologia convencional, e irá utilizá-los sempre que estes se fizerem necessários, mas reconhece a insuficiência destes para o propósito de uma análise integrada, apontando para a necessidade do desenvolvimento de novos conceitos e instrumentos (Figura 4.2). Deste modo, por ser um campo pluralista e trans-disciplinar onde se encontram diversas (e mesmo divergentes) abordagens, uma diversidade de formas de como incorporar os princípios biofísicos são propostos, o que faz com que a Economia Ecológica mostre-se como um campo heterogêneo dentro de seu propósito comum.

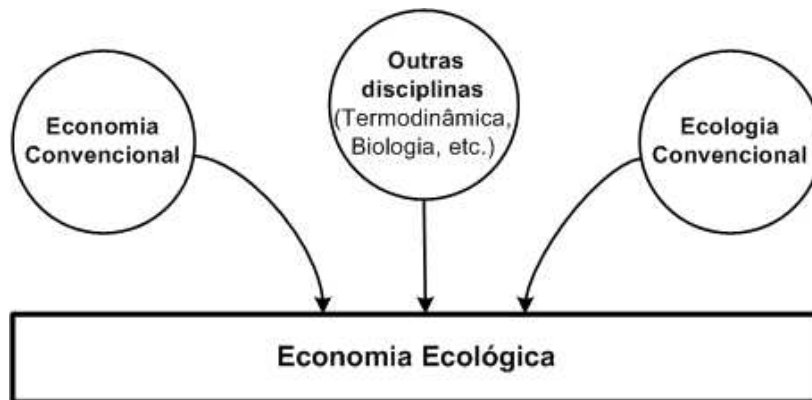


Figura 4.2. A economia ecológica como uma disciplina pluralista.

Apesar da heterogeneidade que mostra a economia ecológica, os seguintes aspectos são de conhecimento geral como elementos unificadores (baseado em Carvalho, 2006):

- Reconhece a importância de compreender a teoria dos princípios biofísicos, especialmente os princípios termodinâmicos (primeira e segunda lei da termodinâmica), como ponto de partida para entender o funcionamento do sistema econômico e suas relações com os recursos ambientais;
- Busca determinar a compatibilidade entre a economia e ecologia, na procura de medir a sustentabilidade de um sistema (econômico-ecológico) baseado na capacidade do ambiente em oferecer recursos naturais para o seu funcionamento e para absorver seus resíduos;
- Entende como insuficiente o tratamento das questões ambientais apenas pela internalização das "externalidades", tal como definidas pela economia neoclássica. Nada implica que a otimização de custos-benefícios com a inclusão destas externalidades conduza a uma utilização sustentável dos recursos ambientais.

Resumindo, a Economia Ecológica funda-se no princípio de que o funcionamento do sistema econômico deve ser compreendido tendo-se em vista as condições do mundo biofísico representados pelos fluxos de energia e de materiais que alimentam todos os empreendimentos para o funcionamento da economia. Uma vez que o processo econômico é um processo também físico, as relações físicas não podem deixar de fazer parte da análise do sistema econômico, o que a tornaria incompleta.

De maneira geral, na Economia Ecológica podem-se encontrar posições que variam de um extremo mais próximo à ecologia convencional a outro extremo mais próximo à economia convencional. Assim, de um lado podemos encontrar na Economia Ecológica abordagens que utilizam formulações e ferramentas da economia ambiental e economia dos recursos naturais neoclássicos, baseados na valoração dos bens e serviços ambientais a partir das preferências e utilidades dos indivíduos, expressas em termos monetários (Mitchell e Carson, 1989). De outro lado, podemos encontrar abordagens que buscam realizar análises do sistema econômico a partir de critérios estritamente ecológicos, para isso utilizando a energia como unidade geral de análise do sistema (Odum, 1996). Entre estes dois extremos, há, contudo, uma gama de autores que utilizam centralmente os princípios biofísicos, sem descuidar a dimensão social da economia. Neste sentido, destacam-se, por exemplo, o trabalho de Rees (1992), que através do aspecto da capacidade

do ambiente em oferecer recursos naturais (biocapacidade) para o funcionamento do sistema (pegada) propõe uma explicação do que é sustentável ou não. Este último enfoque, chamado Pegada Ecológica é a metodologia explicada e aplicada nos tópicos a seguir.

De tudo o que foi escrito acima, em simples e poucas palavras, podemos definir o seguinte:

“A Economia Ecológica deve ser entendida como uma disciplina de conexão entre a Ecologia e a Economia, a qual tem como objetivo principal interpretar a realidade física e os sistemas biológicos apoiado no pensamento e na prática econômica”.

4.3. A PEGADA ECOLÓGICA

4.3.1. O que significa?

A Pegada Ecológica (EF) é um conceito introduzido por Rees (1992), que mede a quantidade de recursos naturais que um indivíduo ou população consome em um ano, medido em hectares globais. Em outras palavras,

“a pegada de uma população é a área total de terra ou de mar requerida para produzir os recursos e energia que consome, para dar espaço para sua infra-estrutura, e para absorver o lixo produzido, usando a tecnologia atual” (Wackernagel e Rees, 1996).

O cálculo da EF aponta obter uma estimativa da demanda ecológica da humanidade sobre a natureza e medi-la em uma unidade que possa ser comparada com o abastecimento da biosfera em serviços ecossistêmicos. Assim, a pegada mostra a extensão à qual a humanidade se apropria da produtividade da natureza. Em outras palavras, a pegada ecológica é uma medida do impacto da população expressada em termos da área apropriada de terra.

Hails et al. (2006) afirmam que a EF não prevê o futuro, portanto ela não estima perdas futuras causadas pela atual degradação dos ecossistemas. Se persistir, é provável que

isso seja refletido nas contas futuras como perda de biocapacidade. Os mesmos autores acrescentam que os cálculos da pegada não indicam a intensidade com que cada zona biologicamente produtiva está sendo utilizada, nem apontam as pressões específicas da biodiversidade.

Finalmente, temos que tornar claro que a EF, como medida biofísica, não avalia as dimensões sociais e econômicas da sustentabilidade.

4.3.2. Suposições da Pegada Ecológica

Para fornecer uma resposta quantitativa à questão de quanta capacidade regenerativa é requerida para manter um determinado fluxo de recurso, a contabilidade da EF (versão GAEZ ou EF-GAEZ⁶) está baseada em seis suposições (Loh e Wackernagel, 2004):

Suposição 1: É possível fazer um seguimento das quantidades anuais dos recursos consumidos e desperdícios gerados pela população;

Suposição 2: A maioria dos fluxos (recursos e desperdícios) podem ser medidos em termos de área bioproductiva necessária para manter estes fluxos;

Suposição 3: As diferentes zonas em hectares reais podem ser expressas em termos de áreas padronizadas de produtividade média;

Suposição 4: As áreas podem servir só para um único propósito;

Suposição 5: A área equivalente à demanda humana (Pegada) e os serviços ecológicos que a natureza fornece (Biocapacidade) podem ser diretamente comparados;

Suposição 6: A área demandada pode exceder a área ofertada.

Observações:

Suposição 1: As quantidades anuais dos recursos consumidos e desperdícios gerados pela população podem ser medidas em termos físicos (toneladas, joules ou metros cúbicos) cujos dados se encontram disponíveis em estatísticas

⁶ Chamada assim à versão da EF que utiliza os índices GAEZ da FAO para calcular os fatores de equivalência.

nacionais e mundiais. O consumo pode ser calculado pelo balanço da produção doméstica e o comércio internacional (importações e exportações), ou seja: consumo = produção + importações - exportações.

Suposição 2: Esta suposição está baseada na relação existente entre processos bioprodutivos e superfícies que podem capturar a luz solar por fotossínteses. Atualmente a maioria dos ecossistemas pode ser mapeada considerando este princípio. Fluxos de recursos e desperdícios que não podem ser medidos nestes termos são excluídos da avaliação. Como consequência disto o verdadeiro valor da pegada ecológica está sendo subestimado como seus mesmos idealizadores reconhecem (Loh e Wackernagel, 2004).

Suposição 3: Pela ponderação de cada área em proporção a sua produção potencial anual de produtos e serviços (produtividade) de biomassa usável, as diferentes zonas podem ser expressas em áreas padronizadas, como será discutido depois (seção 4.3.3). Estas áreas padronizadas, chamadas “hectares globais” (gha), representam os hectares com potencial para produzir biomassa usável igual à média potencial mundial de um determinado ano.

Suposição 4: Áreas que produzem recursos e assimilam desperdícios podem servir para um único propósito só se representam usos mutuamente exclusivos, e cada hectare global representa a mesma quantidade de biomassa potencial para um ano dado. Isto significa que na EF-GAEZ todas as áreas são adicionadas uma vez só aos cálculos. Uma das críticas à EF-GAEZ nasce desta suposição: “não considerar que alguns (ou todos) ecossistemas podem fornecer outras funções ou serviços ecossistêmicos, além de produzir recursos” (Venetoulis e Talberth, 2007).

Suposição 5: A EF-GAEZ usa os hectares globais para medir a demanda do capital natural (pegada) versus a habilidade que o capital natural possui em satisfazer a demanda (biocapacidade). Assim, os componentes e as categorias da EF-GAEZ se tornam mensuráveis e facilmente comparáveis. Estamos seguros que foi esta propriedade que converteu a EF em uma

ferramenta acadêmica por excelência no mundo todo, mostrando o impacto da humanidade sobre a natureza.

Suposição 6: Uma pegada maior que a biocapacidade indica que as demandas excedem a capacidade regenerativa do capital natural existente. Isto significa que o sistema é insustentável. Por exemplo, se os produtos de uma floresta são colhidos a duas vezes sua taxa de regeneração, sua pegada é duas vezes o tamanho da floresta. Isto significa que o manejo desta floresta é insustentável. Loh e Wackernagel (2004) chamam esta situação de “excesso ecológico”. Já Hails et al. (2006) chamam esta situação de “déficit ecológico”, sendo que o caso contrário é chamado de “reserva ecológica”. Há casos de países que compensam seus déficits ecológicos através da importação de biocapacidade.

4.3.3. Unidade de medida

A unidade de medida da EF é a “hectare global” (gha). Esta unidade corresponde a um hectare de espaço biologicamente produtivo com "produtividade média mundial". Esta característica espacial faz da EF uma poderosa ferramenta pedagógica e comunicativa dos efeitos do consumo de recursos, aos usuários finais (Costanza, 2000), conseqüentemente, uma medida de fácil entendimento e interpretação da sustentabilidade de um ecossistema (Siche et al., 2007). Sem dúvida, esta é a característica chave que fez da EF acrescentar seu êxito e aceitação no mundo todo.

No hectare global, a produtividade não se refere a uma taxa de produção de biomassa, tal como a produção primária líquida (NPP) que descreve a habilidade inerente de suportar a produção agrícola, e conseqüentemente, populações humanas. A produtividade é o potencial de alcançar a produção agrícola máxima a um nível específico de entradas. Assim, 1 hectare de terra altamente produtiva é igual a mais hectares globais do que 1 hectare de terra menos produtiva. Na EF-GAEZ, os hectares globais são normalizados de modo que o número de hectares reais de terra bioprodutiva e de mar neste planeta é igual ao número de hectares globais neste planeta (Figura 4.3).

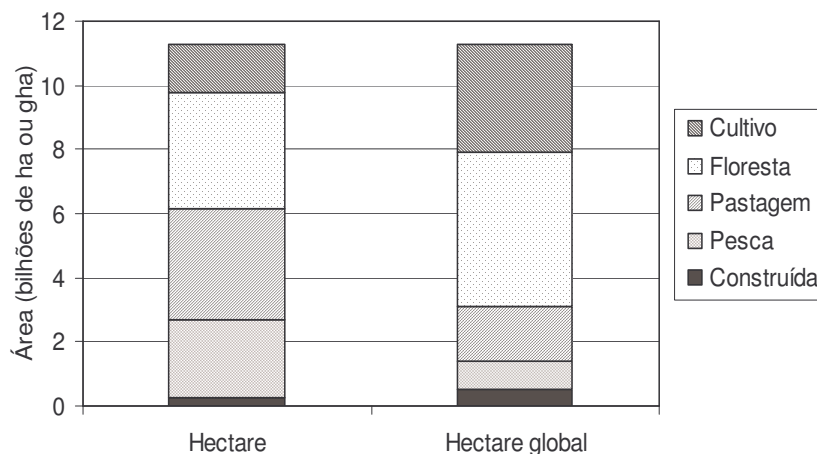


Figura 4.3. Áreas bioprodutivas globais (em ha e gha) para o ano 2003
Elaborado com dados de Hails et al (2006)

A finalidade de utilizar hectares globais na EF é permitir a comparação dos grandes elementos, Pegada e Biocapacidade, dos diferentes países, os quais têm qualidades e características diferentes de áreas para cultivos, terra para pastagem, áreas para florestas, e zonas de pesca. A EF utiliza dois fatores de conversão para converter cada uma das áreas biologicamente produtivas dos países, de hectares (ha) a hectares globais (gha): o fator de equivalência e o fator de rendimento, que serão discutidos a seguir.

4.3.3.1. Fator de equivalência Gaez (EQF-GAEZ)

Os EQF-GAEZ's representam a produtividade potencial média global de uma área bioprodutiva em relação à produtividade potencial média global de todas as áreas bioprodutivas (Wackernagel et al., 2005) (Equação 4.1). Em forma geral, os EQF's definem a quantidade de hectares globais (gha) contidos em uma categoria de uso de terra ou espaço pesqueiro (ha).

O EQF funciona como um elemento que redistribui os hectares reais em seu equivalente de hectares globais; por exemplo, o $EQF_{cultivos_{2003}} = 2,21$ (Tabela 4.1) significa que cada hectare real cultivado equivale a 2,21 hectares globais cultivados (Figura 4.3).

Os EQF-GAEZ's são derivados do “índice de conveniência” da Global Agro-Ecological Zones (GAEZ), que modela espacialmente os rendimentos agrícolas potenciais

para áreas de cultivo, florestas, pastos, e zonas urbanizadas, baseado em dados ambientais (tipo de solo, estação de crescimento, declividade, temperatura, e precipitação) (IIASA e FAO, 2000). Para espaços pesqueiros, a EF-GAEZ calcula o EQF-GAEZ de acordo com sua capacidade de fornecer proteína animal com seu equivalente em pasto. Com a equação 4.1, os EQF-GAEZ's são calculados para cada área de terra (cultivos, florestas, pastos, zonas urbanizadas e zonas de pesca). Note que um hectare com produtividade média global terá um EQF-GAEZ de 1.

$$EQF-GAEZ = \frac{\text{Produtividade potencial média global de uma área bioprodutiva}}{\text{Produtividade potencial média global de todas as áreas bioprodutivas}} \quad \text{Equação 4.1}$$

Os EQF-GAEZ's usados nos cálculos da EF-GAEZ nos três últimos relatórios do Living Planet Report (Loh, 2002; Loh e Wackernagel, 2004; Hails et al., 2006) válidos para os anos 1999, 2001 e 2003, são mostrados na Tabela 4.1. É importante destacar que GAEZ exclui a porção da terra onde a produtividade supostamente é insignificante ou zero (zonas cobertas por gelo, desertos, etc). Também é importante saber que os EQF-GAEZ's são constantes para todos os países, mas variam de ano a ano.

Tabela 4.1. Áreas bioprodutivas, EQF-GAEZ's e Biocapacidade global.

Biomass EF-GAEZ	Área bioprodutiva (ha/pessoa)			EQF-GAEZ (gha/ha)			Biocapacidade (gha/pessoa)		
	1999	2001	2003	1999	2001	2003	1999	2001	2003
Zonas de cultivos	0,25	0,24	0,24	2,11	2,19	2,21	0,53	0,53	0,53
Zonas de pastagem	0,58	0,55	0,55	0,47	0,48	0,49	0,27	0,27	0,27
Zonas de floresta	0,64	0,59	0,57	1,35	1,38	1,34	0,86	0,81	0,78
Zonas de pesca	0,39	0,39	0,39	0,35	0,36	0,36	0,14	0,13	0,13
Espaços construídos	0,05	0,04	0,04	2,11	2,19	2,21	0,11	0,07	0,08
Zonas de energia	0,00	-	-	1,35	-	-	0,00	-	-
Total	1,91	1,81	1,79				1,91	1,81	1,79

Fonte: Valores deduzidos dos relatórios de Loh (2002); Loh e Wackernagel (2004); e Hails et al. (2006).

Observações da Tabela 4.1

- A área bioprodutiva (ha) de cada ecossistema é multiplicada por seu respectivo EQF-GAEZ (gha/ha) para obter a área de biocapacidade disponível (gha).
- A soma das áreas bioprodutivas (global) sempre são iguais à soma total da biocapacidade.

- A biocapacidade da terra (também as áreas bioprodutivas) diminui com o tempo devido a diversos fatores, como: crescimento populacional, extinção de espécies, desmatamento, pesca intensiva, péssimas práticas agrícolas, etc.
- O ecossistema mais afetado pelos processos antrópicos são as florestas, passando de 0,64 ha/pessoa (ou 0,86 gha/pessoa) em 1999 a 0,57 ha/pessoa (ou 0,78 gha/pessoa) em 2003, significando uma redução de 11% em sua área bioprodutiva (ou 10% em sua biocapacidade), em apenas quatro anos.
- Geralmente os EQF-GAEZ's aumentam com o tempo, indicando sua variabilidade com a degradação dos ecossistemas e com o aumento dos rendimentos potenciais de cada ecossistema.
- Entende-se como zonas de energia, aquelas zonas que têm a capacidade de absorver CO₂ (Florestas, oceano, etc.). No relatório realizado com dados de 1999 (Loh, 2002), obteve-se um EQF para estas zonas de 1,35, mas que não foi utilizado para calcular a biocapacidade. Isto significa que os autores consideraram que uma fração da biocapacidade está disponível para absorção de CO₂. Venetoulis e Lanberth (2007) argumentam que uma razão para que a EF-GAEZ não inclua explicitamente zonas para sequestro de C, poderia ser uma de suas suposições: “uma zona pode servir só com um propósito”. Em outras palavras, se uma floresta produz madeira, a EF-GAEZ assume que essa área não pode servir para outras funções, como sequestro de carbono, estabilização do solo, ou abrigar vida selvagem.

4.3.3.2. Fator de Rendimento (yield factor – YF)

O fator de rendimento descreve a extensão à qual uma área bioprodutiva em um determinado país é mais (ou menos) produtiva do que a média global da mesma área bioprodutiva (Wackernagel et al., 2005) (Equação 4.2).

Os YF's capturam a diferença entre a produtividade média local e a média global dentro de uma categoria dada de uso de terra ou espaço pesqueiro.

São específicos para cada país e ano.

Por exemplo, na Tabela 4.2, o YF = 1,8 para terras de cultivo da Nova Zelândia significa que a produtividade média dos cultivos da Nova Zelândia é 1,8 vezes a produtividade média global dos cultivos do mundo. Já no caso de Algeria e Zâmbia (YF = 0,5) indica que a produtividade média dos cultivos desses países é a metade da produtividade média global dos cultivos do mundo. Assim, cada país tem seus próprios

valores de YF's, um para cada tipo de área bioprodutiva. O YF reflete as práticas tecnológicas e gerenciais predominantes do país, além da produtividade inerente dos recursos renováveis (Monfreda et al., 2004), ou seja, a produtividade agrícola de um país por hectare é dependente da fertilidade de solo como também dos métodos de colheita, aproveitamento, gerenciamento, etc. A equação 4.2 permite calcular os YF's de cada zona bioprodutiva (cultivos, floresta, pastos, zonas urbanizadas, zonas de pesca, etc.) de um país. Note que, para cálculos globais, o YF de qualquer tipo de zona bioprodutiva do mundo é sempre 1.

$$\text{Fator de (YF) Rendimento} = \frac{\text{Produtividade de uma área bioprodutiva de um país}}{\text{Produtividade global da mesma área bioprodutiva}} \quad \text{Equação 4.2}$$

Para cada país, o fator do rendimento pode variar grandemente, particularmente nos países que se estendem sobre uma multiplicidade de zonas climáticas como o Peru. Por este motivo, quando se aplica o enfoque da EF para análises locais, regionais, bacias hidrográficas, propriedades agrícolas, etc. se faz necessário calcular fatores de rendimento para cada divisão do sistema. Por exemplo, quando se avalia uma propriedade agrícola, poderíamos dividir a propriedade por tipo de cultivos. Assim, cada tipo de cultivo deve ter seu próprio fator de rendimento, e conseqüentemente sua pegada.

Tabela 4.2. Fatores de Rendimento de países selecionados, 2001.

País	Cultivos primários	Floresta	Pasto	Pesca marinha
Algeria	0,5	0,1	0,7	0,7
Guatemala	1,0	1,4	2,9	0,2
Hungria	1,5	2,9	1,9	1,0
Japão	1,6	1,6	2,2	1,4
Nova Zelândia	1,8	2,4	2,5	0,2
Zâmbia	0,5	0,3	1,5	1,0

Fonte: Loh e Wackernagel (2004)

4.3.4. Enfoques para calcular a EF-GAEZ

Existem dois enfoques diferentes para calcular a EF-GAEZ: (a) composta e (b) por componentes (Figura 4.4).

A *EF-GAEZ composta*, método analisado e aplicado neste capítulo foi desenvolvido e descrito com detalhe por Wackernagel e Rees (1996). Este enfoque calcula a pegada ecológica usando dados nacionais agregados (produção e produtividade) e dados do comércio internacional (importações e exportações). Tais dados agregados capturam a demanda de recursos sem ter que saber com detalhe cada um deles. Consequentemente este enfoque é muito vantajoso para ser aplicado em análise de países, permitindo uma comparação cruzada entre eles. Segundo Monfreda et al. (2004) para calcular a pegada ecológica de um país, informação acerca da quantidade total consumida é tipicamente disponível e suficiente.

Por outro lado, uma das desvantagens deste enfoque é a confiabilidade de seus resultados devido à exatidão da fonte de dados (George e Dias, 2005), mas, comparado com o enfoque baseado em componentes, a EF-GAEZ composta é menos sensível às variações subjacentes dos dados (Simmons et al., 2000). Isso ocorre porque, na análise de países, este enfoque utiliza a maioria de dados do comércio internacional de estatísticas globais (FAO principalmente). O uso de dados de organizações locais ou a través de fontes secundárias mais confiáveis aumentaria a exatidão dos resultados.

A *EF-GAEZ baseada em componentes* foi desenvolvida pela Best Foot Forward (BFF), descrita com detalhe por Chambers et al. (2000). Este enfoque soma a pegada ecológica de todos os componentes relevantes do consumo de recursos de uma população, processo ou atividade, e também os desperdícios (Tabela 4.3). Isto é feito em dois passos: primeiro, identificando e contabilizando todos os itens individuais que uma dada população, processo ou atividade consome; segundo, avaliando a pegada ecológica de cada componente usando dados do ciclo de vida. Segundo Monfreda et al. (2004), a exatidão global do resultado final depende da integralidade da lista de componentes, assim como da confiabilidade da avaliação do ciclo de vida (LCA) de cada componente identificado. Eles acrescentam que este enfoque produz resultados erráticos, dado pelos limites teóricos do LCA: falta de exatidão e informação acerca do ciclo de vida dos produtos, problemas de

dupla contabilidade no caso de cadeias complexas de produção, e ampla quantidade de detalhes para cada processo analisado.

Para análises locais e regionais, e de organizações, este enfoque é recomendado (George e Dias, 2005). Devido à quantidade de dados utilizados e detalhes dos processos analisados, próprios do LCA, seria muito difícil reproduzir seus resultados, diferenciando do enfoque Composto.

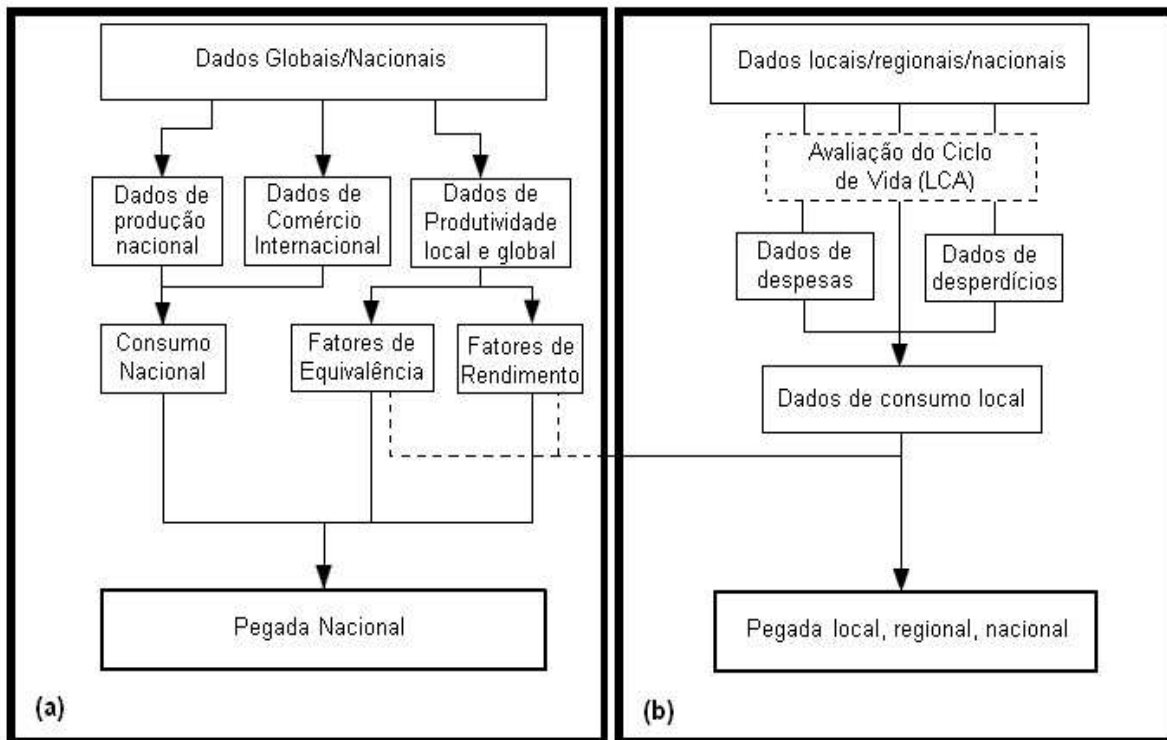


Figura 4.4. Duas formas de calcular a EF-GAEZ: (a) Enfoque composto; (b) Enfoque baseado em componentes. (gráfico baseado no trabalho de George e Dias, 2005).

Para saber mais destes enfoques é interessante estudar as seguintes publicações: Simmons et al. (2000) onde se faz uma discussão comparativa, indicando as vantagens e limitações de cada enfoque; Chambers et al. (2000) onde há uma descrição detalhada do enfoque EF_GAEZ por componentes; e, George e Dias (2005) que aplicaram ambos enfoques para Reino Unido (UK).

Tabela 4.3. Componentes relevantes considerados no EF-GAEZ-Componentes

Componente	Componente	Componente
Eletricidade (doméstica)	Gastos em estradas	Resíduos reciclados (metais)
Gás (doméstico)	Frete de ferrovia	Resíduos reciclados (compostagem)
Eletricidade (outra)	Frete marítimo	Reciclagem (outros)
Gás (outro)	Frete aéreo	Resíduos (domésticos)
Viagem em carro	Alimentos (agrícolas, pesqueiros, pecuários, etc.)	Resíduos (comercial: papel, metais, etc.)
Viagem em ônibus	Produtos madeireiros	Resíduos (inerte: tijolo, concreto)
Viagem em trem	Resíduos reciclados (vidro)	Água
Viagem por ar	Resíduos reciclados (papel e cartão)	Área urbanizada

Fonte: Simmons et al. (2000)

4.3.5. Os componentes da Pegada Ecológica

O cálculo da EF é dividido em duas partes: a oferta ecológica (ou áreas bioprodutivas) e a demanda sobre a natureza (ou pegada) (Figura 4.5). Nos próximos itens é explicada com detalhe cada uma dessas partes.

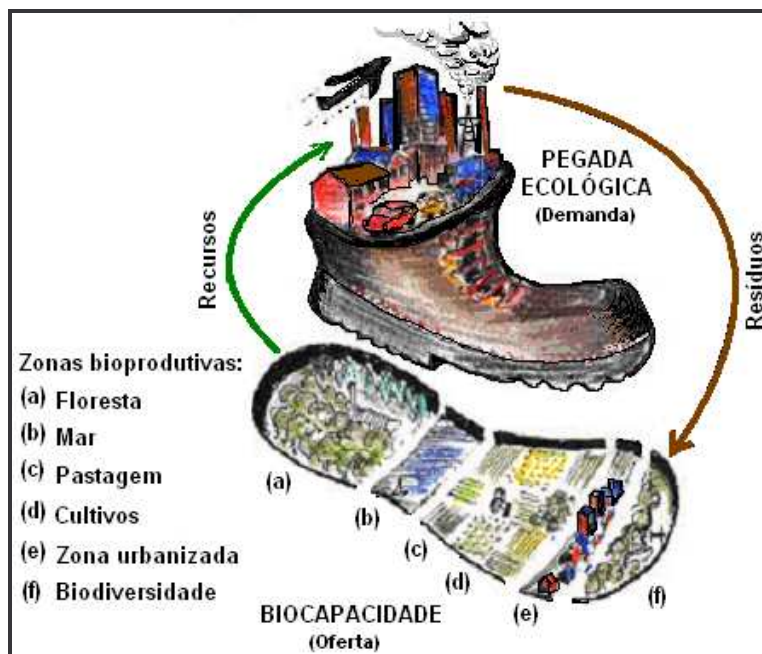


Figura 4.5. Tipos de áreas usados na análise da pegada ecológica.

Na descrição da pegada e biocapacidade são definidas as áreas bioprodutivas e sua conversão de hectares reais a hectares globais padronizados, usando para isso os fatores de equivalência e de rendimento.

4.3.5.1. A Oferta Ecológica (Biocapacidade ou Capacidade de carga)

A capacidade de carga é definida convencionalmente como o tamanho de população máxima de certa espécie que um habitat pode suportar sem que sua produtividade seja irremediavelmente comprometida (Catton, 1993). Na pegada ecológica a capacidade de carga se traduz na “capacidade biológica ou biocapacidade medida em hectares globais”.

Para nós, a definição mais correta de biocapacidade neste enfoque seria a seguinte:

“A biocapacidade é a capacidade de produção biológica (expressada em hectares globais) de um espaço (terra, mar, rios, lagos, etc.) com atividade fotossintética e acumulação de biomassa aproveitável”.

A EF-GAEZ utiliza no cálculo da biocapacidade categorias de espaço ecológico, ou áreas de terra ou mar bioprodutivo, subdividida em: áreas para cultivo, pastagem e floresta, área de mar, e área construída (Figura 4.5). Segundo Monfreda et al. (2004) estas áreas (biocapacidade) capturam a bioprodutividade do planeta ao qual um país ou região tem direito, e representam a taxa teórica máxima da oferta de recursos. As áreas marginais com vegetação pouco uniforme e áreas não-produtivas não são incluídas (Loh e Wackernagel, 2004) no cálculo da biocapacidade da EF-GAEZ. Consideramos que zonas como oceanos profundos, desertos, etc., com recursos renováveis não suficientemente concentrados, são também biologicamente ativos, e deveriam ser considerados nos cálculos da biocapacidade. Uma proposta da inclusão destas zonas foi desenvolvida nesta tese e apresentada no capítulo 7.

Por outro lado, segundo Monfreda et al. (2004) identificou-se 11,4 bilhões de hectares de áreas bioprodutivas no planeta o ano 2001, repartidos nas diferentes zonas. Estes 11,4 bilhões de hectares divididos pela população de 6,15 bilhões em 2001 dá uma biocapacidade média por pessoa igual a 1,8 hectares (Loh e Wackernagel, 2004). Já no ano 2003 a biocapacidade diminuiu a 11,27 bilhões de hectares (Tabela 4.4) ou 1,79 ha/pessoa (Hails et al., 2006). Isto significou uma diminuição da biocapacidade per capita em 1%

entre os anos 2001 e 2003, ou de aproximadamente 68 milhões de hectares por ano no mundo.

A seguir é discutida cada uma destas zonas bioprodutivas.

Áreas de cultivo

São as terras aráveis para o cultivo de alimentos para humanos e animais. Estas áreas são consideradas as mais produtivas do mundo, possuindo maior quantidade de biomassa vegetal, sob cultivo temporário ou permanente. Nestas áreas não estão incluídas as terras aráveis usada para pastos. Para o ano 2003, a área bioprodutiva de terras de cultivo no mundo foi estimada em 1,51 bilhões de hectares (ou 3,34 bilhões de gha) (Tabela 4.4).

Tabela 4.4. Área das zonas bioprodutivas e a biocapacidade global, 2003.

Zonas bioprodutivas	Área bioprodutiva (em bilhões de ha) (i)	Biocapacidade (em bilhões de gha) ⁽ⁱⁱ⁾
Cultivos	1,5124	3,34169
Pastagem	3,4658	1,6825
Floresta	3,5919	4,89816
Pesca	2,4576	0,85889
Construção	0,2388	0,48522
Total	11,266	11,2665

(i) Deduzidos do relatório de Hails et al. (2006) usando uma população global de 6301,5 milhões de pessoas para o ano 2003.

(ii) Multiplicando a área de cada zona bioprodutiva (em hectares) com os seus respectivos fatores de equivalência do ano 2003 (Tabela 4.1).

Achamos que os cálculos subestimam os efeitos ambientais causados pela agricultura, já que eles não contabilizam danos a longo prazo, como salinização, erosão do solo, contaminação de aquíferos por agro químicos, etc. Por exemplo não é contabilizado os 10 milhões de hectares de terra que são abandonados anualmente por causa da degradação do solo (FAO, 2001). Segundo Monfreda et al. (2004) a contabilidade de áreas de cultivo na EF-GAEZ esta baseada sobre 70 cultivos e 15 produtos secundários, e a quantidade de cada

produto alocado para alimentação, processamento, desperdício, e usos não alimentícios. Além disso, os cultivos registram mudanças nos estoques nacionais como produto das importações e as exportações.

Áreas de pastagem

São consideradas como áreas de pastagem aquelas áreas que se destinam à cria de gado para carne, couro, lã e leite. Estas áreas são menos produtivas que as áreas de cultivo e sua conversão de área vegetal para animal reduz ainda mais a energia bioquímica disponível para uso humano. A expansão destas áreas, frequentemente tem se relacionado com a diminuição de áreas de florestas, mas a linha divisória entre elas ainda não está definida com precisão. Por exemplo, a FAO inclui áreas com 10% de cobertura arbórea na categoria florestal (Loh e Wackernagel, 2004), quando na realidade eles podem pertencer a zonas de pastagem primária. No mundo, em 2003, cerca de 3,47 bilhões de hectares (ou 1,68 bilhões de gha) foram classificados como sendo de pastagem permanente (Tabela 4.4), que divididos pela população global do mesmo ano, resulta em aproximadamente 0,55 hectares por pessoa (ou 0,27 gha por pessoa, Tabela 4.1). Áreas de pastagem permanente são definidas, geralmente, como aquelas áreas de terra usadas por 5 anos ou mais com forragem herbácea (cultivada ou de crescimento selvagem) destinada como alimento de animais (gado) (Monfreda et al., 2004).

Área bioprodutiva de mar

São áreas destinadas à pesca. Segundo Wackernagel e Rees (1996) do espaço total dos oceanos (36,3 bilhões de hectares) somente 8% concentram-se ao longo das costas dos continentes no mundo e fornecem perto de 95% da produção ecológica do mar. Excluindo águas inacessíveis e não produtivas, o espaço biologicamente produtivo equivale a 2 bilhões de hectares de espaço de mar, que adicionando 0,3 bilhões de hectares de águas continentais, a área biologicamente produtiva fica em 2,3 bilhões de hectares dos 36,6 bilhões de hectares de oceano e águas continentais que existem no planeta. Cálculos atuais estimam a área bioprodutiva de mar em 2,46 bilhões de ha (ou 0,86 bilhões de gha).

Por outro lado, o “rendimento sustentável” da pesca no mundo é estimado pela FAO (1997) em 93 milhões de toneladas de peixe por ano, que comparada com valores de captura de pesca pode servir como uma primeira aproximação para definir se o consumo pesqueiro de um país é sustentável ou insustentável. Para o ano 2002 havia uma quantidade de 93,2 milhões de toneladas de peixes capturados (FAO, 2004) significando que atualmente estamos passando o limite de sustentabilidade na pesca.

Área de Floresta

Dados da FAO (2005) revelam que há 3,95 bilhões de hectares de floresta no mundo. Para o ano 2003, nós estimamos (com dados de Hails et al., 2006) um valor de 3,59 bilhões de hectares de floresta no mundo (ou 4,90 bilhões de gha) (Tabela 4.4).

Este tipo de área pode ser definido de dois modos segundo sua função: (a) áreas para produção de energia, e (b) áreas para seqüestro de CO₂. Considerar a primeira opção significa o abandono do uso de combustíveis fósseis. Considerar a segunda opção significa que o país analisado continua queimando combustíveis fósseis. Geralmente, os países apresentam uma mistura das duas opções, com predominância da segunda.

- (a) *Áreas para produção de energia:* são compostas por florestas naturais ou plantadas para a produção de fibras, madeira e lenha. Estas áreas cumprem também outras funções como, assegurar a estabilidade do clima, prevenir a erosão do solo, manter os ciclos hidrológicos e, se forem bem manejadas, poderiam proteger a biodiversidade.
- (b) *Áreas para absorção de CO₂:* são áreas fictícias em que se calcula a pegada do CO₂ estimando a área biologicamente produtiva que seria necessária para seqüestrar as emissões do carbono suficiente para evitar um aumento no CO₂ atmosférico. Os oceanos do mundo absorvem o CO₂ em aproximadamente 31% das emissões dos combustíveis fósseis (Redefining Progress, 2002). Assim a metodologia calcula somente os 69% restantes, baseados na capacidade anual de florestas médias mundiais para seqüestrar carbono. A EF-GAEZ estima esta capacidade fazendo uma média ponderada dos 26 principais biomas florestais do mundo. As energias nuclear e hidráulica são outros tipos de energia incluídos nesta categoria.

Área pavimentada (construída ou degradada)

É área destinada para moradia, transporte, produção industrial e hidroelétricas. Esta área é a que menos dados disponíveis tem, já que imagens de satélite de baixa resolução não podem capturar a infra-estrutura e estradas dispersadas. Dados de Eurostat (2000) sugerem que há um total global de 0,3 bilhões de ha de terra construída e pavimentada. Para a EF-GAEZ, na contabilidade destas áreas supõe-se que a terra construída substitui as terras aráveis, já que a maioria dos estabelecimentos humanos está situada em áreas férteis (Monfreda et al., 2004), mas que dependendo da escala e conhecimento do sistema sob análise poderia-se decidir melhor sobre este aspecto, sendo que muitas cidades se estabelecem em áreas não necessariamente férteis, e sim em zonas não produtivas ou de baixa produtividade (montanhas ou desertos, por exemplo).

4.3.5.2. A demanda ecológica (Pegada)

No nível global, a produção de áreas de cultivo, pasto, floresta, pesca, e área construída, equivale ao consumo na biosfera, que somadas representam a pegada Ecológica total (Tabela 4.5).

Tabela 4.5. A Pegada global por categorias, 2001 e 2003.

Zonas bioproductivas	Pegada 2001 (em bilhões de ha) (i)	Pegada 2003 (em bilhões de gha) ⁽ⁱⁱ⁾
Cultivos	3,0126	3,0786
Pastagem	0,8607	0,9141
Floresta		
Madeira	1,1067	1,0874
Lenha	0,3443	0,3502
Pesca	0,7993	0,9357
Energia (CO ₂)	6,3325	6,7265
Energia Nuclear	0,5533	0,5041
Construção	0,4304	0,4854
Total	13,4398	14,0820

⁽ⁱ⁾ Deduzidos do relatório de Loh e Wackernagel (2004) usando uma população global de 6148,1 milhões de pessoas para o ano 2001.

⁽ⁱⁱ⁾ Deduzidos do relatório de Hails et al. (2006) usando uma população global de 6301,5 milhões de pessoas para o ano 2003.

Cada uma destas categorias representa uma quantidade do consumo expressada em hectares, e que multiplicada por seu fator de equivalência (EQF) se obtém a pegada em hectares globais. A seguir é discutida cada uma das categorias incluídas na pegada.

Pegada de recursos Renováveis

Cultivos, pastos, florestas, e pesca abrangem ecossistemas globais que fornecem à economia humana um grande volume de seus recursos renováveis. A pegada para cada uma destas áreas é a soma das pegadas de todos os produtos consumidos dentro de cada categoria. Um enfoque mais realista é calcular estas pegadas considerando dentro de cada categoria produtos primários e produtos secundários (Tabela 4.6).

Os *produtos primários* representam os produtos não processadas de uma área, que podem ser usados diretamente (ou com uma alteração mínima) ou ser processados em produtos secundários. No caso de cultivos, pasto e floresta, estes incluem produtos imediatos da fotossíntese, tais como frutas e vegetais crus, forragem para animais domésticos, ou madeira em tora. Para pesca, os produtos primários são peixes não processados da pesca marinha e continental. A pegada destes produtos representa a capacidade biológica e técnica requerida para sua produção. Segundo Wackernagel et al. (2005) a pegada destes produtos representa a capacidade biológica e técnica requerida para sua produção, padronizado pelo rendimento global médio.

Tabela 4.6. Exemplos de produtos primários e secundários.

Componente	Primário	Secundário
Cultivos	Milho	Óleo de germe de milho
	Trigo	Farinha de germe de trigo
Pastos	Forragem	Carne e leite
Floresta	Madeira em tora	Madeira serrada
	Lenha	Nenhum
Pesca	Bacalhau	Óleo de fígado de bacalhau
	Sardinha	Óleo de sardinha
	Peixes pelágicos	Salmões da aqüicultura (desde que tal peixe seja alimentado com peixes primários capturados)

Fonte: Modificado de Monfreda et al. (2004)

Os *produtos secundários* são bens derivados dos produtos primários, incluindo carne, leite, papel, e peixes da aquicultura. Quando a pegada de um produto (primário ou secundário) é calculada com o rendimento global médio (GY), a pegada do produto secundário iguala à pegada de seu produto primário (antecessor). Ou seja, a porção da pegada de um produto primário que foi usada para manufaturar um produto secundário (por exemplo, cereais para farinha ou madeira em tora para papel) é deslocada ao produto secundário (ou sucessor). A pegada de um produto secundário é adicionada somente à pegada total do consumo quando negociada; a pegada de um bem secundário que é produzido, mas não negociado é incluída na pegada de processamento de seu produto antecessor (Monfreda et al., 2004).

Temos que notar que a EF-GAEZ inclui só a demanda de área destes produtos primários e secundários, mas não outros efeitos potenciais sobre perda futura de bioprodutividade. Certamente a bioprodutividade futura diminuirá devido ao uso da terra e mar, conseqüentemente a estimativa da biocapacidade futura será afetada. Idealmente, estimativas da pegada deveriam incluir também a demanda de área dos efeitos colaterais da agricultura intensiva (como a poluição da água, perda de solo, etc.), mas estes aspectos não são considerados pela falta de dados. Esta é uma das razões pela qual seus criadores (Wackernagel et al., 2005) manifestam que a estimativa da demanda sobre a natureza provavelmente esteja subestimada.

A *pegada de áreas de cultivo* mede a área ocupada destas áreas por exclusão de outros usos de terra. Também, a energia incorporada nas entradas da agricultura (fertilizantes, pesticidas, mecanização) é capturada na pegada (Monfreda et al., 2004), mas sem considerar a degradação devido a práticas agrícolas, como já foi indicado. Uma alternativa para incluir uma parte desta degradação (perda de solo) foi proposta no capítulo 7 desta tese. Segundo Hails et al. (2006), a EF-GAEZ de terras de cultivo aumentou de 1,8 bilhões de gha (ou 0,70 gha/pessoa) em 1960 para 3,08 bilhões de gha (ou 0,49 gha/pessoa) em 2003 (Tabela 4.5). Note que o aumento da pegada de cultivos se dá somente na quantidade total, e não nos valores per capita (Figura 4.6). Isto significa que o ritmo de crescimento da população foi muito maior ao crescimento da pegada das áreas de cultivo.

A pegada de áreas de pastagem indica a demanda sobre este recurso. A EF-GAEZ estima os requerimentos energéticos do gado derivado do consumo de alimentos concentrados, forragem cultivada, e resídua dos cultivos. Os requerimentos de energia restante são atribuídos a pastos (Monfreda et al., 2004). Segundo Loh e Wackernagel (2004) é assumido que 100% do pasto é utilizado, a menos que o pasto produza mais de duas vezes o requerimento alimentício necessário para o gado. Neste último caso, a pegada do pasto é contabilizada como duas vezes o requerimento de área mínima para manter o gado. Assim, a pegada de pastos esta limitada por duas vezes a pegada mais baixa possível por unidade de produto animal. Estes fatores são embutidos no fator de rendimento (YF) de pastos. Mas fazer isto poderia conduzir a uma subestimação da demanda de pastos devido a que, incluso em zonas de pastagem com baixa produtividade, usualmente se pastam uma gama completa de animais. Desta forma se está criando uma demanda humana sobre o total de pasto disponível. Com referência nos últimos relatórios da EF-GAEZ (Loh e Wackernagel, 2004; Hails et al., 2006) foi estimado que a pegada de zonas de pasto no mundo passou de 0,41 bilhões de gha em 1960 a 0,91 bilhões gha em 2003 (Tabela 4.5), ou seja, uma pegada total aproximadamente 123% maior.

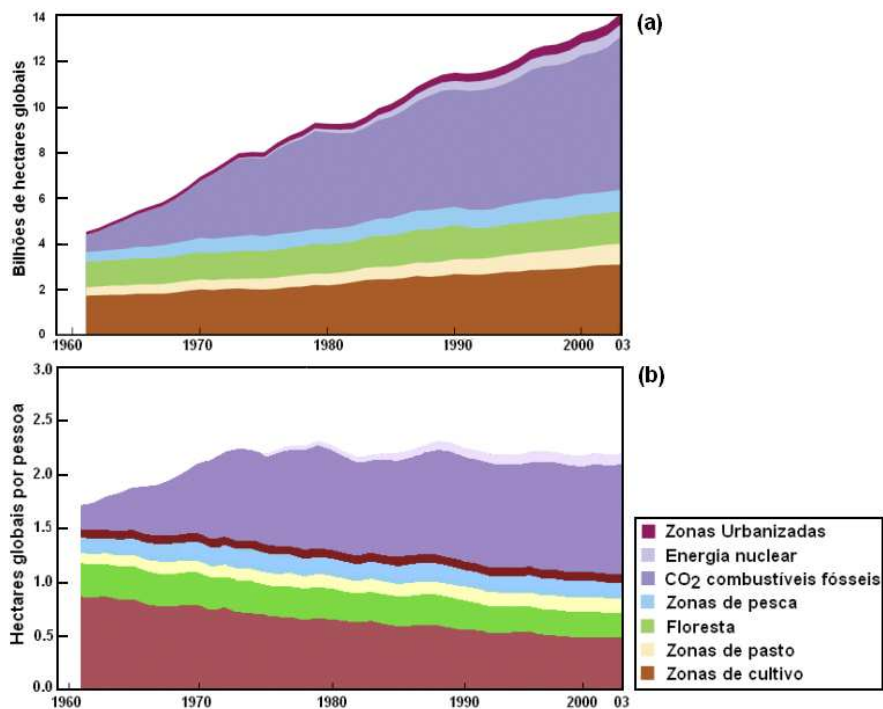


Figura 4.6. Pegada global por categorias de consumo: (a) total; (b) per capita; 1960 - 2003.

Elaborado com dados de Loh e Wackernagel (2004), Hails et al. (2006), e GFN (2006).

A *pegada de áreas de floresta* (incluindo madeira e lenha) aumentou de 1,03 para 1,45 bilhões de gha, quase 50% desde 1960 a 2001 (Loh e Wackernagel, 2004). Já em 2003 a EF de florestas foi estimada em 1,43 bilhões de gha (Hails et al., 2006) (Tabela 4.5). Observa-se nos últimos anos uma leve diminuição da pegada de florestas (Figura 4.6).

A madeira cortada e a lenha constituem os produtos primários da pegada da floresta. A lenha inclui o carvão de lenha. A madeira cortada é dividida em quatro produtos: madeira serrada, painéis a base de madeira, papel e tabuleiros, e polpa de madeira. Os autores da EF reconhecem que esta avaliação da floresta ignora pressões adicionais, tais como: impactos no solo de plantar espécies de árvores exóticas, sensibilidade a patógenos, e danos por tempestades que poderiam afetar a produtividade das florestas a longo prazo (Monfreda et al., 2004). Uma vez que estes efeitos ocorrem, a biocapacidade das florestas seria reduzida.

Os cálculos da *pegada de zonas de pesca* incluem oito categorias de peixes e animais aquáticos e uma categoria de plantas aquáticas. Estas nove categorias embutem 42 grupos de espécies, onde cada grupo possui: uma média de captura, taxa de descarte, e nível trófico (TL). Estes dados são usados para calcular a demanda na natureza representada pela captura de uma unidade de cada espécie (Monfreda et al., 2004). Peixes de níveis tróficos mais elevados consomem uma porção amplamente maior da produtividade primária dos oceanos do que peixes de níveis tróficos menores – aproximadamente 10 vezes por nível trófico (Pauly e Christensen, 1995). Assim, uma tonelada do bacalhau no nível trófico 4 tem uma pegada 10 vezes maior do que uma tonelada de sardinhas no nível trófico 3. As contas atuais da EF-GAEZ já incluem o cálculo da pegada da pesca em função da quantidade de captura e do nível trófico [Rendimento(kg/ha) = Max.PPR (kg/ha)*(ET^(1-TL)) *YF(--)/ Taxa de descarte (--)]. O máximo requerimento de produção primária (Max.PPR) equivale à máxima produção primária líquida que pode ser aproveitada. A eficiência de transferência (ET) representa a biomassa transferida entre níveis tróficos, podendo-se considerar como valor de referência uma ET = 10% (Pauly e Christensen, 1995).

A *pegada ecológica de áreas de mar* em 2003 foi de 0,94 bilhões de gha (Hails et al., 2006), que comparado com 0,31 bilhões de gha em 1960 (Loh e Wackernagel, 2004), representa um aumento em três vezes a pegada entre esses anos. Segundo a EF-GAEZ, a porcentagem de excesso ecológico (Excesso/Biocapacidade) em zonas de pesca no mundo, para o ano 2003, foi estimado por nós em aproximadamente 9% [% excesso = (0,94 -0,86) / 0,86].

Um recente relatório chamado “The Ecological Fishprint of Nations” (Talberth et al., 2006) tem apresentado uma situação, a nosso parecer, mais realista do uso das zonas pesqueiras. Este enfoque utiliza como base a EF convencional, mas incorpora algumas mudanças de fundo nos cálculos da pegada da pesca. As principais mudanças são: (a) incorpora o conceito de taxas de extração pesqueira como função da produtividade primária requerida ($PPR = \text{Captura} * 10^{\text{TL}-1}$; TL: nível trófico) por nível trófico das espécies capturadas, em lugar da simples quantidade de captura usada nas primeiras versões da EF-GAEZ; (b) usa o indicador global chamado “rendimento limite de sustentabilidade ecológica”, para distinguir entre a pesca sustentável e a pesca insustentável; (c) separa 20% da zona econômica de pesca para proteção da biodiversidade marinha; (d) assume que a biocapacidade marinha diminui em função da deterioração do capital natural, a diferença da EF-GAEZ que assume ser constante no tempo. Com estas mudanças eles calculam a pegada de áreas de mar no mundo em 60,95 bilhões de gha em 2003, entretanto que a biocapacidade foi estimada em 23,62 bilhões de gha. Estes resultados representam um excesso ecológico de 158% em relação à biocapacidade marinha, a diferença dos 9% calculado na EF-GAEZ.

Pegada de áreas construídas

A Pegada Ecológica supõe que infra-estrutura e estabelecimentos humanos ocupam frequentemente regiões agrícolas férteis. Parte da área dos estabelecimentos é pavimentada e outras áreas são ainda bioprodutivas, como jardins ou parques. A pegada inclui aquelas áreas cuja produtividade agrícola foi anulada, já que a maior parte de estabelecimentos humanos estão localizados nas áreas mais férteis de um país. Áreas ocupadas por hidroelétricas também são incluídas. Assim, a EF-GAEZ adota que áreas urbanizadas usam terras aráveis. Consequentemente, a área construída se iguala à mesma quantidade de cultivos que substituiu, sendo ajustado pelo fator de equivalência e o fator de rendimento de cultivos.

Estimamos que a pegada deste espaço ecológico aumentou de 0,13 em 1961 para 0,49 bilhões de hectares globais em 2003, um aumento superior a 270% em um período de 43 anos.

Pegada de combustíveis Fósseis e energia nuclear

A questão básica de “quanta capacidade regenerativa é requerida para manter a quantidade de combustível fóssil que necessita a economia humana”, pode ser dirigida, por exemplo, sob uma perspectiva do capital natural ou de uma perspectiva do desperdício. Supondo que a oferta de combustível fóssil é muito menos limitada que a habilidade da biosfera de lidar com o desperdício, a biosfera necessitaria uma capacidade adicional para acomodar seus desperdícios. O cálculo da pegada define a este último enfoque como a área requerida para assimilação de desperdício. Por outro lado, o método examina a capacidade necessária para substituir a energia consumida fornecendo um substituto de biomassa.

Monfreda et al. (2004) afirma que o enfoque de assimilação de desperdício não implica que o seqüestro de CO₂ é a solução à mudança do clima; mas, ilustra quanto o mundo necessitaria se esforçar para lidar com as emissões antropogênicas de CO₂. House et al. (2002) acrescentam que o potencial para o seqüestro é limitado no espaço (uma quantidade de área disponível para a reflorestação) e no tempo (florestas plantadas são dissipadores líquidos por poucas décadas antes que amadureçam e percam sua capacidade de absorção).

A pegada do uso de combustíveis fósseis é o componente que mais cresceu nos últimos 40 anos (Figura 4.6) indo desde aproximadamente 0,51 bilhões de gha em 1961, a 6,73 bilhões de gha em 2003, o que significa um aumento de mais de 1200%.

Do enfoque substituição de biomassa, Monfreda et al. (2004) afirma que a lenha representa: (a) o combustível primário que a biosfera fornece sem a modificação humana; (b) historicamente dominante para a maioria de sociedades; e, (c) o combustível de auto-reposição. Os biocombustíveis alternativos com exigências de espaço mais baixas (tais como o combustível etanol) são possíveis, mas não ocorrem sem intervenção humana ativa e processos industriais. Obviamente, se rendimentos alternativos mais altos fossem usados, substituiriam a lenha e reduziriam a pegada. Assim, se as florestas fossem gerenciadas para lenha, rendimentos mais elevados seriam alcançados e reduziriam a pegada.

Em termos de uso direto da energia, a EF pode ser expressa como: $a*b*c$ (onde “a”: População; “b”: Uso médio da energia (GWh) por região, setor produtivo, etc.; e “c”: o impacto de produzir um GWh de energia). Assim, a pegada do uso direto da energia é semelhante à definição de Ehrlich e Holdren (1971) do impacto humano (I) no ambiente ($I=PAT$, onde P: população; A: afluência; e T: tecnologia). Nesta formulação o impacto (I) corresponde à pegada do uso de recursos (energia) de uma população, processo, etc. (convertidos em área de terra); o consumo é uma função da afluência⁷ (A) e do estado da tecnologia atual (T). Conseqüentemente a EF é uma função análoga do PAT.

Pegada da energia nuclear

A produção atual de energia nuclear em muitos países justifica a necessidade de avaliar o desempenho do consumo deste recurso no capital natural. Segundo a World Nuclear Association (WNA, 2007) atualmente existem 435 reatores nucleares operando em 30 países, com aproximadamente 370 000 MWe (megawatts elétricos) de capacidade total, os quais fornecem 16% da eletricidade do mundo. Deste 16%, seis países geram mais de 40% de suas produções totais de energia elétrica com centrais nucleares: Lituânia (78%), França (78%), Eslováquia (57%), Bélgica (55%), Suécia (50%) e Ucrânia (48%).

Por outro lado, o consumo de energia nuclear, diferente de outras categorias da pegada, produz desperdícios pelo qual a biosfera tem uma mínima capacidade assimilativa (Wackernagel et al., 2005). Eles afirmam que, de forma similar aos bifenilos policlorados (PCBs), a energia nuclear não deve ser incluída na pegada com a finalidade de mantê-la consistente e lógico com seus princípios e suposições, já que estas substâncias tóxicas ou radioativas assentam-se completamente fora das áreas quantificadas pela EF para assimilação do desperdício. Acrescentam que sua exclusão, naturalmente, não implica que a energia nuclear não apresenta impactos ambientais; mas, reconhecem o fato que o lixo nuclear é fundamentalmente diferente dos desperdícios que são assimilados facilmente por processos biológicos, tais como o CO₂. Mas esta omissão poderia também ser mal interpretada, a qual implicaria um melhor desempenho ecológico dos países com energia nuclear.

⁷ Volume de produção e consumo.

Portanto, a exigência na biocapacidade associada ao uso da energia nuclear é difícil de quantificar. Assim, pela falta de um enfoque concreto e claro, a EF-GAEZ assume que a pegada da eletricidade nuclear é a mesma da pegada da quantidade equivalente de eletricidade dos combustíveis fósseis (Hails et al., 2006). Atualmente, a pegada da eletricidade nuclear representa aproximadamente 4% (0,5 bilhões de gha) da EF global total (14,1 bilhões de gha) (Tabela 4.5). Para Wackernagel et al. (2005), a contabilidade atual da Pegada Ecológica fornece aos usuários a opção de excluir a pegada nuclear dos resultados. Outros métodos de quantificação da pegada de energia nuclear poderiam ser utilizados. Por exemplo, pode ser possível quantificar a área posta em risco pela liberação acidental de energia nuclear no ambiente usando precedentes históricos. Ou, poder-se-ia argumentar que a pegada de um acidente nuclear deve ser incorporada quando ocorre, eliminando a necessidade de uma avaliação baseada no risco.

Achamos que a longo prazo o uso da energia nuclear deveria ser diminuída se a humanidade não deseja correr o risco de aumentar a concentração de substâncias tóxicas ou radioativas na biosfera, ou chamado lixo de alta nível; mas, as tendências de produção de energia nuclear mostram que isto está longe de ocorrer.

Energia incorporada e recursos incorporados no comércio

A contabilidade da EF de um país contabiliza o consumo líquido de cada país ao somar as suas importações à produção e subtrair as suas exportações. Isso implica que os recursos usados na produção de um bem construído nos Estados Unidos, mas vendido e utilizado no Peru, contribuirão para a pegada peruana e não para o primeiro país. Assim, achamos que as pegadas nacionais que resultam desta operação estão alteradas, especialmente nos países cujo fluxo de comércio é grande em relação às suas economias totais. No entanto, esses consumos mal atribuídos não afetam a EF global, já que neste nível se poderia considerar que o consumo é igual à produção.

Um dos problemas que se tem notado nos cálculos da EF anteriores é sua possível dupla contabilidade nos fluxos do comércio internacional. Uma forma que os criadores da pegada recentemente têm sugerido para melhorar este ponto consiste em rastrear somente os fluxos dos recursos primários. Os recursos secundários comercializados são convertidos em seus equivalentes de recursos primários incorporados. Segundo Wackernagel et al.

(2005), este rastreamento teria que ser de duas formas: (a) para os recursos primários (como trigo, madeira serrada, peixe fresco) utilizar dados da FAOSTAT para rastreá-los diretamente. Os dados da FAOSTAT são usados porque identificam a produção, as importações, e as exportações em unidades consistentes (peso úmido, com ou sem ossos, etc.); (b) já os recursos incorporados nos produtos comercializados (como o couro e a alimentação de grão incorporado em um par de sapatos importados, ou a eletricidade incorporada em um automóvel importado), deveriam seguir separadamente usando a base de dados do comércio global do departamento de estatística das Nações Unidas (<http://unstats.un.org/unsd/pubs/>). Estes recursos incorporados são adicionados aos fluxos de comércio dos recursos primários.

No caso da energia incorporada aos fluxos de comércio, esta poderia ser calculada como a média das intensidades energéticas de várias fontes da literatura, e de uma base de dados de estimativas de energia incorporada publicadas pelo Instituto Ambiental de Estocolmo (<http://www.sei.se/>).

Em cálculos atuais da Pegada, os produtos têm a mesma energia incorporada. A energia é traduzida em emissões de CO₂ usando o valor da mistura do combustível do país produtor para exportações, e usando a média mundial da mistura do combustível para importações.

4.3.6. A situação atual dos países segundo a pegada (demanda)

Não é necessário dividir o valor final da pegada pela população, mas o valor per capita fornece uma ferramenta útil para a comparação com outros países, regiões ou áreas locais. Na Figura 4.7, podemos apreciar o impacto dos países segundo o cálculo da Pegada⁸. Mostram-se os países com menores e maiores influências das atividades humanas em uma escala de 0 a 10,5. Observa-se que o país com maior pegada do mundo é Estados Unidos. Por outro lado, a maioria dos países da África tem as pegadas mais baixas do mundo. O Peru encontra-se em uma situação privilegiada segundo o enfoque da EF, já que está entre os países que têm um consumo que causa baixo impacto no seu meio ambiente, mas que por ser um país exportador de matérias primas, grande parte de sua pegada é exportada a outros países.

⁸ Com referência e manipulação do mapa interativo “Ecological Footprint” disponível na Internet (<http://pthbb.org/natural/footprint/map/large.html>)

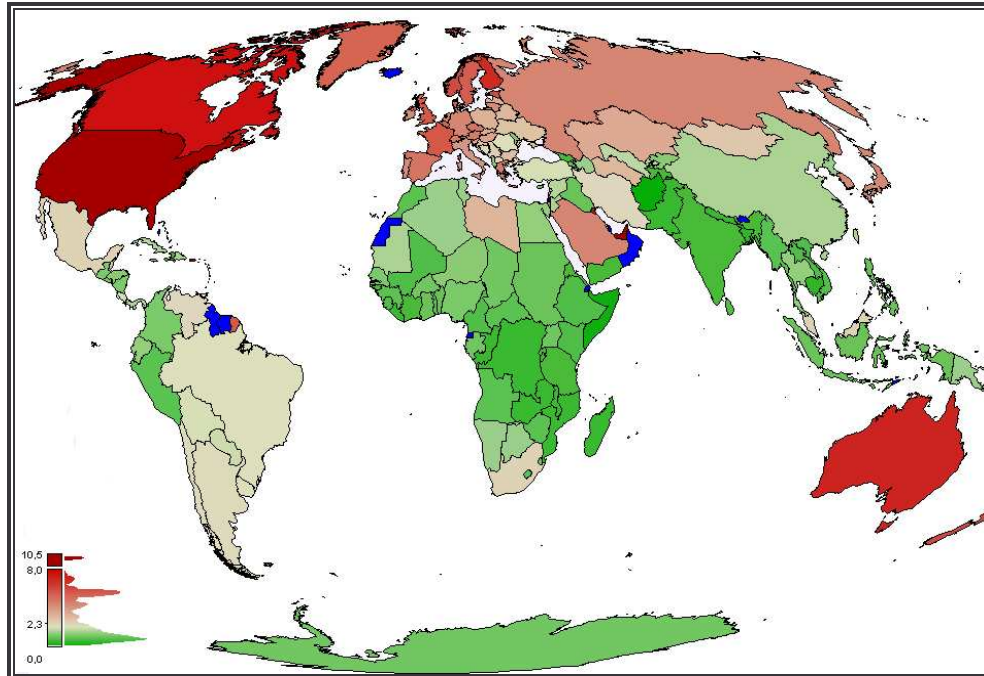


Figura 4.7. Mapa da Pegada Ecológica mundial, 2003.

4.3.7. Saldo ecológico

A EF está baseada na premissa que é possível medir a dependência e o impacto humano acima do mundo natural com uma contabilidade simples dos recursos consumidos, e mais especificamente na “terra” do qual é derivado. O significado ecológico da EF vem do fato ser possível “balançar as contas”, como segue:

$$\text{Saldo Ecológico} = \text{Biocapacidade} - \text{Pegada} \quad \text{Equação 4.3}$$



Figura 4.8. Saldo Ecológico. (a) Déficit Ecológico, (b) Reserva Ecológica
(adaptado de Wackernagel et al., 1999)

Cada termo está em hectares globais. Um saldo positivo é um excesso ou reserva ecológica, e o saldo negativo é um déficit ecológico (Figura 4.8).

Reserva Ecológica: Se a pegada é menor do que a capacidade ecológica local, o país possui reserva ecológica e pode ser chamado sustentável. Atualmente, em muitos casos, esta reserva é ocupada pelas pegadas de outros países através das exportações.

Déficit Ecológico: Um déficit ecológico se alcança quando a pegada de uma população (um país ou uma região) excede a capacidade biológica do espaço disponível a essa população. O déficit ecológico nacional mede a quantidade da pegada do país (mais a parte do país destinada à biodiversidade) que excede a capacidade ecológica dessa nação.

4.3.8. Sustentabilidade sob a Pegada Ecológica

A sustentabilidade visa satisfazer as necessidades humanas, a curto e longo prazo, sem exceder a capacidade de suporte da natureza na regeneração dos recursos consumidos e absorção dos resíduos. Para alcançar isto é necessário adequar o nível de consumo e o estilo de vida, a fim de que não se consumam os produtos mais rapidamente do que possam ser regenerados e os resíduos absorvidos.

Segundo a EF, para identificar os países que estão excedendo seus limites de suporte natural é necessário calcular o Déficit ou Reserva Ecológica, conceitos que já foram definidos anteriormente. Na Figura 4.9⁹ mostra-se os países que são sustentáveis e aqueles que já passaram seus limites de suporte. A escala adotada é de -18.5 a 9.6, onde os países com valores positivos estão em déficit ecológico (insustentáveis) e os países com valores negativos estão com reserva ecológica (sustentáveis).

4.4. CRITICAS À PEGADA ECOLÓGICA

Desde sua formulação, a Pegada Ecológica tem sido criticada por vários pesquisadores (Levett 1998; van den Bergh e Verbruggen, 1999; Ayres 2000; Moffatt 2000; Opschoor 2000; Rapport 2000; van Kooten e Bulte 2000; Pearce, 2000; Venetoulis e Talberth, 2007; Wiedmann e Lenzen, 2007; Lenzen et al., 2007). Estas referências contêm uma mistura de aspectos positivos e negativos relacionados à aplicação da metodologia e sugestões para melhorar sua estrutura e uso.

⁹ Com referência e manipulação do mapa interativo “Ecological Footprint” disponível na Internet (<http://pthbb.org/natural/footprint/map/large.html>)

A maior crítica é relacionada à simplificação da Pegada Ecológica na complexa tarefa de medir a sustentabilidade do consumo, conduzindo a comparações entre populações sem um conveniente sentido¹⁰ ou a resultados simples onde o consumo de uma população está significativamente subestimado. A forma agregada da EF final torna difícil entender as razões específicas da insustentabilidade do consumo de uma dada população (Rapport, 2000), e a formulação de respostas políticas apropriadas (Ayres 2000; Moffatt 2000; Opschoor 2000; van Kooten e Bulte 2000).

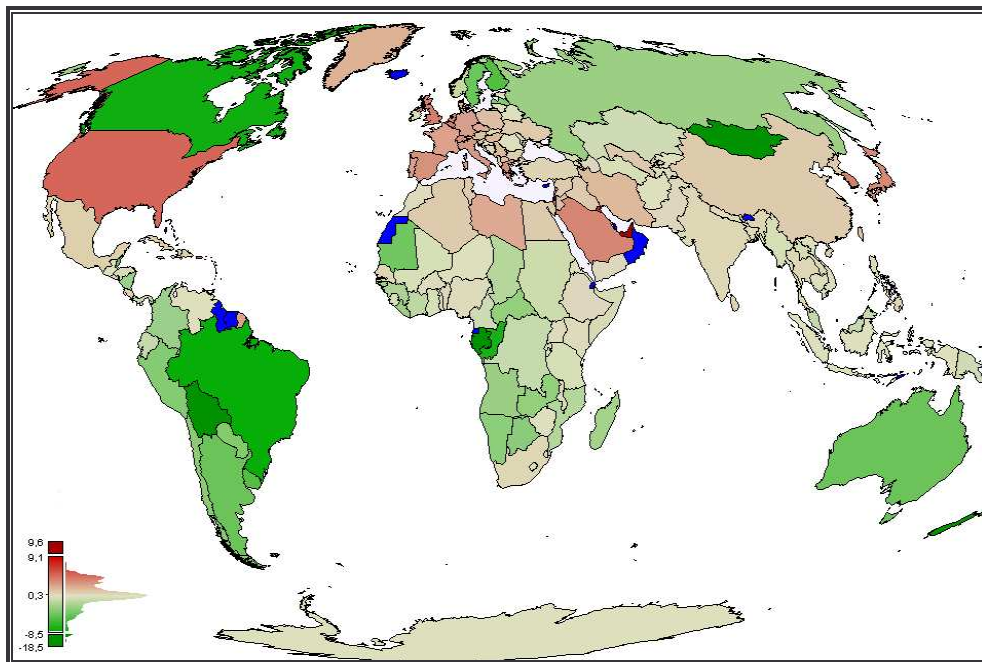


Figura 4.9: Saldo ecológico segundo a EF-GAEZ, 2003.

Críticas recentes tocam mais no fundo da sua metodologia. Por exemplo, Wiedmann e Lenzen (2007) encontram inconsistências no processo de conversão de hectares a hectares globais devido ao fato da EF ajustar os rendimentos da produção primária a médias globais, e não fazer o mesmo com as eficiências de produção secundária. Já para Venetoulis e Talberth (2007), o uso das produtividades potenciais GAEZ para calcular os fatores de equivalência (ou fatores de conversão de ha a gha) não mede a verdadeira intensidade da pressão humana sobre os ecossistemas.

¹⁰ Por exemplo, resultados de Wackernagel et al. (1999) indicam que alguns países com altas taxas de desmatamento (Austrália, Brasil, Indonésia, Malásia) exibem um balanço positivo entre área disponível (biocapacidade) e requerida (consumo); isto sugere que estes países estão consumindo suas terras em forma sustentável, o que pode resultar algo duvidoso.

Por outro lado, o fato da EF não medir as causas do incremento da biocapacidade na biodiversidade e saúde dos ecossistemas é também criticado (Lenzen et al., 2007). Além do mais, na EF-GAEZ, as áreas não produtivas para propósitos humanos, como desertos e zonas cobertas de gelo, são excluídos do cálculo (Wackernagel e Rees, 1995), o que consideramos como uma decisão subjetiva e nada realista, já que atividades humanas foram e continuam sendo feitas por povos que vivem nessas regiões há milhares de anos, e que conseqüentemente perturbam aqueles ecossistemas. Assim, muitos ecossistemas que não são usados diretamente podem ter benefícios indiretos para seres humanos em fornecer a biodiversidade ou outras funções do ecossistema (Venetoulis e Talberth, 2007).

Entretanto, geralmente conhecida como uma valiosa ferramenta pedagógica, a EF original não é vista como uma ferramenta de política regional e de planejamento para o desenvolvimento ecologicamente sustentável, já que não revela quando realmente ocorre o impacto, quais são os impactos na natureza e a severidade deles, e quanto é este impacto comparado com a capacidade de regeneração do ecossistema respectivo (Arrow et al. 1995; Walker, 1995).

4.5. NOVAS PROPOSTAS NO CÁLCULO DA PEGADA ECOLÓGICA

Em resposta aos problemas acima citados, o conceito da EF tem sofrido modificações significativas, principalmente por seus criadores (Loh, 2002; Wackernagel et al., 2002a; Wackernagel et al., 2002b; Wackernagel et al., 2005; Hails et al., 2006), e por outros pesquisadores (Bicknell et al. 1998; Simpson et al., 2000; Ferng, 2001; Lenzen e Murray, 2001; Venetoulis e Talberth, 2007).

Desta gama de propostas, é importante destacar a proposta de Venetoulis e Talberth (2007), já que além de criticar aspectos relevantes da metodologia original, mostra um procedimento lógico, e a nosso entender mais robusto que a EF-GAEZ. Esta nova versão que eles chamam de EF-NPP propõe melhorar algumas deficiências críticas da metodologia original. As principais propostas são: (a) inclusão da superfície total do planeta no cálculo da biocapacidade; (b) reservar uma parte da biocapacidade para outras espécies; (c) mudança das taxas de seqüestro de carbono pela vegetação; (d) uso da produtividade primária líquida (NPP) na determinação dos fatores de equivalência para o cálculo da

biocapacidade e da pegada. Considerando essas alterações, eles concluem que a situação global (biocapacidade - pegada ecológica) é ligeiramente pior que a situação obtida através da EF-GAEZ, pois passou de 1,2 gha/pessoa para 1,37 gha/pessoa, com dados do ano 2001. Estas idéias foram inseridas em um de nossos enfoques propostos no capítulo 7 desta tese, o enfoque da Pegada Ecológica baseada no NPP emergético (EF-ENPP).

4.6. A PEGADA ECOLÓGICA DA SOCIEDADE PERUANA

O enfoque da EF-GAEZ (pegada ecológica tradicional), considerando algumas modificações sugeridas por seus próprios criadores (Wackernagel et al., 2005), foi aplicado para o caso peruano com dados de 2004.

4.6.1. Metodologia

A metodologia descrita a seguir está baseada nas publicações de Loh (2002), Monfreda et al. (2004), Loh e Wackernagel (2004), Wackernagel et al. (2005) e Hails et al. (2006). Embora seja específica para avaliação de países, a metodologia também pode ser utilizada em avaliações da pegada em outras escalas (pequenas propriedades, avaliações locais ou regionais, etc.), mas com algumas mudanças dependendo do tipo de escala e da disponibilidade de dados. Segundo Hails et al. (2006), existe um grupo de abordagens que estão sendo publicados com ênfase em escalas menores à de países, a maioria utiliza receitas de produção e estatísticas suplementares para atribuir a pegada nacional per capita às categorias de consumo (como para alimentos, abrigo, mobilidade, bens e serviços). As pegadas médias regionais ou municipais per capita são calculadas escalonando os resultados nacionais para baixo, com base em diferenças entre os padrões de consumo nacionais e locais. O grupo de abordagens de entrada-saída utiliza tabelas de entrada-saída monetária, física ou híbrida, para atribuição da exigência total das categorias de consumo.

4.6.1.1. Cálculo dos Fatores de Equivalência e de Rendimento para o Peru, 2004

Na Tabela 4.7 tem-se os Fatores de Equivalência (EQF), Fatores de Rendimento (YF) e os Rendimentos Médios Globais (GY) utilizados no cálculo da EF-GAEZ para o Peru com dados do ano 2004. Os cálculos em detalhe dos YF's se encontram no Apêndice 8.

Note que em todos os casos se utiliza a Equação 4.2. No mesmo anexo aparecem os GY's (em ton ou m³/ha) para cada zona bioproductiva. Já os EQF's para o ano de avaliação estão baseados nos EQF's de anos anteriores (Loh, 2002; Loh e Wackernagel, 2004; Hails et al., 2006) devido à indisponibilidade das produtividades potenciais médias globais para o ano 2004. Assim, os EQF's de anos anteriores: 1999, 2001 e 2003 (Tabela 4.1) foram projetados usando modelos de tendência linear para cada zona bioproductiva (Tabela 4.7).

Tabela 4.7. Fatores de equivalência globais e de rendimento para o Peru, 2004.

Categoria	Fatores de Equivalência (EQF)		Fatores de Rendimento (YF) ⁽ⁱⁱⁱ⁾	Rendimentos médios globais (GY)	
	Modelo ⁽ⁱ⁾	Valor projetado Ano 2004 ⁽ⁱⁱ⁾		Valor ⁽ⁱⁱⁱ⁾	Unidade
Zonas de Cultivos	0,025 x Ano - 47,856	2,2440	1,6090	4,7525	t/ha
Zonas de Pastagem	0,005 x Ano - 9,525	0,4950	0,2444	0,5172	t/ha
Zonas de Floresta	- 0,0025 x Ano + 6,358	1,3478	0,3825	5,6887 ^(iv)	m ³ /ha
Zonas de Pesca	0,0025 x Ano - 4,647	0,3628	2,7310	0,0541	t/ha
Zonas urbanizadas ^(v)	--	2,2440	1,6090	--	--

⁽ⁱ⁾ Baseados em dados de 1999, 2001 e 2003 (Tabela 4.1).

⁽ⁱⁱ⁾ Calculado ingressando o ano 2004 nos modelos ⁽ⁱ⁾ da Tabela 4.7.

⁽ⁱⁱⁱ⁾ Cálculos no Apêndice 8.

^(iv) Corresponde ao valor de GY de produção de florestas. Já o GF de florestas no sequestro de C foi considerado igual a 0,95 t C/ha/ano.

^(v) EQF e YF de zonas urbanizadas foram considerados iguais à zonas de cultivo.

Para avaliações de escalas menores que as nacionais sugerimos utilizar a Equação 4.1 para calcular os EQF's, mas tendo como padrão sempre um sistema maior ao avaliado. Por exemplo, na avaliação de um município, distrito, bacia hidrográfica, etc., um sistema maior poderia ser o estado ao qual a localidade pertence. Assim, a produtividade potencial de cada zona bioproductiva que a localidade abrange teria que relacionar-se com a produtividade potencial do estado. As mesmas considerações teriam que ser assumidas para calcular os YF's de cada zona bioproductiva usando a Equação 4.2. Já os GY's teriam que ser calculados para o estado, que também poderiam ser utilizados para análises da pegada de qualquer sistema que se encontre dentro do estado, só valendo para o ano em que foi calculado.

4.6.1.2. Cálculo da Biocapacidade do Peru, 2004.

As zonas consideradas em nossa análise para o cálculo da biocapacidade do Peru, no ano de 2004, foram: cultivos, pastagem, florestas, pesca e zonas urbanizadas. Alguns enfoques sugerem calcular também áreas fictícias para absorção de CO₂ em separado (Wackernagel et al., 2005; Monfreda et al., 2004), mas, para sermos condizentes com os últimos relatórios da EF-GAEZ, preferiu-se considerar que a biocapacidade de florestas está embutindo duas de suas funções principais: produzir energia e absorver CO₂ (Hails et al., 2006). Este é o motivo de aparecer o numero 2 (dois) no cálculo da biocapacidade de florestas (Figura 4.10).

Na Figura 4.10 tem-se o fluxograma de cálculo da biocapacidade que em forma simplificada poderia ser escrita como na seguinte fórmula:

$$\frac{\text{Biocapacidade (gha)}}{\text{EQF(gha/ha)}} = \text{Área bioproductiva (ha)} \times \text{YF(-)} \times \text{EQF(gha/ha)}$$

Equação 4.4

Os valores das áreas bioproductivas do Peru estão baseadas em estatísticas oficiais para o ano de 2004 (Tabela 2.7). Observe que áreas como desertos, espaços aquáticos continentais (lagoas, rios), oceano aberto, etc., ou seja, zonas que a EF-GAEZ chama de zonas de baixa bioproductividade, não estão sendo consideradas nesta análise. Já no capítulo 7, nas duas propostas, inserimos nos cálculos toda a área que compreende o país. Como as áreas existentes em cada categoria mudam ano a ano, como também os EQF's e os YF's, entende-se que a biocapacidade do país também muda.

Algo importante quando se está calculando a biocapacidade é contabilizar só a área existente nas diferentes categorias. Por exemplo, para zonas de cultivos, o valor a considerar como área existente não é a área que potencialmente poderia se utilizar para cultivos, mas sim a área que foi cultivada no ano. Em nossos cálculos foi utilizada a área colheitada devido à indisponibilidade da área cultivada para o ano 2004.

Calcular a biocapacidade de sistemas menores (municípios, distritos, bacias, etc.) poderia resultar em uma tarefa difícil se considerarmos as mesmas categorias. Nestes casos, sugerimos dividir o sistema em categorias que facilmente possam ser identificadas e, principalmente, se disponha de dados para calcular os EQF's e YF's. Mas a idéia básica

para calcular a biocapacidade do sistema avaliado é a mesma, seja esta de pequena escala ou de uma escala maior.

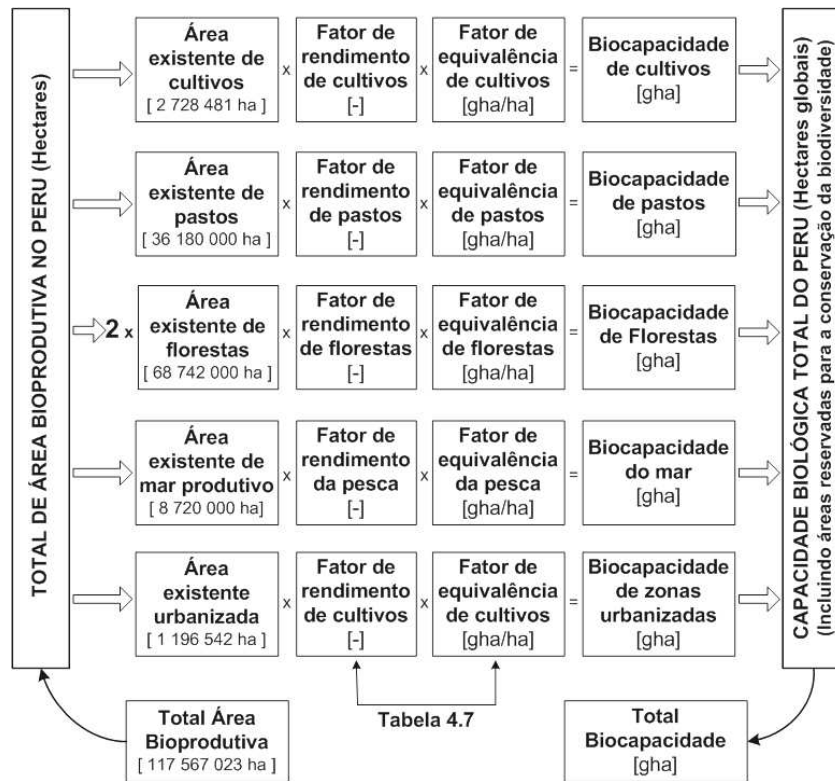


Figura 4.10. Estrutura do cálculo da biocapacidade do Peru, 2004.

4.6.1.3. Cálculo da Pegada do Peru, 2004

As categorias de consumo consideradas para calcular a pegada da sociedade Peruana foram: cultivos, animais alimentados com pasto, produtos florestais, produtos marinhos, energia fóssil expressa como emissões de CO₂, e construções. Cada uma destas categorias representa uma quantidade de consumo (em t/ano, m³/ano, t C/ano, ha/ano, etc.), que dividida pelo rendimento global (GY em t/ha/ano, m³/ha/ano, etc.) se obtém a respectiva categoria em hectares, logo se multiplica por seu Fator de Equivalência (EQF) e se obtém a pegada em hectares globais, ou:

$$Pegada (gha) = Consumo (t/ano) \times [EQF (gha/ha) / GY (t/ha/ano)] \quad \text{Equação 4.5}$$

Uma descrição mais detalhada dos cálculos de cada categoria de consumo é explicada a seguir, os quais estão resumidos na Figura 4.11.

O consumo dos cultivos, produtos da floresta, produtos animais e peixes foram calculados em forma direta como produção mais importações menos exportações (Anexo 1). Esclarecemos que os fluxos de importações e exportações foram considerados como se fossem somente de produtos primários, embora isto não seja correto e possa ser fonte de imprecisão em nossos resultados, resulta ser uma boa aproximação, já que no balanço (importação – exportação) o erro fica reduzido, especialmente se as importações e exportações são valores próximos. Para cálculos mais preciso do consumo de recursos renováveis em função de produtos primários e secundários, Wackernagel et al. (2005) oferecem uma alternativa de cálculo. No caso de florestas foi considerada a extração madeireira, incluindo madeira em tora e lenha. Na categoria animais alimentados com pasto foram considerados a carne, e leite. Já na categoria peixes foram considerados todas as espécies capturadas do mar no país em 2004.

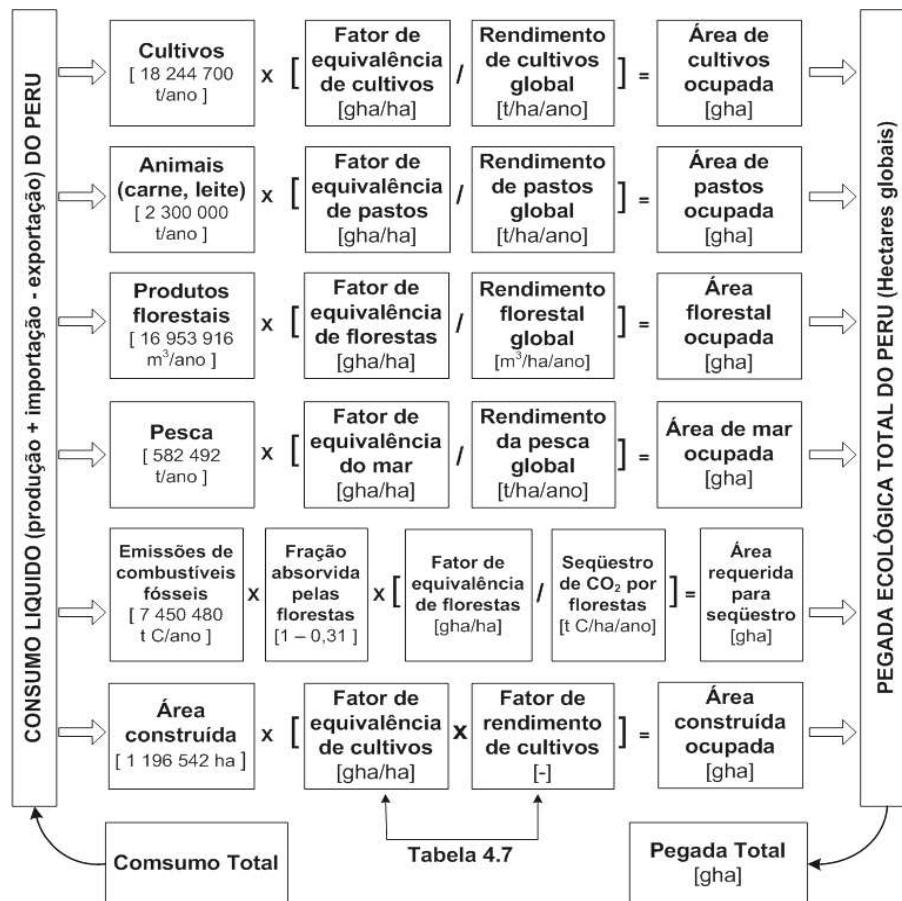


Figura 4.11. Estrutura do cálculo da Pegada do Peru, 2004.

A pegada de combustíveis fósseis pode ser estimada de um número de perspectivas diferentes. O enfoque escolhido para nossos cálculos foi o cálculo da pegada em função da área requerida para assimilação de CO₂. A área de seqüestro é calculada deduzindo 31% das emissões antropogênicas totais como absorvidas pelos oceanos (Redefining Progress, 2002).

Observe, na Figura 4.11, que a área construída se iguala à mesma quantidade de cultivos que substituiu, ajustado pelos seus EQF e YF de cultivos. Note também que a fórmula de cálculo da pegada de zonas urbanizadas é o mesmo que para a biocapacidade. Por outro lado a área ocupada por hidroelétricas também pode ser contabilizado como área construída. Em nossos cálculos estamos supondo que a quantidade de área construída utilizada inclui a área de hidroelétricas, mas em certos casos é interessante saber a pegada de áreas ocupadas por hidroelétricas de maneira separada. Neste último caso, Wakernagel et al. (2005) sugerem um caminho para calcular a pegada de áreas ocupadas por hidroelétricas.

4.6.2. Resultados e discussão da EF-GAEZ para o caso peruano

Nossos resultados confirmam as tendências dos resultados para anos anteriores mostrados nos relatórios EF-GAEZ (Loh, 2000; Loh, 2002; Loh e Wackernagel, 2004; Hails et al., 2006). Por um lado a biocapacidade do Peru continua diminuindo ao passar os anos, e por outro lado a pegada continua sua tendência crescente.

Na Tabela 4.8 e Figura 4.12 pode-se observar a biocapacidade do Peru por categorias. Nossos resultados mostram que zonas de floresta são as que maior biocapacidade (72,3% do total) aportam ao sistema nacional, seguido pelas zonas de cultivo e marinhas (10,1% e 8,8% do total, respectivamente). As zonas de pastagem são as que menos biocapacidade aportam à biocapacidade nacional.

Algo importante de observar é que zonas de pastagem, mesmo possuindo uma maior área bioprodutiva (36,2 milhões de ha) que as zonas de cultivos (2,7 milhões de ha), sua biocapacidade (4,4 milhões de gha) é menor que a de cultivos (9,9 milhões de gha). Estes resultados, de maiores ou menores biocapacidade, estão relacionados às produtividades locais e globais destas zonas, conseqüentemente ao YF. No caso de cultivos foi calculado

um fator de rendimento (YF) de 1,6 muito maior que o fator de rendimento calculado para pastos (YF = 0,24). Neste mesmo sentido, se o YF aumenta de um ano para outro, a biocapacidade também aumentará. Um YF aumenta só se a produtividade local aumenta em maior proporção que a média global, ou diminui em menor proporção que a média global. Por exemplo, a biocapacidade de cultivos de Peru para ano 2003 foi de 9,1 milhões de gha (Hails et al., 2006) e para o ano 2004 nós calculamos em 9,9 milhões de gha. Um aumento de aproximadamente 9% na biocapacidade de cultivos como resultado de um aumento no seu fator de rendimento (de 0,98 em 2003 a 1,61 em 2004), em outras palavras, houve um aumento de na produtividade dos cultivos do Peru em maior proporção a um aumento na produtividade global.

Tabela 4.8. Biocapacidade do Peru por categorias usando o enfoque EF-GAEZ, 2004.

Categoria	Área bioprodutiva ⁽ⁱ⁾ (ha)	Biocapacidade Total ⁽ⁱⁱ⁾ (gha)	Biocapacidade per capita ⁽ⁱⁱⁱ⁾ (gha/pessoa)
Zonas de cultivo	2 728 481	9 851 640	0,3619
Zonas de pastagem	36 180 000	4 376 447	0,1608
Floresta	68 742 000	70 877 608	2,6040
Zonas marinhas	8 720 000	8 639 709	0,3174
Zonas urbanizadas	1 196 542	4 320 317	0,1587
Total	117 567 023	98 065 720	3,6028

⁽ⁱ⁾ Tabela 2.4.

⁽ⁱⁱ⁾ Com base na Figura 4.10.

⁽ⁱⁱⁱ⁾ Considerando uma população para o ano 2004 de 27 219 264 habitantes.

A biocapacidade de zonas urbanizadas (4,4 % da biocapacidade total) é concebida como a porção de biocapacidade que é apropriada pelas construções. Por este motivo a pegada das construções tem o mesmo valor que sua biocapacidade (Tabela 4.9), ou seja, um saldo ecológico das zonas urbanizadas igual a zero (Figura 4.14). Assim, com este enfoque, sempre o saldo ecológico de zonas urbanizadas será zero. Um novo enfoque proposto por Venetoulis e Talberth (2007) mostra já o saldo negativo (déficit ecológico) em que vivem as cidades, o que seria mais concordante com a realidade.

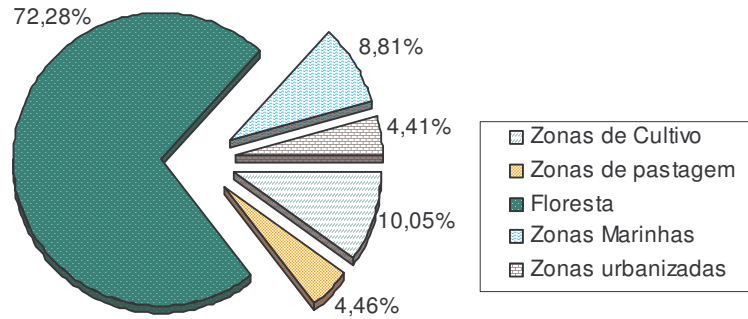


Figura 4.12. Biocapacidade do Peru por categorias usando o enfoque EF-GAEZ, 2004.

A pegada do consumo de produtos agrícolas (8,6 milhões de gha) é a que tem a maior participação (30,3 %) na pegada total do Peru (28,5 milhões de gha), seguido pela pegada das emissões de CO₂ (19,0 %) e a pegada das construções (15,2 %).

Tabela 4.9. Pegada do Peru por categorias usando o enfoque EF-GAEZ, 2004.

Nota	Categoria	Consumo	Unidade	Pegada Total (gha)	Pegada per capita (gha/pessoa)
1	Cultivo	18 244 700	t	8 614 646	0,3165
2	Pastagem	2 300 000	t	2 201 276	0,0809
3	Floresta	16 953 916	m ³	4 016 821	0,1476
4	Pesca	582 492	t	3 906 251	0,1435
5	Emissões de CO ₂	7 450 480	t C	5 411 401	0,1988
6	Construções	1 196 542	ha	4 320 230	0,1587
Total				28 470 626	1,0460

Notas (Todos os valores de produção, importação e exportação se encontram no Apêndice 1).

- Consumo agrícola = Produção (1,63E+07 t) + Importações (3,62E+06 t) - Exportações (7,34E+05 t).
- Consumo pecuário (carne e leite) = Produção (2,26E+06 t) + Importações (4,65E+05 t) - Exportações (8,40E+05 t).
- Consumo Florestal = Consumo produtos florestais + Consumo lenha.
 - Consumo produtos florestais (papel, polpa e madeira) = Produção (9,11E+06 m³) + Importações (5,77E+05 m³) - Exportações (3,00E+04 m³).
 - Consumo lenha = Produção (7,30E+06 m³) + Importações (0,0) - Exportações (0,0).
- Consumo produtos pesqueiros = Produção (9,62E+06 t) + Importações (5,91E+04 t) - Exportações (9,10E+06 t).
- Consumo combustíveis fósseis (como emissões de CO₂) = Produção (27,32E+06 t CO₂ x 12/44), onde 12/44 é o fator de conversão de CO₂ a seu equivalente em C.
- Área de terra apropriada pelas construções. Valor equivalente a sua biocapacidade.

Da análise, as três principais demandas ambientais do Peru estão centrados na agricultura, o uso de combustíveis fósseis e o crescimento das cidades. Muito próximo destes três, estão as pegadas de florestas e do setor pesqueiro com 14,1 % e 13,7 % da pegada total, respectivamente. Estas demandas ambientais estão em concordância com o manifestado por CONAM (2005): “os principais problemas do Peru se focalizam na perda de biodiversidade, desmatamento, erosão de solos, desertificação, sobre exploração de espécies e ecossistemas, e contaminação”. O problema da agricultura no Peru pode ser relacionado diretamente à erosão de solos. No III Censo Nacional Agropecuário (INEI, 1994) é indicado que na Costa 40% dos solos agrícolas estão afetados pelos processos de salinização e má drenagem, na Serra pelo menos 60% dos solos agropecuários estão afetados pelos processos de erosão. Este problema da agricultura peruana se agrava se temos em consideração que só 7% do território nacional são de atitude agropecuária (INEI, 2006). O crescimento das cidades está diretamente relacionado à perda da biodiversidade e desmatamento; entretanto, o uso de combustíveis fósseis é causa direta dos problemas de contaminação.

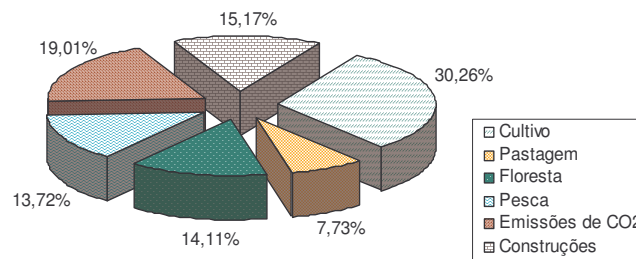


Figura 4.13. Pegada do Peru por categorias usando o enfoque EF-GAEZ, 2004.

Uma análise entre a biocapacidade disponível e a pegada do consumo peruano o ano 2004 pode ser visualizado na Figura 4.14. Claramente se distingue que zonas de floresta são as que têm o melhor saldo ecológico do sistema avaliado. Mas isto não significa que a exploração florestal está bem, só indica uma grande disponibilidade que o Peru tem em recursos florestais. Segundo Elgegren (2005) a taxa de desmatamento no Peru é de aproximadamente 150 mil ha anuais, o que representa 0,2% da extensão atual de florestas no Peru. Com esta taxa de desmatamento, de aqui a 10 anos a área coberta por florestas diminuiria em 2%, e em 20% de aqui a 100 anos. Na pegada de zonas de floresta estão incluídos o consumo de produtos florestais, o consumo de lenha e as emissões de CO₂. Mas ainda assim, o saldo ecológico de florestas é elevado, produto da grande biocapacidade que tem estas áreas.

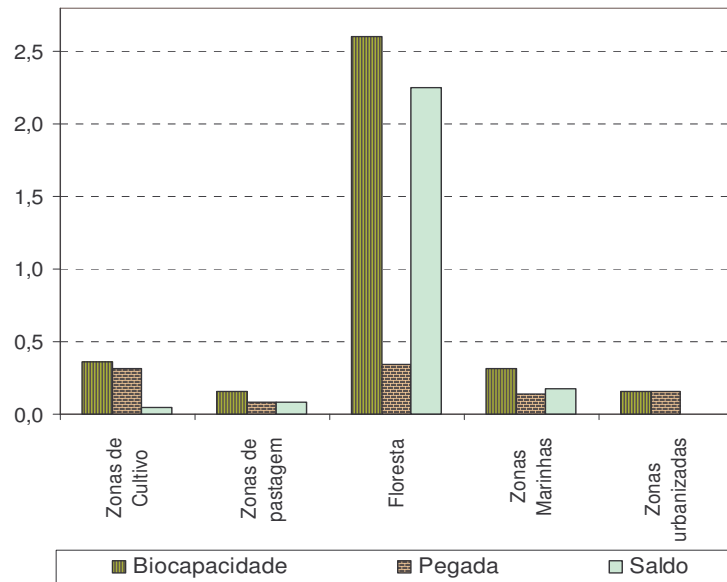


Figura 4.14. Saldo ecológico segundo o enfoque EF-GAEZ para o Peru, 2004.

Por outro lado na Figura 4.14, como discutido anteriormente, se confirma a grave situação que se encontra a agricultura peruana. Enquanto a pegada do consumo agrícola resulta elevada (0,3165 gha/pessoa, Tabela 4.9), a biocapacidade não é muito assim (0,3619 gha/pessoa, Tabela 4.8), dando um saldo muito pequeno. Isto significa que o peruano médio está se apropriando de 0,32 gha de biocapacidade (dos 0,36 gha disponíveis) devido ao seu consumo atual de produtos agrícolas, ficando só um saldo de 0,04 gha por pessoa.

Dados de biocapacidade e pegada do Peru para os anos 1996 - 2003, mostrados na Tabela 4.10, foram compilados de diferentes Relatórios do Planeta Vivo (Living Planet Report 2000, 2002, 2004, 2005, e 2006)¹¹ com a finalidade de fazer uma análise de tendência dos componentes da EF. Em relatórios anteriores ao ano de 2006, são definidos os hectares globais como específicos para cada ano, pois tanto o número total de hectares bioprodutivos como a produtividade média mundial por hectare, muda anualmente. Para simplificar a comparação dos resultados da pegada e da biocapacidade de ano para ano, no último relatório (Hails et al., 2006: Notas Técnicas) são dadas todas as tendências em hectares globais constantes em 2003. Semelhante ao uso de dólares ajustados à inflação em estatísticas econômicas, o uso de um hectare global fixo mostra como os níveis absolutos de consumo e de bioprodutividade mudam ao longo do tempo, em vez de mostrar apenas a

¹¹ Todos eles disponíveis no site:
http://www.panda.org/news_facts/publications/key_publications/living_planet_report/index.cfm

taxa entre eles. Assim, os fatores de conversão da segunda coluna da Tabela 4.10 são utilizados para expressar os hectares globais de qualquer ano a valores constantes do ano 2003, com a finalidade de fazer comparações e discussões mais realistas.

Tabela 4.10. Sustentabilidade da economia Peruana segundo a EF-GAEZ (1996-2004).

Ano	Fator de conversão ⁽ⁱ⁾	Pegada (gha/pessoa)	Biocapacidade (gha/pessoa)	Saldo
1996	0,98	1,30	9,05	7,74
1999	0,99	1,42	5,52	4,11
2001	1	0,96	4,28	3,32
2002	1	0,89	4,22	3,33
2003	1	0,87	3,83	2,96
2004 ⁽ⁱⁱ⁾	-	1,05	3,60	2,56

⁽ⁱ⁾ Para converter gha de um ano base em gha do ano 2003 (Hails et al., 2006: notas técnicas).

⁽ⁱⁱ⁾ Calculado nesta tese

Na Tabela 4.10, o fator de conversão para o ano de 1996 significa que um hectare global em 1996 produziu o 98% dos bens e serviços úteis para a humanidade do que um hectare global em 2003. Assim, os valores 1,33 de pegada e 9,23 de biocapacidade, citados para o ano 1996 (Loh, 2000), foram multiplicados por este fator (0,98).

Segundo esta análise, a sociedade Peruana possui ainda um saldo ecológico favorável (reserva ecológica) para ser considerado no grupo dos países mais sustentáveis do planeta, segundo o enfoque da EF-GAEZ, mas, em apenas 4 anos (2001 a 2004) o Peru tem diminuído sua biocapacidade em 16% e aumentado sua pegada em 9%. Com este ritmo de consumo e apropriação da sua biocapacidade o Peru deixará de ter um saldo ecológico positivo, segundo nossas aproximações, entre o ano 2014 e 2020 (Figura 4.15), dependendo do modelo adotado. Foram adotados modelos lineares (Figura 4.15a) a partir do ano 2001 devido a que a partir deste ano o método EF-GAEZ esteve quase padronizado, com pequenas variações na metodologia nos anos posteriores. Assim, os relatórios do Planeta Vivo a partir do ano 2001, mostram resultados menos dispersos. Já os modelos exponenciais foram utilizados em dados desde o ano 1996, onde os dados estão mais dispersos e com tendência exponencial.

Para que a sustentabilidade do sistema econômico peruano seja prolongada, os governos de turno precisam delinear políticas de manejo sustentável das áreas bioprodutivas do país, principalmente cultivos, florestas e espaço de mar produtivo, já que estas três áreas são as que nos últimos anos tem se depredado a grande escala (Pascó-Font, 1999). Não fazer isso e crescer com o modelo econômico atual, implica deixar um Peru com menos oportunidades para as futuras gerações.

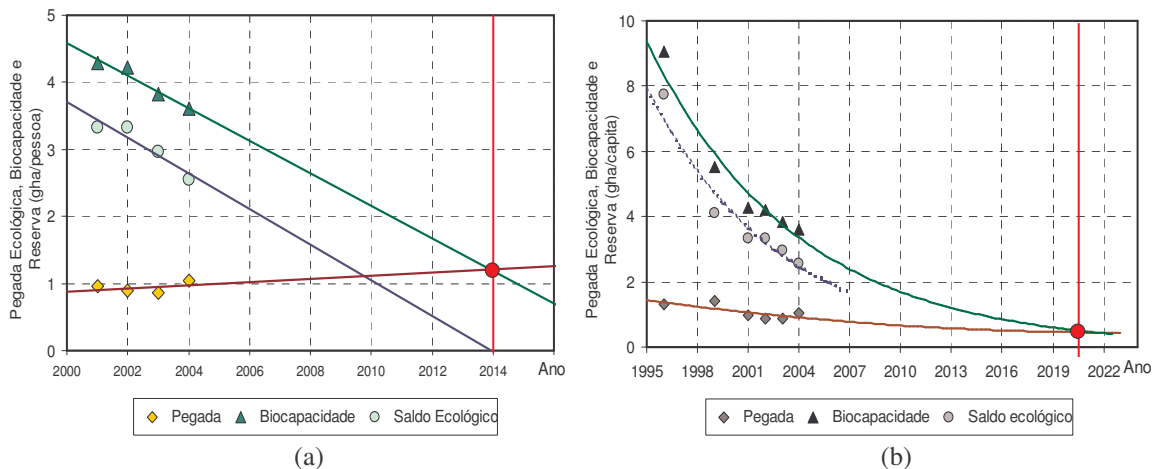


Figura 4.15. Tendências da Pegada e Biocapacidade do Peru: (a) Modelos lineais, anos 2001 – 2004; (b) Modelos exponenciais, anos 1996 – 2004.

4.7. CONCLUSÕES

A Pegada Ecológica busca explicar o estresse que exercem as ações humanas nos recursos naturais ao longo do tempo, quanto cada indivíduo, cidade ou nação consome os recursos, e como a humanidade domina a biosfera à custa de outras espécies. Ela fornece um referencial do desempenho ecológico, identifica os desafios e permite que, membros da sociedade, tomadores de decisões públicas e privadas, possam documentar os ganhos com um país, uma região ou uma cidade. Também se torna instrumento para se desenvolver estratégias e cenários futuros aplicáveis em várias escalas: individual, familiar, empresarial, regional, nacional e mundial, em direção à sustentabilidade. Mostra ser um excelente comunicador, pois pode focar debates, sinalizar tendências ao longo do tempo e fazer comparações entre sistemas avaliados. Estas vantagens ampliam a visão de futuro nas gerações presentes. Apesar de tudo, ainda não é vista como uma ferramenta de planejamento para o desenvolvimento ecologicamente sustentável, já que não revela

claramente quais são os impactos na natureza e a severidade deles, e quanto é este impacto comparado com a capacidade de regeneração do ecossistema respectivo.

O interesse principal deste capítulo foi acrescentar o conhecimento desta interessante ferramenta e discutir os resultados com o estudo do caso Peruano.

Pelos resultados obtidos observa-se que o desenvolvimento econômico Peruano não pode se expandir infinitamente sobre os recursos da natureza. O consumo dos recursos que dão suporte ao sistema tem se acelerado drasticamente na última década, até o ponto de estar esgotando o capital natural. Estimou-se que o Peru, com o ritmo atual de consumo, passará ser um país insustentável aproximadamente entre os anos 2014 e 2020. Por tudo isto é necessária uma ação urgente dos governantes no sentido de escolher um percurso de desenvolvimento mais adequado, capaz de manter e preservar o sistema em que o Peru vive, para garantir a sobrevivência dos seres humanos e das outras espécies que o habitam.

4.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrow K., Bolin B., Costanza R., Dasgupta P., Folke C., Holling C.S., Jansson B.-O., Levin S., Mäler K.-G., Perrings C. e Pimentel D. 1995. Economic growth, carrying capacity and the environment. *Science* 268(5210), 520-521.
- Ayres R.U. 2000. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 32, 347-349.
- Bicknell K.B., Ball R.J., Cullen R. e Bigsby H.R. 1998. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecological Economics* 27(2), 149-160
- Catton, W. 1993. Carrying capacity and the death of a culture: A tale of two autopsies. *Sociological Inquiry* 63(2): 202-223.
- CDIAC, 1999. Carbon Dioxide Emissions from Fossil-Fuel Consumption and Cement Manufacture. Oak Ridge, Tennessee, Oak Ridge National Laboratory, Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), <http://cdiac.esd.ornl.gov>.
- Chambers, N., Simmons, C., Wackernagel, M. 2000. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Earthscan, London.
- Costanza R. 2000. The dynamics of the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 32, 341-345.
- da Costa, P.J.C., Siloto, R. 2004. Pegada Ecológica: Instrumento de avaliação dos impactos antrópicos no meio natural. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, 2(1):43-52.
- de Carvalho, M.A. 2006. Economia Ecológica. Sociedade Brasileira de Economia Ecológica – ECOECO. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/economia/index.php>
- Ehrlich, P. R., e Holdren, J.P. 1971. Impact of population growth. *Science* 171, 1212-1217.
- Elgengen, Jorge . La deforestación en el Peru. **Taller Análisis Ambiental del País - Peru BM – CONAM. Disponível em:** <http://www.conam.gob.pe/documentos/Taller-Analisis-Ambiental/La-Deforestacion-en-el-Peru.pdf>
- Eurostat. 2000. Towards Environmental Pressure Indicators for the EU. Luxembourg, Eurostat, European Commission.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1997. State of the World's Fisheries and Aquaculture (SOFIA) 1996. FAO Fisheries Department, Rome, Italy. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/003/w3265e/w3265e00.htm>.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2000. Forest Resource Assessment 2000. Rome, Food and Agriculture Organization (FAO), Forestry Department. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/site/fra2000report/en/>
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2001. FAOSTAT. Rome, Food and Agriculture Organization (FAO). Disponível em: <http://faostat.fao.org/> (acessado julho 2006 para dados do ano 2001).
- FAO - Food and Agriculture Organization. 2004. The State of World Fisheries and Aquaculture 2004. Editorial Production and Design Group Publishing Management Service FAO, Rome, Italy. Disponível em: <http://www.fao.org/DOCREP/007/y5600e/y5600e00.htm>
- FAO – Food and Agriculture Organization. 2005. Global Forest Resources Assessment 2005. Forestry Department of the United Nations. Rome, Italy. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.htm>

- Ferng, J. 2001. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity. *Ecological Economics* 37, 159-172
- Georgescu-Roegen, N. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge (EUA): Harvard University Press.
- George, C., Dias, S. 2005. *Sustainable Consumption and Production – Development of an Evidence Base: Study of Ecological Footprinting*. Final Report, Department for Environment, Food & Rural Affairs. Ref: CTHS0401. 134p.
- GFN – Global Footprint Network. 2006. 2005 National Footprint Accounts. Disponível em: <http://www.footprintnetwork.org/>
- Hails, C., Loh, J., Goldfinger, S. (Eds). 2006. *Living planet report*. 2006. World Wide Fund for Nature International (WWF), Zoological Society of London (ZSL), Global Footprint Network, Gland, Switzerland.
- House, J, Prentice, C, and Le Queré, C. 2002. Maximum impacts of future reforestation or deforestation on atmospheric CO₂. *Global Change Biology* (8), 1047-1052.
- IEA, 2004. *CO2 Emissions from Fuel Combustion (2001 data)*. Paris, France, International Energy Agency (IEA) of the OECD.
- IIASA e FAO, 2000. *Global Agro-Ecological Zones (GAEZ) 2000 CD-ROM*. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Food and Agriculture Organization (FAO), Rome.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Lenzen M., Murray S.A. 2001. A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics* 37, 229-255.
- Lenzen, M., Borgstrom, C., Bond, S. 2007. On the bioproductivity and land-disturbance metrics of the Ecological Footprint. *Ecological Economic* 61, 6 - 10.
- Levett R. 1998. Footprinting: a great step forward, but tread carefully. *Local Environment* 3, 67-74.
- Loh, J. (Ed). 2000. *Living planet report 2000*. World Fund for Nature International (WWF), World Conservation Monitoring Centre (UNEP), Redefining Progress, e Center for Sustainability Studies. Gland, Switzerland.
- Loh, J. (Ed). 2002. *Living planet report*. 2002. World Wide Fund for Nature International (WWF), UNEP World Conservation Monitoring Centre, Redefining Progress, Center for Sustainability Studies, Gland, Switzerland.
- Loh, J., Wackernagel, M. (Ed). 2004. *Living planet report*. 2004. World Wide Fund for Nature International (WWF), UNEP World Conservation Monitoring Centre, Global Footprint Network, Gland, Switzerland.
- Martínez Alier, J. *De la economía ecológica al ecologismo popular*. Barcelona: Icaria, 1994.
- Mitchell, R.C., Carson, R.T. *Using surveys to value public goods: the contingent valuation method*. Resource for the future. Washington, DC, 1989. 463p.
- Moffatt, I. 2000. Ecological footprints and sustainable development. *Ecological Economics* 32, 359-362.
- Monfreda, C., Wackernagel, M., Deumling, D., 2004. “Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts.” *Land Use Policy*, 21, 231–246.
- Odum, H.T. 1996. *Environmental accounting, emergy and decision making*. New York: J. Wiley. 370 p.
- O’Meara, M. 1999. Explorando uma nova visão para as cidades. *Estado do Mundo*, 138-157.

- Opschoor, H. 2000. The ecological footprint: measuring rod or metaphor? *Ecological Economics* 32, 363-365.
- Pascó-Font, A. 1999. *Desarrollo Sustentable del Perú*. Editorial Valenzuela. Agenda: Peru. 118p.
- Pauly, D., Christensen, V. 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374, 255-257.
- Pearce, D. 2000. *Public Policy and Natural Resources Management*, Draft paper for DGXI, European Commission.
- Rapport, D.J. 2000. Ecological footprints and ecosystem health: complementary approaches to a sustainable future. *Ecological Economics* 32, 381-383
- Rees, W. 1992. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. *Environment and Urbanization* 4 (2), 121 -130.
- Redefining Progress. 2002. *National Footprint Accounts*. Spreadsheets purchased under license agreement. Redefining Progress, California.
- Romeiro, A.R. 2001. *Economia ou economia política da sustentabilidade?*. Texto para Discussão. IE/UNICAMP, Campinas, n. 102. 30p.
- Siche, J.R.; Ortega, E.; Romeiro, A.; Agostinho, F.D.R. Sustainability of nations by indices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emery performance indices. *Ecological Economic*, 2006. Submetido para publicação.
- Simmons, C., Lewis, K., Barrett, J. 2000. Two feet – two approaches: a component-based model of ecological footprinting. *Ecological Economics* 32(3), 375-380.
- Simpson R.W., Petroschevsky A. e Lowe I. 2000. An ecological footprint analysis for Australia. *Australian Journal of Environmental Management* 7, 11-18.
- van Kooten G.C., Bulte E.H. 2000. The ecological footprint: useful science or politics? *Ecological Economics* 32, 385-389
- van den Bergh J.C.J.M. e Verbruggen H. 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the 'ecological footprint'. *Ecological Economics* 29(1), 61- 72
- Venetoulis, J.; Talberth, J. 2006. *Ecological footprint of nations, 2005 update*. Redefining Progress. Disponível em: <http://www.rprogress.org/newpubs/2006/Footprint of Nations 2005.pdf>.
- Venetoulis, J.; Talberth, J. 2007. Refining the ecological footprint. *Environment, Development and Sustainability* DOI 10.1007/s10668-006-9074-z.
- Walker B. 1995. National, regional and local scale priorities in the economic growth versus environment trade-off. *Ecological Economics* 15, 145-147
- Wackernagel M. and Rees W. 1995. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers Philadelphia, PA, USA
- Wackernagel, M., Onisto, L., Bello P., Callejas A., López, I., Méndez, J., Suárez, A., Suárez M.G. 1999. National natural capital accounting with the ecological footprint Concept. *Ecological Economic* 29: 375-390.
- Wackernagel, M.; Rees, W. 1996. *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*. 6. ed. Canada: New Society Publishers, p.160.
- Wackernagel, M., Schulz, N., Deumling, D., Callejas, A., Jenkins, M., Kapos, V., Monfreda, C., Loh, J., Myers, N., Norgaard, R. e Randers, J. 2002a. Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 99 (14): 9266-9271.
- Wackernagel, M., Monfreda, C. e Deumling, D. 2002b. *Ecological Footprint of Nations - November 2002. Update: How Much Nature Do They Use? How Much Nature Do They*

- Have?" Redefining Progress, CA. Disponível em:
<http://www.redefiningprogress.org/publications/2002/ef1999.pdf>
- Wackernagel, M., Monfreda, C., Moran, D., Wermer, P., Goldfinger, S., Deumling, D., Murray, M. 2005. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method. Global Footprint Network. 33pp.
- WNA - World Nuclear Association. 2007. Nuclear Power in the World Today. Information Paper 01-2007. Disponível em: <http://www.world-nuclear.org/info/inf01.html>
- Wiedmann, T., Lenzen, M. 2007. On the conversion between local and global hectares in Ecological Footprint analysis. Ecological Economic 60, 673 - 677.

CAPÍTULO V:
ANÁLISE EXERGÉTICA DA SOCIEDADE PERUANA

RESUMO

O uso e conversão de recursos energéticos e materiais na sociedade Peruana em 2004 foram analisados pela análise exergética. Todos os recursos que entram na sociedade foram agrupados em cinco tipos de recursos: naturais renováveis, renováveis locais, não renováveis, importações e exportações. Cada um destes fluxos foi contabilizado em unidades de massa (g) ou energia (J) e em unidades exergéticas (J). A entrada de exergia à economia do Peru foi 2350 PJ ou 84 GJ per capita. A saída de produtos e serviços tinha 772 PJ de exergia ou 28 GJ per capita. A eficiência total do sistema econômico peruano é de 33%. A entrada de exergia total ao sistema Peruano é de 7710 EJ, considerando a chuva e a energia solar. A eficiência ecossistêmica neste caso resultou ser muito baixa (0,01%). Foi proposto o índice Renovabilidade Exergética (RENEX) como uma medida para avaliar a sustentabilidade econômica do sistema, baseado na relação entre a exergia dos recursos renováveis locais e o total de exergia que ingressa ao sistema econômico. Este valor resultou sendo aproximadamente de 24%.

5.1. INTRODUÇÃO

Recentemente, metodologias termodinâmicas - energéticas tem ganhado importante lugar na discussão internacional sobre a sustentabilidade de países. Sendo que, todo uso de energia tem limites, seja porque o recurso energético é limitado ou porque seu impacto ambiental impõe limites, se faz necessário implementar técnicas de utilização da energia mais eficientes. Porém, a discussão sobre o role da termodinâmica na economia ambiental ainda não tem conduzido a uma conclusão, um melhor enfoque parece ser necessário o qual toma em consideração os relacionamentos entre a economia e as ciências naturais em geral. É conhecido que a teoria ambiental neoclássica sofre de sérias deficiências para avaliar a sustentabilidade de sistemas econômicos. A termodinâmica poderia ser de utilidade para arrumar estes defeitos, já que a economia poderia ser considerada como uma estrutura dissipativa que depende de seu ambiente.

A idéia de utilizar exergia em fluxos de materiais da economia de um país foi introduzida e iniciada por Reistad (1975) quem estudou a exergia de recursos energéticos da sociedade dos Estados Unidos.

O método da análise exergética foi desenvolvido e principalmente usado para sistemas termodinâmicos e térmicos, abertos e fechados. Exergia associada a sistemas econômicos é uma das aplicações relativamente novas desta análise que ainda está em desenvolvimento. Talvez uma das grandes potencialidades da análise exergética na avaliação ecológica de um sistema econômico é jogar um rol diferenciado na identificação da capacidade de suporte do sistema e o impacto ambiental do funcionamento da economia.

Depois do estudo pioneiro de Reistad (1975), análises similares foram feitas para, o Canadá (Rosen, 1992), o Brasil (Schaeffer e Wirtshafter, 1992), a Turquia (Ilerí e Gurer, 1998), a Noruega (Ertesvag e Mielnik, 2000; Ertesvag, 2005), a China (Chen e Chen, 2006a, 2006b). Em outros estudos, a exergia de todos os fluxos de energia e materiais foi contabilizada. Por exemplo, as conversões de exergia foram estudadas para Suécia (Wall, 1987), para o Japão (Wall, 1990) e para a Itália (Wall et al., 1994). Nakicenovic et al. (1996), estudou as conversões de exergia a nível global.

Wall (1977) delineou as idéias base para incorporar o conceito de exergia à contabilidade de recursos naturais. Nesse trabalho, o uso de recursos energéticos e naturais na sociedade humana foi abordado em termos exergéticos, e análise exergética foi sugerida como um método para calcular o uso de exergia total de um produto ou serviço. Wall (1993) propôs uma taxa exergética baseada na exergia dos depósitos usados e exergia de emissões ao meio ambiente. Ayres e Martinàs (1995) indicam que no caso de resíduos ou desperdícios, a exergia pode ser considerada como o potencial para fazer dano ao meio ambiente devido às reações indesejáveis e incontroláveis que liberam seus componentes ao meio ambiente. Szargut (1997) sugeriu que “o índice de consumo acumulativo”, definida como a perda de exergia de recursos depositados, pode ser redefinido como um índice de custos ecológicos.

Finnveden e Ostlund (1997) introduziram as exergias de recursos naturais na metodologia de avaliação do ciclo de vida ambiental. Outros autores propuseram o método chamado Análise Exergética do Ciclo de Vida (LCEA) que incorpora uma diferenciação entre recursos renováveis e não renováveis, assim como, o total de fluxos de exergia de entrada e saída durante o ciclo de vida de um produto (Gong e Wall, 1997). Rosen e Dincer (1999) aplicaram análise exergética para estudar as emissões. Eles concluíram que a exergia pode fazer uma contribuição substancial à avaliação de problemas ambientais.

O método de Contabilidade Exergética Estendida foi introduzido por Sciubba (2000). Este método, também atribui valor exergético à mão de obra e aos fluxos monetários dentro do sistema. Steinborn e Svirezhev (2000) propuseram o uso da entropia como um indicador de sustentabilidade em agroecossistemas. Finalmente, Baloccoa et al. (2004) propõem o uso de um índice termodinâmico, eficiência exergética da construção, para analisar a sustentabilidade de uma área urbana, baseado na exergia.

Destes trabalhos é obvio que o conceito de exergia está gradualmente sendo adotado como uma ferramenta útil no desenvolvimento e desenho de uma sociedade sustentável. A contabilidade exergética provê um caminho conveniente para unificar diferentes tipos de medida de energia e materiais e avaliar a qualidade dos recursos e sua degradação na conversão. Assim, o objetivo deste trabalho foi propor um método alternativo com base na análise exergética para avaliar a sustentabilidade de uma economia nacional, considerando o caso particular do Peru com dados do ano 2004.

5.2. FLUXOS EXERGÉTICOS EM UMA SOCIEDADE

O fluxo exergético através de uma sociedade (um país) pode ser descrita segundo a classificação seguinte: fluxos exergéticos naturais (principalmente insolação), fluxos exergéticos importados e exergia dos estoques locais (ver Fig. 5.1). A maior parte dos requerimentos exergéticos vem dos estoques de exergia terrestre (fundos e depósitos). A sociedade industrial só usa uma muita pequena parte do fluxo de exergia direta do sol, por exemplo, na agricultura e floresta. A limitada quantidade de estoques de exergia sobre um país está indicada por um tanque, que contem os fundos e os depósitos.

Segundo Wall e Gong (2001) os estoques podem se dividir em estoques dormidos ou depósitos (combustíveis fósseis, metais e minerais) e estoques vivos ou fundos (florestas, represas de água, etc.). Fluxos naturais e fundos são renováveis, e depósitos são não renováveis. De uma perspectiva técnica e econômica só uma parte dos recursos são considerados como reservas. Das reservas, só uma parte pode ser considerada como reservas sustentáveis, isto é, a parte dos fluxos naturais e fundos que são considerados ecologicamente aceitáveis. Embora, depósitos não podem ser considerados como reservas sustentáveis.

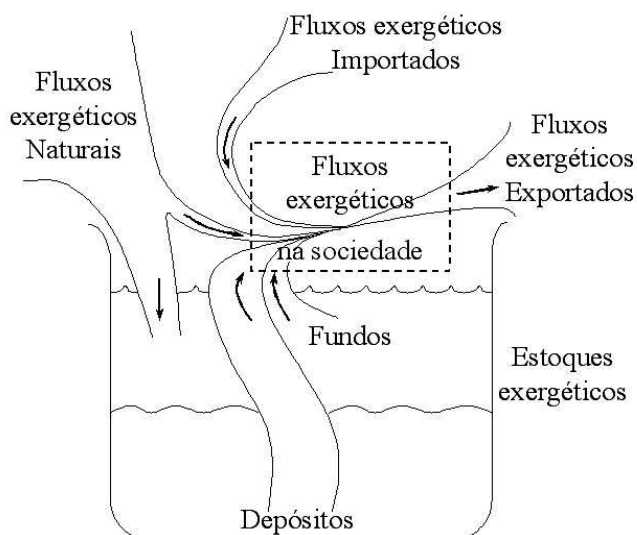


Figura 5.1. Fluxos exergéticos sobre um país (adaptado de Wall e Gong, 2001).

O uso presente dos recursos em sociedades industriais é obviamente insustentável, pelo menos para um tempo muito longo. A situação pode ser comparada a uma colônia de leveduras (consumidores) vivendo com substrato limitado (recursos). A população pode se incrementar exponencialmente para um período pequeno, mas uma vez atingido os limites de sobrevivência permitidos, o sistema chega ao colapso e o suporte da vida é arruinado. Embora, a situação para sistemas econômicos industriais é ainda mais perigosa, já que estamos também dispersando enormes quantidades de tóxicos e substâncias exóticas no ambiente.

5.3. METODOLOGIA

5.3.1. Breve descrição do Sistema sob análise

Para fazer uma análise deste tipo é preciso conhecer profundamente o sistema. Devem-se demarcar os limites onde a avaliação será feita. Detalhes do sistema sob análise podem ser encontrados no capítulo 2 desta tese. A demarcação dos limites sob análise é feita a continuação.

5.3.2. Demarcação do volume de controle

Devido à conveniência da disponibilidade de dados estatísticos nacionais, neste trabalho foi escolhida a fronteira do Peru como o volume de controle do sistema sob análise.

Para uma melhor análise dos dados, o sistema foi dividido em dois sob volumes de controle: econômico e ecossistêmico. O econômico (na Figura 5.2 com linhas a traço) nos permite avaliar a eficiência exergética e sustentabilidade econômica. As entradas à economia estão dadas pelos recursos renováveis (R) e não renováveis (N), bens e serviços que são importados (I) e os fluxos monetários produto das exportações (\$E). Os fluxos de saída da economia correspondem aos produtos e serviços que são exportados (E) e o dinheiro pago pelas importações (\$I). O ecossistêmico (na figura 2 com linha completa) permite avaliar a eficiência exergética ecossistêmica. As entradas ao ecossistema estão dadas pelos recursos naturais renováveis (RN), bens e serviços importados (I) e os fluxos monetários produto das exportações (\$E). Os fluxos de saída são os mesmos que para o sistema econômico. Todos estes fluxos foram contabilizados em unidades exergéticas.

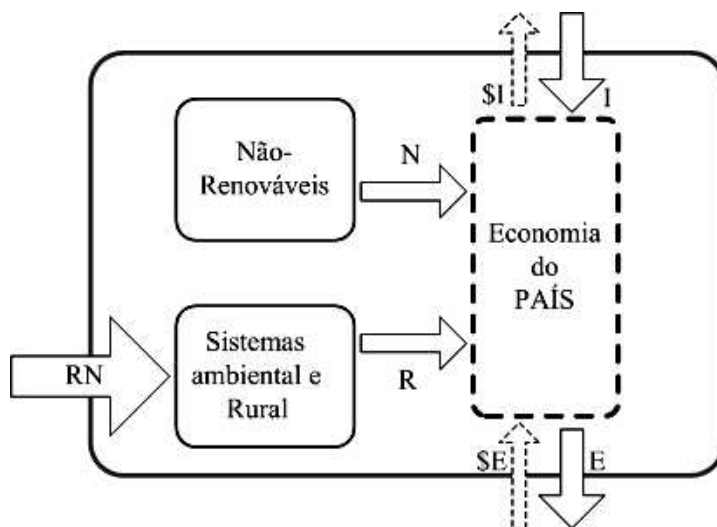


Figura 5.2. Fluxos exergéticos das entradas e saídas em um sistema nacional.

5.3.3. O método exergético

Exergia para um sistema dado é definido como a máxima quantidade de trabalho que pode ser extraído de um sistema no processo de atingir o equilíbrio com seu ambiente local,

escolhendo ter um rolamento direto sobre o comportamento do sistema com respeito a escalas de tempo e comprimento, dependendo dos objetivos e conhecimentos observados (Wall, 1977; Chen, 2006a) isto é,

$$E_x = T_0 (S_{eq}^{tot} - S^{tot}) \quad \text{Equação 5.1}$$

onde T_0 é a temperatura do meio ambiente, S_{eq}^{tot} e S^{tot} são as entropias em equilíbrio termodinâmico e a um dado desvio do equilíbrio, respectivamente, do sistema local como uma combinação do sistema específico e seu ambiente local.

O conteúdo exergético dos diferentes recursos materiais e energéticos foi representado em detalhe por Wall (1977). A exergia química, de substâncias e materiais, está dada pela seguinte equação:

$$E_x = \sum_i n_i (\mu_i - \mu_{i0}) + RT_0 \sum_i n_i \ln \frac{c_i}{c_{i0}} \quad \text{Equação 5.2}$$

onde n_i é o i -ésimo número de moles μ_i é o potencial químico da substância i no seu estado atual, μ_{i0} é o potencial químico da substância i no seu estado meio ambiental, c_i é a concentração química da substância i no seu estado atual e c_{i0} é a concentração química da substância i no seu estado meio ambiental. Assim, as magnitudes da exergia de um sistema dependem dos estados do sistema e o meio ambiente.

No caso de recursos da economia, a exergia representa o trabalho físico máximo que pode ser extraído quando eles se interligam com seu meio ambiente. O trabalho de Hermann (2006) serviu de referência para quantificar os recursos renováveis e não renováveis no sistema avaliado.

Para energia mecânica e elétrica, o conteúdo exergético foi considerado igual a o seu conteúdo energético (Wall, 1993). A exergia de combustíveis químicos foi baseada em expressões e dados publicados por Kotas (1995). Estes e outros trabalhos têm calculado fatores exergéticos (exergia dividida por energia) que facilitam o cálculo da exergia dos fluxos para um país ou sistema econômico (Anexo 2). Estes fatores exergéticos estão baseados em valores de aquecimento mínimos, os quais são quantidades usadas em estatísticas energéticas. Os cálculos da exergia química foram similares ao estudo de Chen e Chen (2006a).

A exergia química de metais e minerais foram estabelecidas segundo Wall (1998), entretanto o conteúdo exergético de madeira industrial foi tomado do estudo de Ertesvag e Mielnik (2000). Para alimentos, o conteúdo exergético foi estabelecido igual à energia do nutriente principal, devido à falta de modelos mais apropriados.

O consumo de qualquer recurso foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Consumo} = \text{Produção} + \text{Importação} - \text{Exportação}$$

Equação 5.3

Foi usada a proposta de Sciubba (2001) para determinar o valor exergético dos fluxos monetários (serviços em importações ou exportações, turismo, etc.):

$$E_C = C * \frac{E_{IN}}{C_{REF}}$$

Equação 5.4

Onde C é o fluxo monetário (dólares ou moeda significativa), E_{IN} é o fluxo exergético total de entrada e C_{REF} é a quantidade monetária de referência. Neste trabalho, adotou-se o a liquidez do sistema econômico analisado para o ano 2004 como sendo de 22706 milhões de dólares (MEF, 2005).

Na parte final deste trabalho, propuseram-se indicadores exergéticos que permitiu avaliar o desempenho do sistema. Tomando como referência a nomenclatura da Figura 5.2, estes indicadores são os seguintes:

Eficiência econômica:

$$\varepsilon_P = \frac{E + \$I}{R + N + I + \$E} \times 100$$

Equação 5.5

Eficiência ecossistêmica:

$$\varepsilon_T = \frac{E + \$I}{RN + I + \$E} \times 100$$

Equação 5.6

Índice de Renovabilidade Exergética:

$$RENEX = \frac{R}{R + N + I + \$E} \times 100 \quad \text{Equação 5.7}$$

Eficiência de Conversão Ambiental/Rural

$$\varepsilon_R = \frac{R}{RN} \times 100 \quad \text{Equação 5.8}$$

Irreversibilidades (*Irrev*)

$$Irrev_E = Exergia_{saída} - Exergia_{entrada} \quad \text{Equação 5.9}$$

Irreversibilidade per capita

$$Irrev_{PC} = \frac{Irrev_E}{População} \quad \text{Equação 5.10}$$

5.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maioria dos trabalhos com aplicação da análise exergética para países foram feitos para analisar o sistema dividido em setores econômicos. Mas, esta divisão não é adequada para analisar a sustentabilidade de um país. A nossa análise foi feita dividindo o sistema segundo o tipo de recurso. Assim, neste trabalho, os resultados dos fluxos exergéticos apresentam-se divididos em 5 grupos de recursos: renováveis naturais, renováveis locais, não renováveis, importados e exportados. As tabelas dos resultados mostram uma “Nota” que indica o número no Apêndice 1 desta tese onde podem ser encontrados os cálculos feitos para cada valor da coluna “Massa” e “Energia”. As contribuições da coluna “Exergia” foram obtidas usando fatores de conversão do Anexo 3.

5.4.1. Exergia dos recursos renováveis naturais

O Peru não tem usinas de energia nuclear. As energias do vento, das ondas, das marés e geotérmica têm contribuições ínfimas e não são contabilizadas nas estatísticas nacionais.

A mesma situação ocorre com o aquecimento solar ativo. A energia solar passiva (através de janelas e paredes) não foi incluída no estudo, já que esta energia é muito difícil de quantificar, e a distinção em relação ao clima natural não é evidente. Na Tabela 5.1 mostra a energia e exergia que potencialmente poderiam se utilizar no sistema como suprimento energético.

Tabela 5.1. Energia e Exergia dos Recursos renováveis naturais do Peru (2004).

Nota	Item	Massa (g)	Energia (J)	Exergia (J)
1	Energia solar		8,28E+21	7,70E+21
2	Chuva, energia química	1,20E+18	3,87E+18	5,87E+18
3	Chuva, energia potencial	1,20E+18	2,11E+18	2,11E+18
4	Vento, energia cinética		4,61E+18	4,61E+18
5	Energia das ondas		6,09E+17	4,17E+18
6	Energia das marés		3,38E+18	9,23E+15
7	Energia geotérmica		1,08E+19	8,67E+18
TOTAL		1,20E+18	8,31E+21	7,73E+21

O único recurso renovável energético que está sendo aproveitado significativamente no sistema é a chuva, cujo valor exergético alcança 7978 PJ ($5,87 \times 10^{18}$ J + $2,11 \times 10^{18}$ J). Este recurso não é quantificado nas estatísticas econômicas, mas é considerada nos cálculos do potencial hidroenergético (recurso renovável local) do país. A exergia da chuva representa aproximadamente 0,1% da exergia total calculada para o sistema (7728 EJ). A energia solar (7703 EJ de exergia) é o recurso com maior exergia que entra ao sistema (99,7% do total), mas só uma quantidade muito pequena é usada na produção agrícola e florestal. Isto significa que aproximadamente 99% da exergia potencialmente utilizável (sol, vento, chuva, ondas, marés e geotérmica) não são aproveitados no sistema.

5.4.2. Exergia dos recursos renováveis locais

Na Tabela 5.2 os recursos renováveis locais do Peru são mostrados em unidades de massa, energia e exergia. O principal recurso renovável é a produção agrícola, aportando 82% da exergia total deste grupo de recursos.

Tabela 5.2. Energia e Exergia dos Recursos renováveis locais do Peru (2004).

Nota	Item	Massa (g)	Energia (J)	Exergia (J)
8	Hidroeletricidade		6,51E+16	6,51E+16
9	Produção Agrícola	2,14E+13	3,59E+17	4,54E+17
10	Produção pecuária	1,97E+12	1,03E+16	3,54E+16
TOTAL		2,34E+13	4,34E+17	5,54E+17

No campo de suprimento energético, o Peru está em uma situação privilegiada. Montanhas muito altas na cordilheira dos Andes provêm grande quantidade de hidropotência, mas que não está sendo aproveitada com a devida intensidade. Segundo MINEM (2005), o Peru está utilizando apenas o 5% de seu potencial hidroelétrico (65,1 PJ, Tabela 5.2), valor baixo se comparamos com outros países como o caso do Brasil que usa aproximadamente 28% de seu potencial (ANEEL, 2002). A exergia dos combustíveis renováveis locais (hidroeletricidade e energia da lenha) foi calculada em 140 PJ.

5.4.3. Exergia dos recursos não renováveis

A produção pesqueira e a extração florestal, considerados na maioria das análises como recursos renováveis (biomassa), estão sendo considerados neste trabalho como recursos não renováveis (Tabela 5.3). Esta inclusão foi baseada no estudo de Pascó-Font (1999) que analisou estes setores. Considerou-se a premissa:

“Se a velocidade de consumo de recursos ecológicos excede a velocidade de geração dos mesmos recursos, aqueles se convertem em não renováveis”.

O fornecimento doméstico de petróleo, carvão e gás natural é listado também na Tabela 5.3. Estes combustíveis usados na economia nacional contribuem com 382 PJ de exergia, isto significa que 59% da exergia local não renovável que entra ao sistema econômico peruano são fornecidas por estes recursos. O petróleo resulta sendo o recurso não renovável mais importante utilizado na economia do Peru (48% do total não renovável). Isto indica que a economia do Peruano é dependente de recursos fósseis, e que a falta destes no seu sistema local, se importa do exterior (Tabela 5.4), mostrando assim, uma falta de políticas corretas de aproveitamento de seu grande potencial em recursos naturais renováveis.

Tabela 5.3. Energia e Exergia dos Recursos não renováveis usados no Peru (2004).

Nota	Item	Massa (g)	Energia (J)	Exergia (J)
11	Produção de lenha	5,39E+12	6,50E+16	7,47E+16
12	Produção Pesqueira	6,27E+12	3,28E+16	1,13E+17
13	Extração florestal	5,63E+12	6,78E+16	7,80E+16
14	Gás natural	7,68E+14	4,28E+16	4,45E+16
15	Petróleo	6,48E+12	2,96E+17	3,14E+17
16	Carvão	7,69E+11	2,23E+16	2,36E+16
17	Fertilizantes e calcário	2,74E+11	2,49E+15	2,58E+15
18	Metais	7,35E+11	3,53E+15	1,72E+15
TOTAL		7,94E+14	5,33E+17	6,52E+17

5.4.4. Exergia dos recursos importados

Na Tabela 5.4, pode-se observar que a importação dos combustíveis fósseis (186 PJ) e os serviços em importações (139 PJ) são os fluxos que mais exergia carregam, com um 38% e 29% do total importado, respectivamente.

Para o ano 2004, o Peru pagou pelas suas importações um valor CIF de 10 bilhões de dólares (MEF, 2005) equivalente a 537 PJ de exergia (com Equação 5.4). Este valor exergético é uma quantidade de exergia que saiu do sistema na forma de dinheiro.

Entretanto, o valor exergético calculado para o total das importações (486 PJ, Tabela 5.4) equivale à exergia que entrou ao sistema embutida nas mercancias e serviços importados. Assim, se pagou 11% a mais pelos produtos e serviços importados de seu verdadeiro valor.

O valor exergético dos metais importados é pequeno (1,5 PJ) comparado com a quantidade de exergia nos metais que são exportados (26,2 PJ), significando um déficit no comercio dos metais. Assim, mais exergia sai do sistema nas exportações de metais que do que entra pelas importações.

Tabela 5.4. Energia e Exergia dos Recursos importados ao Peru (2004).

Nota	Item	Massa (g)	Energia (J)	Exergia (J)
21	Combustíveis fósseis	5,85E+12	1,76E+17	1,86E+17
22	Metais	6,53E+11	3,14E+15	1,52E+15
23	Minerais	7,99E+11	7,28E+15	7,53E+15
24	Alimentos e prod. agrícolas	3,36E+12	4,92E+16	6,23E+16
25	Pecuários, carne, peixes	9,02E+10	4,15E+14	1,43E+15
26	Plástico e borracha	5,68E+11	1,70E+16	1,84E+16
27	Químicos	5,30E+11	5,72E+14	9,38E+14
28	Materiais finais	5,52E+11	6,47E+15	9,66E+15
29	Maquinaria e equipamento	2,86E+11	2,11E+15	1,93E+15
30	Serviços em importações			1,39E+17
31	Turismo			5,73E+16
TOTAL		1,27E+13	2,62E+17	4,86E+17

5.4.5. Exergia dos recursos exportados

O consumo exergético de combustíveis fósseis na economia peruana (petróleo, gás e carvão) equivale a 531 PJ, dos quais 72% são produzidos no sistema (382 PJ), 35% importados (186 PJ) e 7% exportados (37,3 PJ).

Para o ano 2004, o Peru recebeu pelas suas exportações um valor FOB de 12.370.096.578 dólares (MEF, 2005) que equivale a 657 PJ de exergia que ingressou ao sistema em forma de dinheiro. Entretanto, o valor exergético calculado para o total das exportações (235 PJ, Tabela 5.5) equivale à exergia que saiu do sistema embutida nos produtos e serviços exportados. Assim, se recebeu 180% acima de seu verdadeiro valor, pelas mercancias e serviços exportados.

Análises similares feitas com base na massa ou energia não permitem valorar estes fluxos monetários. Por outro lado, análises feitas com base na moeda não permitem valorar os recursos renováveis (sol, chuva, etc.). Análises com base na exergia e energia, permitem valorar todos estes fluxos.

Tabela 5.5. Energia e Exergia dos Recursos exportados do Peru (2004).

Nota	Item	Massa (g)	Energia (J)	Exergia (J)
32	Alimentos e produtos agrícolas	8,23E+11	1,21E+16	1,53E+16
33	Pecuários, carne, peixe	2,40E+12	1,38E+16	4,75E+16
34	Materiais finais	2,34E+11	3,43E+15	4,10E+15
35	Combustíveis fósseis	2,92E+12	3,52E+16	3,73E+16
36	Metais	1,12E+13	5,39E+16	2,62E+16
37	Minerais	1,43E+12	1,30E+16	1,34E+16
38	Químicos	6,15E+11	9,00E+15	1,09E+15
39	Maquinaria e equipo de transp.	3,80E+10	2,81E+14	2,56E+14
40	Plásticos e borrachas	1,83E+10	5,50E+14	5,95E+14
41	Serviços em exportações			8,92E+16
TOTAL		1,97E+13	1,41E+17	2,35E+17

Algo importante de ressaltar em relação às exportações é o fato do país ser exportador de matérias primas e não exportador de materiais finais. Em unidades exergéticas, 37% de suas exportações são matérias primas (produtos agrícolas, pecuários e metais) e somente 2% correspondem a materiais finais. O Peru desenvolveria sua economia, se os recursos naturais permanecessem no país, ou acrescentar valor agregado aos produtos brutos que são exportados.

5.4.6. Balanço e indicadores exergéticos

Na Figura 5.3, pode-se observar o balanço exergético da sociedade analisada. À economia do Peru ingressam 121 PJ nos seus recursos locais e 114 PJ são importados de outros países. No total ingressam 235 PJ. Com os produtos, serviços e dinheiro que são exportados 772 PJ. Isso dá uma eficiência exergética da economia do Peru (ϵ_p) de aproximadamente 33%. Assim, se demonstrou que na sociedade Peruana há uma perda de exergia (Wall e Gong, 2001), neste caso de aproximadamente 67%.

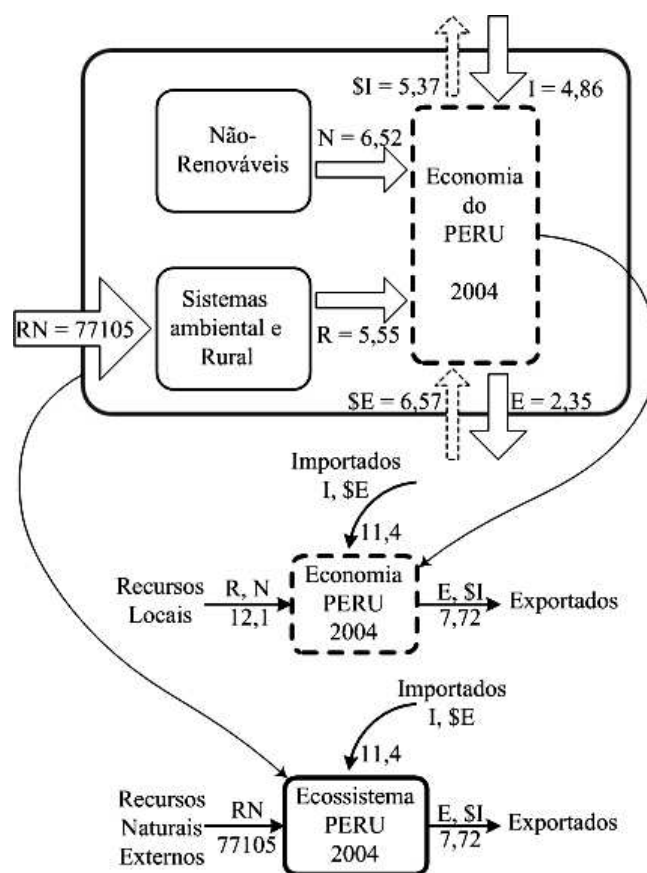


Figura 5.3. Balanço exergético do Peru, ano 2004 (em E+17 J/ano)

Todos os trabalhos revisados que avaliam a economia de um país do ponto de vista exergético, desde Reistad (1975) até Chen e Chen (2006a), têm utilizado a eficiência exergética como um indicador do nível de degradação da energia. Para o caso do Peru as irreversibilidades, degradação ou perdas de exergia são de aproximadamente 67% que equivale a 1,8 kW por habitante (Tabela 5.6). Mas este indicador, segundo nosso ponto de

vista, não é suficiente para dizer se o sistema é sustentável ou não. Para complementar este valor, nós propomos neste trabalho o cálculo da Renovabilidade Exergética (RENEX), com base na seguinte premissa emergética: “a sustentabilidade de uma economia é uma função da dependência dessa economia em energia renovável local, o grau de dependência da economia de energia importada, e a carga total da atividade econômica no ambiente” (Brown e Ulgiati, 1997). Como a energia e a exergia são teorias compatíveis e não excludentes (Sciudda e Ulgiati, 2005) fazemos uso daquela premissa para propor o cálculo da Renovabilidade Exergética (RENEX).

Para o Peru, se calculou uma RENEX igual a 24% (usando a Eq. 5.7), que indica que do total de exergia que entra ao sistema econômico o 24% pertence a recursos renováveis locais.

Por outro lado, a eficiência ecossistêmica resultou ser muito pequena, 0,01% (Tabela 5.6). Sendo que ingressam ao ecossistema 7.712 EJ (RN+I+\$E) e saem 772 PJ, existe uma perda exergética de 99,99%. A maior quantidade de exergia perdida é a que provêm do sol (aproximadamente 91%).

Tabela 5.6. Indicadores de eficiência e sustentabilidade exergética para o Peru (2004).

Indicador	Unidade	Valor
Eficiência do sistema econômico (ϵ_p)	%	32,9
Eficiência ecossistêmica (ϵ_T)	%	0,01
Índice de renovabilidade exergética (RENEX)	%	23,61
Irreversibilidades na economia ($Irrev_E$)	GW	50,2
Irreversibilidade per capitã ($Irrev_{pc}$)	KW/cap	1,8

A leitura em conjunto de dois indicadores, a renovabilidade exergética (RENEX) e a eficiência exergética da economia (ϵ_p) colocam o Peru dentro dos países sustentáveis do planeta segundo nosso argumento. Para explicar esta afirmação, é necessário usar um diagrama RENEX versus ϵ_p como o mostrado na Figura 5.4, onde se podem distinguir quatro zonas: I, II, III e IV.

Zona I: Nesta zona serão colocados os países em que, aplicado o método proposto, alcancem baixa eficiência e baixa renovabilidade. Estes países serão denominados “insustentáveis e ineficientes”.

Zona II: Nesta zona aparecerão os países que alcancem altas eficiências, mas baixas renovabilidades. Estes países serão denominados “eficientes, mas insustentáveis”.

Zona III: Nesta zona aparecerão os países que alcancem baixas eficiências, mas altas renovabilidades. Estes países serão denominados “sustentáveis, mas ineficientes”.

Zona IV: Nesta zona aparecerão os países que alcancem altas eficiências e altas renovabilidades. Estes países serão denominados “sustentáveis e eficientes”.

Estudos de aplicação da análise exergética em países indicam que uma eficiência exergética maior a 20% é indispensável para que o sistema seja considerado de alta eficiência. Por outro lado, em concordância com análise emergética, uma renovabilidade exergética maior a 20% é indispensável para considerar o sistema como sustentável no longo prazo.

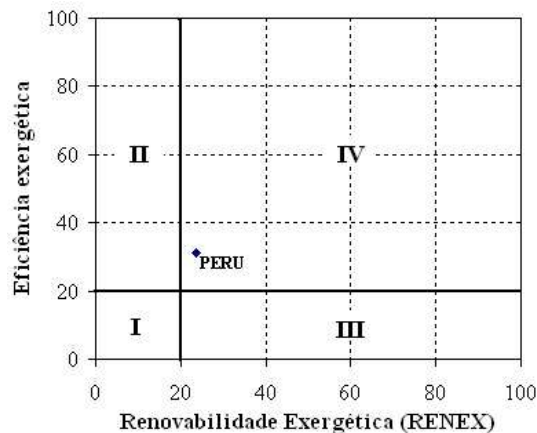


Figura 5.4. Sustentabilidade de uma economia nacional com base na análise exergética.

Apesar do Peru se encontrar na zona IV (zona de alta eficiência e alta renovabilidade), está perto das zonas I, II e III. Isto significa que as políticas de gestão e manejo de recursos deveriam ser melhoradas e redesenhadas considerando aspectos de desenvolvimento sustentável. Caso contrário, a situação de sustentabilidade calculada para o ano 2004, pode se converter em uma situação de insustentabilidade para anos subsequentes.

5.5. CONCLUSÕES

A entrada de exergia à economia do Peru foi 2350 PJ ou 84 GJ per capita. A saída de produtos e serviços continha 772 PJ de exergia ou 28 GJ per capita, com uma eficiência exergética ao sistema econômico peruano de 33%. Estes valores indicam um bom aproveitamento da energia disponível que ingressa ao sistema, embora o aproveitamento ecossistêmico (considerando o sol e a chuva como entradas ao sistema) resulta de 0,01%.

Por outro lado, Foi proposto e calculado o índice Renovabilidade Exergética (RENEX = 24%). A leitura deste indicador, junto com a eficiência exergética, indica que o sistema econômico peruano pode ser considerado como eficiente e sustentável, mas com perigo de se converter em insustentável e ineficiente se suas políticas de manejo e gestão de seus recursos locais (renováveis e não renováveis) não são devidamente planejadas, sob a perspectiva sustentável.

A análise exergética do sistema por tipo de recursos, resulta importante, primeiro porque permite calcular a RENEX como um indicador de sustentabilidade, e segundo porque permite dar uma leitura do que está passando exergéticamente no sistema sob a perspectiva macro.

O Peru desenvolveria sua economia, dentro do caminho sustentável, se os recursos naturais permanecessem no país ou dando maior valor agregado a seus produtos brutos que são exportados. Assim a energia disponível dos recursos seria usada e menos exergia seria exportada. Isto aumentaria a eficiência exergética da economia peruana e sua sustentabilidade.

5.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. 2002. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, Brasília.
- Ayres, R.U. Ayres, L.W., Warr, B. 2003. Exergy, power and work in the US economy, 1900–1998. *Energy* 28 (2003) 219–273.
- Ayres, R.U., Martinàs, K. 1995. Waste potential entropy: The ultimate exotoxic?. *Economie Appliquée*, 48(2):95-120.
- Azar, C., Holmberg, J., Lindgren, K. 1996. Socio-ecological indicators for sustainability. *Ecol. Econ.* 18, 89–112.
- Baloccoa, C., Papeschib, S., Grazzinia, G., Basosib, R. 2004. Using exergy to analyze the sustainability of an urban area. *Ecol. Econ.* 48, 231–244.
- Barrera, R.A., Saldívar, V.A. 2002. Proposal and application of a Sustainable Development Index. *Ecol. Indic.* 2, 251–256.
- BCRP - Banco Central de Reserva del Perú. 2004. Internet Home Page: www.bcrp.gob.pe.
- BRACK, E. A.; Mendiola, C. 2000. *Ecología del Perú*; V Edición; PNUD; Editorial Bruño; Lima – Peru.
- Brown, M.T., Ulgiati, S. 1997. Exergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecol. Eng.* 9, 51–69.
- Chen, B., Chen, G.Q. 2006a. Exergy analysis for resource conversion of the Chinese Society 1993 under the material product system. *Energy*, 31, 1115-1150.
- Chen, B., Chen, G.Q. 2006b. Modified ecological footprint accounting and analysis based on embodied exergy - a case study of the Chinese society 1981-2001. *Ecol. Econ.* In press.
- Ertesvag, I.S., Mielnik, M. 2000. Exergy analysis of the Norwegian society. *Energy*, 25, 957-973.
- Ertesvag, I.S. 2005. Energy, exergy, and extended-exergy analysis of the Norwegian society 2000. *Energy*, 30, 649-675.
- Finnveden, G., Ostlund, P. 1997. Exergies of natural resources in life-cycle assessment and other applications. *Energy*, 22(9), 923-931.
- Gilbert, J.A., Feenstra, F.J., 1994. A sustainability indicator for the Dutch environmental policy theme ‘Diffusion’: cadmium accumulation in soil. *Ecol. Econ.* 9, 253–265.
- Gong, M., Wall, G. 1997. On exergetics, economics and optimization of technical processes to meet environmental conditions. In: TAIES’97, June 10-13 1997, Beijing, China, Ruixian Cai et al. (Eds.). *Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy Systems*. Beijing World, 453-460.
- Hermann. 2006. Quantifying global exergy resources. *Energy*, 31(12), 1349-1366.
- Holdrige, L. 1957. Determination of world plant formations from simple climatic data; *Science* 105 (2727), 367-368. IFIAS (International Federation of Institutes of Advanced Study). 1974. *Energy Analysis*. Workshop reports (Report 6) and *Energy analysis and Economics* (Report 9).
- INEI, 2005. Avance coyuntural de la actividad económica. Instituto de Estadística e Informática del Perú.
- Ilerí, A., Gurer, T. 1998. Energy and exergy utilisation in Turkey during 1995. *Energy*, 23(12), 1099-1106.

- Kotas, T.J. 1995. The exergy method of power plant analysis. 2nd ed. Malabar, FL: Krieger.
- Krotscheck, C., Narodoslowsky, M. 1996. The Sustainable Process Index, a new dimension in ecological evaluation. *Ecol. Eng.* 6, 241–258.
- MEF. 2005. Estadísticas Económicas. Ministerio de economía y Finanzas. Disponível em: http://www.mef.gob.pe/propuesta/OFINE/estadistica_economica.php
- Mendoza, O. 1996. Abisco: Patrimonio Mundial em Emergencia; II Edição; Moyobamba; Peru.
- MINAG, 2004. Estadística Agraria Mensual, Febrero 2005. Ministerio de Agricultura del Perú. 173 pp.
- MINCETUR, 2004. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Peru. Disponível em: <http://www.mincetur.gob.pe/>.
- MINEM, 2005. Balance Nacional de Energia. Ministerio de Energia y Minas del Perú. 184 pp.
- Moser, A., 1996. Ecotechnology in industrial practice: implementation using sustainability indices and case Studies. *Ecol. Eng.* 7, 117–138.
- Nakicenovic, N., Gilli, P.V., Kurz, R. 1996. Regional and global exergy and energy efficiencies. *Energy*, 21, 223-237.
- Nilsson, J., Bergström, S. 1995. Indicators for the assessment of ecological and economic consequences of municipal policies for resource use. *Ecol. Econ.* 14, 175–184.
- Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting, Emery and Decision Making. J. Wiley, NY.
- OSINERG. 2004. Anuario Estadístico 2004. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía del Perú.
- Pascó-Font, A. 1999. Desarrollo Sustentable del Perú. Editorial Valenzuela. Agenda: Peru. 118pp.
- Pearse, W.D., Atkinson, D.G. 1993. Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability. *Ecol. Econ.* 8, 103-108.
- Rees, W. 1992. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economies leaves out. *Environ. Urban.* 4, 121–130.
- Reistad, G.M. 1975. Available energy conversion and utilization in the United States. *ASME J Eng Power* 97, 429 – 434.
- Rosen, M.A. 1992. Evaluation of energy utilization efficiency in Canada using energy and exergy analyses. *Energy* 17, 339-350.
- Rosen, M.A., Dincer, I. 1999. Exergy analysis of waste emissions. *Internat. J. Energy Res.* 23, 1153-1163.
- Samuel-Johnson, K., e Esty, D.C. 2000. Pilot Environmental Sustainability Index Report. World Economic Forum: Annual Meeting, Davos, Switzerland.
- Schaeffer, R., Wirtshafter, R.M. 1992. An exergy analysis for the Brazilian economy: from energy production to final energy use. *Energy* 17(9), 841-855.
- Sciubba, E. 2001. Beyond thermoeconomics? The concept of Extended Exergy Accounting and its application to the analysis and design of thermal systems. *Exergy Int J* 1(2), 68-84.
- Sciubba, E., Ulgiati, S. 2005. Emery and exergy analyses: Complementary methods or irreducible ideological options?. *Energy* 30, 1953-1988.
- Siche, J.R., Ortega, E., Romeiro, A., Agostinho, F.D.R. 2006. Sustainability of natos: comparative study of Environmental Sustainability Index, Ecological Footprint and Environmental Sustainability Emery. *Ecological Economics*. Submetido para publicação.

- Sollner, F. 1996. A reexamination of the role of thermodynamics for environmental economics. *Ecological Economic* 22, 175-201.
- Steinborn, W., Svirezhev, Y. 2000. Entropy as an indicator of sustainability in agro-ecosystems: North Germany case study. *Ecol. Model.* 133, 247–257.
- Stockhammer, E., Hochreiter, H., Obermayr, B., Steiner, K. 1997. The index of sustainable economic welfare (ISEW) as an alternative to GDP in measuring economic welfare. The results of the Austrian ISEW calculation 1955–1992. *Ecol. Econ.* 21, 19–34.
- Szargut, J. 1997. Depletion of unrestorable natural exergy resources. *Bull. Polish Acad. Sci. Technical Sci.* 45, 241-250.
- Wall, G. 1977. Exergy – a useful concept within resource accounting. Report No. 77-42, Institute of Theoretical Physics, Chalmers University of Technology and University of Goteborg, Sweden.
- Wall, G. 1987. Exergy conversion in the Swedish society. *Resources and Energy* 9, 55-73.
- Wall, G. 1990. Exergy conversion in the Japanese society. *Energy* 9(1), 55-73.
- Wall, G. 1993. Exergy, ecology and democracy – concepts of vital society. In: Szargut, J. et al. (Eds.), ENSEC'93 International Conference on Energy Systems and Ecology, 5 – 9 July 1993. Krakow, Poland, pp. 111-121. In: <http://www.exergy.se/goran/eed/index.html>.
- Wall, G., Sciubba, E., Naso, V. 1994. Exergy use in the Italian society. *Energy* 19, 1267-1274.
- Wall, G. 1998. Exergetics. In: <http://www.exergy.se/>
- Wall, G., Gong, M. 2001. On exergy and sustainable development – Part 1: conditions and concepts. *Exergy Int J.* 1(3), 128-145.

CAPÍTULO VI:
ANÁLISE EMERGÉTICA DO PERU

RESUMO

Neste capítulo, o Método Emergético foi utilizado para analisar o sistema ecológico – econômico Peruano. Os fluxos de materiais e energia foram convertidos a energia solar. O desempenho ecológico do sistema Peruano foi avaliado através de índices baseados na energia. Os principais indicadores calculados foram os seguintes: (a) Taxa Energia/USD = $1,21 \text{ E}+13 \text{ seJ/dólar}$; Razão de Rendimento Emergético (EYR) = 9,42; e a Razão de Carga Ambiental (ELR) = 1,70; que combinados dão o Índice de Sustentabilidade Emergética (EmSI) = 5,53. Com a finalidade de obter uma medida geral de sustentabilidade ecológica, a Renovabilidade (REN) também foi calculada: REN = 0,37. Estes valores, como também outros dados mostrados neste capítulo, indicam que o sistema Peruano incorpora uma grande quantidade de energias renováveis naturais a sua economia, provocando uma baixa carga ambiental, mas o país exporta altas quantidades de matérias primas, metais principalmente, para o desenvolvimento de outras economias.

6.1. INTRODUÇÃO

Pode-se considerar que o desenvolvimento insustentável que vivemos se deve, em parte, a uma falta de consciência da origem, qualidade e quantidade de energia que usamos, e ao desconhecimento das interligações entre os diversos subsistemas produtivos com fontes de energia disponíveis. É evidente a inadequação dos atuais projetos de desenvolvimento, produtos, organizações sociais e valores, em relação aos recursos renováveis.

As metodologias baseadas na teoria energética do valor tentam inserir o aspecto energético na avaliação e valoração de sistemas econômicos e ecológicos. O raciocínio base destas análises é o “problema de com - mensuração”. Quando comparamos um joule de carvão e um joule da energia solar, rapidamente concluímos que estes têm qualidades diferentes de energia, ou ainda mais, quando comparamos uma tonelada de biomassa com um mega-litro de água atmosférica. A fim de resolver este problema, ecólogos e cientistas físicos propuseram a “teoria do valor da energia incorporada” (Odum, 1971; Odum e Odum, 1976; Slessor, 1973; Gilliland, 1975). É essencialmente uma teoria do valor baseada na termodinâmica de sistemas abertos, onde a energia é considerada ser a entrada primária

que dirige todos os sistemas econômicos e ecológicos. A qualidade da energia é sempre degradada em processos econômicos e ecológicos, e conseqüentemente a energia não pode ser “reutilizada” para obter a mesma quantidade de saída útil. Por este motivo, os ecólogos consideram a “energia solar” ser o “numeraire¹²” apropriado na formulação da teoria do valor energética. Odum (1996) formulou vários modelos sistêmicos que demonstram explicitamente como os fluxos de energia de corrente contrária ao dinheiro fornecem as bases para toda atividade econômica. Usando estes modelos teóricos ele derivou uma série de transformidades ou fatores de qualidade de vários produtos da economia.

Hoje, a Análise Emergética esta sendo usada como uma metodologia de contabilidade ambiental e para avaliações da sustentabilidade ecológica. Nesta análise é essencial converter todos os tipos de energias a uma unidade comum antes de agregá-los devido a que a habilidade de fazer trabalho pode ser diferente para cada tipo de energia. Assim, um dos principais benefícios da Análise Emergética é que ela contabiliza, sobre a mesma base (emJoule solar, ou seJ), o trabalho da natureza e da atividade humana, permitindo a avaliação de recursos naturais renováveis e não renováveis, assim como, serviços ambientais de saída, normalmente considerados “livres”.

Energia solar ou “emergia” é a quantidade de energia solar usada diretamente ou indiretamente para fazer um produto ou serviço. Por outro lado, a taxa de emergia requerida para fazer um produto ou serviço à energia disponível de um produto ou serviço é definida como a “transformidade”. As unidade da transformidade são emJoule solar/Joule (seJ/J) ou emJoule solar/kg (seJ/kg). Enquanto maior é a transformidade, o item é situado mais acima na cadeia hierárquica da energia.

O conceito de emergia permite formular todos os fatores que contribuem na produção de bens e serviços em um denominador numérico comum: a energia de radiação solar equivalente ou necessária para o processo integral de produção (Odum, 1996). Assim, a metodologia emergética captura a memória energética de todos os fluxos de energia e materiais necessários aos processos, produtos ou serviços que caracterizam um sistema.

Neste capítulo, análise emergética foi utilizada para avaliar a sustentabilidade da economia do Peru com dados do ano 2004. Nosso objetivo principal foi analisar os recursos

¹² Unidade de medida base para um tipo de análise.

usados na economia do Peru através de indicadores emergéticos que nos forneçam uma leitura do desempenho ambiental e sustentabilidade do sistema.

6.2. EMERGIA E ECONOMIA

Dado que a emergia considera todas as contribuições da natureza e mede o valor verdadeiro dos produtos, este conceito é sugerido como uma medida completa da riqueza que poderia substituir à moeda (Odum, 1984). Além disso, Odum (1996) considera a transformidade de um produto como um indicador de utilidade econômica, sendo que a transformidade incrementa o nexo de transformação da energia ecológica e econômica.

Em uma análise do ponto de vista da engenharia de sistemas industriais, métodos baseados na termodinâmica (Seider et al., 1999; Bejan et al., 1996), são frequentemente usados junto com o critério de custos. Apesar de que a decisão final é baseada principalmente no critério econômico, métodos termodinâmicos são cruciais para coagir a procura espacial e para conduzir as decisões. No mesmo caminho, a análise emergética de sistemas industriais pode ser capaz de coexistir com a análise econômica, com a emergia fornecendo informação pelo lado da oferta e a economia capturando a demanda e valores humanos. Esta abordagem é muito preferida para conduzir decisões na direção de práticas mais sustentáveis e alcançar o desenvolvimento sustentável e preservação de recursos para o futuro.

6.3. PRINCÍPIO DA MÁXIMA EMPOTÊNCIA

Este princípio é um dos aspectos mais atrevidos da análise emergética. Tem sua origem nos trabalhos feitos por Boltzmann (1886) e Lotka (1922). O Princípio da Máxima Empotência sustenta que:

“Todos os sistemas se auto-organizam tendendo a maximizar sua taxa de emergia usada ou empotência” (Odum, 1988, 1996).

Isto significa que ecossistemas, sistemas terrestres, astronômicos, e possivelmente todos os sistemas, são organizados em hierarquias já que este desenho maximiza o

processamento de energia útil. Assim, este princípio pode determinar qual ou quais espécies, sistemas ou ecossistemas sobreviverão. Odum (1996) usa o termo “Hierarquia energética” para indicar que em todos os sistemas, uma grande quantidade de energia pode ser dissipada para produzir um produto de menor conteúdo de energia de uma qualidade¹³ maior. Na Figura 6.1 se ilustra claramente este conceito.

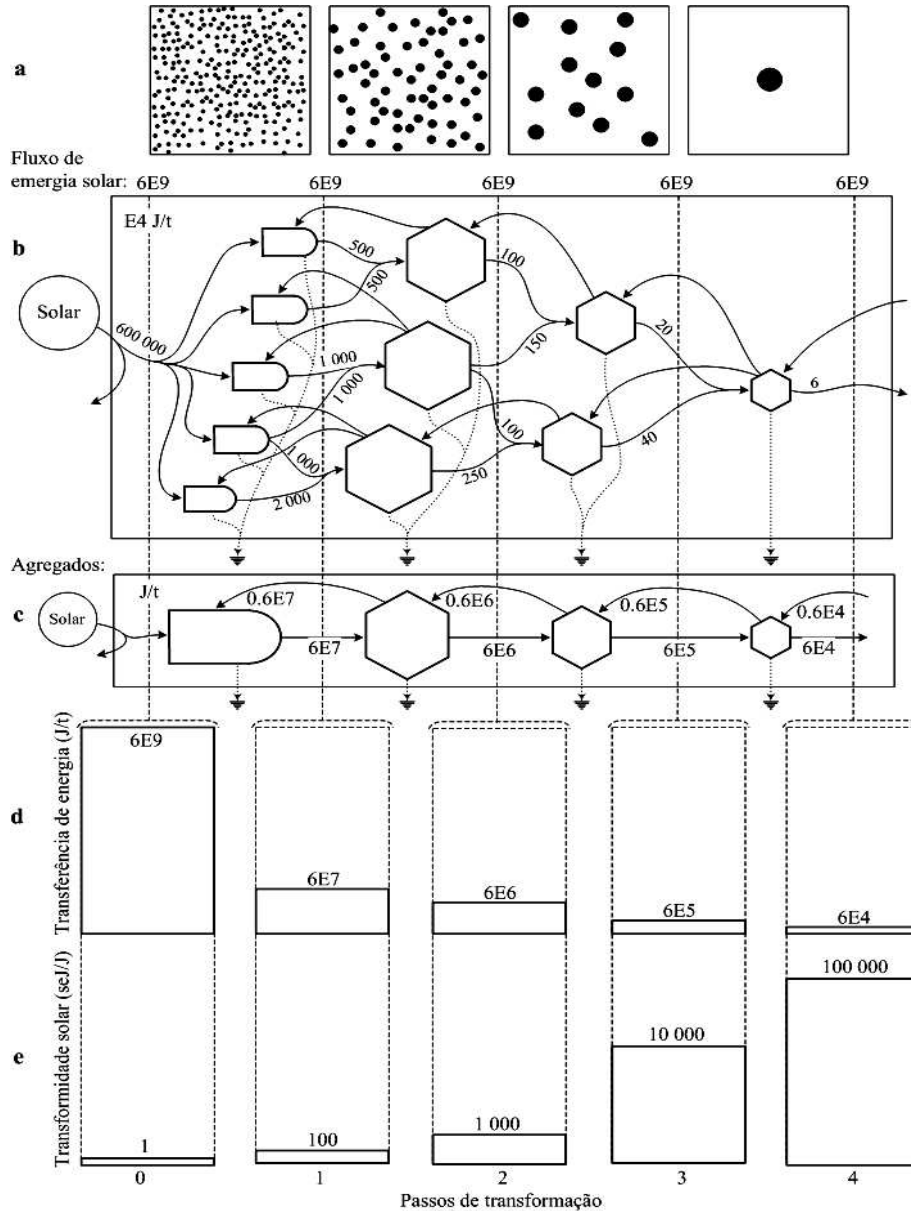


Figura 6.1. Hierarquia dos processos de transformação energética. (a) Vista espacial; (b) Fluxos energéticos incluindo transformações e retroalimentações; (c) Agregação dos fluxos energéticos em cadeias de transformação energética segundo sua posição hierárquica; (d) Fluxos de cada nível na hierarquia de energia; (e) Transformidade solar de cada nível na hierarquia.

¹³ A Qualidade da energia se refere à observação que energias de diferentes tipos variam em sua habilidade para fazer trabalho útil.

Observa-se que os processos de transformação energética têm uma ordem natural¹⁴ para que energias de diferentes qualidades possam ser agrupadas. Hall et al. (1986) define qualidade da energia como função da dificuldade de extração, onde aqueles recursos energéticos que são relativamente fáceis para extrair e processar são considerados ser de alta qualidade, e recursos difíceis de extrair e processar são de baixa qualidade. Odum (1973) usa uma noção similar da qualidade da energia, mas, depois Odum (1996) expande sua definição de qualidade da energia como sendo uma função da quantidade de energia previamente requerida para fazer um recurso.

O Princípio da Máxima Empotência parece ser uma das contribuições de Odum que pode ser adiantada a seu tempo. Achamos que este tema continuará sendo causa de exploração científica futura, até que seja cientificamente comprovado ou refutado. Resultados recentes sobre produção de máxima entropia em sistemas que se auto-organizam indicam que alguns sistemas tendem a maximizar sua potência (Lorenz, 2003; Dewar, 2003). Em adição Giannantoni (2003) propus a formulação matemática do Princípio da Máxima Empotência, o qual pode ser essencial para encaminhar questões acerca da validade deste princípio, e para fornecer uma demonstração geral.

Para aplicações em engenharia, concordantes ou discordantes com o Princípio da Máxima Empotência, análise emergética pode tranquilamente fornecer informação valiosa acerca da contribuição de ecossistemas a desenhos de engenharia e avaliações de sistemas industriais.

6.4. EMERGIA E OUTRAS QUANTIDADES TERMODINÂMICAS

Existe uma impressão de certa confusão acerca das relações entre emergia e outras propriedades termodinâmicas, como energia, exergia, entalpia, etc. A diferença qualitativa, é que ao contrario de emergia, outras quantidades termodinâmicas não reconhecem a qualidade de vários recursos energéticos. Um exemplo comum é que “um joule de energia solar não é equivalente a um joule de combustível fóssil” na percepção que eles não podem fazer o mesmo tipo de trabalho (Brown et al., 1995). Isto da impressão que análise

¹⁴ O conhecimento da “ordem hierárquica natural”, desenvolvido em sistemas se auto-organizando, conduz a intuir quais ecossistemas seria melhor gerenciar para que a empotência e benefício mutuo seja máxima para a sociedade e a natureza.

emergética é um “enfoque muito diferente” da análise exergética (Emblemsvag e Bras, 2001; Ayres, 1998) questionando-se o fato da energia ser contrária a necessitar “variáveis padrões da termodinâmica, ou seja, entalpia e exergia”.

Há também alguma confusão acerca da definição exata de energia disponível. Isto certamente não é energia livre de Gibbs porque não toda desta energia é disponível para o trabalho. Odum (1995) argumenta que nem energia disponível nem energia livre de Gibbs é exergia já que exergia é definida para incluir só fluxos de energia de qualidades similares, como de trabalho mecânico, enquanto energia disponível como definida na análise emergética também considera fluxos internos importantes (como serviços humanos) que requerem grandes fluxos de energia para se manter. Por outro lado, Odum (2000) e Campbell (2001) definem energia disponível na análise emergética como a exergia ou energia com potencial para fazer trabalho. Pesquisas de cálculos de transformidades indicam que energia disponível como usadas em energia e exergia podem possivelmente ser equivalentes. Por exemplo, para máquinas de calor a energia disponível do sistema é a mesma quanto exergia desde que seja obtido por multiplicação de seu conteúdo calórico ou fluxo pelo fator de Carnot (Odum, 1996). Os relacionamentos das transformidades de combustíveis podem ser facilmente justificados se energia disponível e exergia fossem equivalentes. Odum usa o calor de combustão para determinar energia disponível, o qual é mostrado ser aproximado à exergia para combustíveis (Szargut et al., 1988). Além disso, o uso de exergia justifica o porquê calor dissipado não carrega um valor emergético. Esta carência de vínculos formais entre energia e outras quantidades termodinâmicas é uma causa significativa do ceticismo acerca da energia entre as engenharias. Alguns esforços têm sido feitos para conectar energia com exergia (Ulgiati, 1999), por exemplo, Hau e Bakshi (2003) têm derivado o conceito de energia baseada em exergia como pontos de partida.

6.5. ANÁLISE EMERGÉTICA

Análise Emergética, como proposto por Odum (1996), esta sendo usada como uma metodologia para a contabilidade ambiental e para a avaliação da sustentabilidade ambiental, já que contabiliza o trabalho da natureza e da atividade humana, permitindo a

avaliação dos recursos naturais renováveis e não renováveis, assim como, serviços ambientais de saída, normalmente considerados “livres”.

Um dos principais benefícios da Análise Emergética é sua habilidade de converter todos os tipos de energias a uma unidade comum antes de combiná-los. Por conveniência, unidade de energia solar ou “emergia” é selecionada como a unidade comum, sendo definida como:

“... a quantidade de energia solar usada diretamente ou indiretamente para fazer um produto ou serviço. Emergia solar é medida em joules de emergia solar ou emJoule solar (seJ)”. Odum (1996)

6.5.1. Leis da termodinâmica

A **primeira lei da termodinâmica** afirma que a energia nem pode ser criada nem destruída, apenas convertida de uma forma a outra. Isto é, a entrada de energia em todos os processos econômicos e ecológicos deve igualar à energia que sai daqueles processos. Frequentemente, em sistemas contabilizados com a teoria neoclássica, algumas entradas (por exemplo, energia solar) e algumas saídas (por exemplo, calor de baixa temperatura) são ignorados sistematicamente, na violação da primeira lei da Termodinâmica. Em forma análoga, entradas e saídas de massa em processos ecológicos e econômicos devem ser sempre conservadas, de acordo com o exposto por Kneese et al. (1970). Os modelos Neoclássicos ignoram frequentemente o Princípio do Balanço de Materiais, não reconhecendo que o sistema econômico se alimenta de fluxos de materiais os quais são finitos e sempre se depositam dentro do ambiente ou se reciclam. Certamente, muitos poucos estudos econômicos - ambientais fazem explicitamente uso dos princípios do balanço de energia e materiais. O trabalho de Victor (1972) é uma das poucas exceções.

A **segunda lei da termodinâmica** diz que a energia útil (organizada) sempre se dissipa (aumento da entropia ou desordem) dentro de um sistema fechado. Costanza (1981) indica que a biosfera requer de entradas grandes de energia solar para governar a circulação de materiais através dos ciclos bio-geoquímicos, com entradas insignificantes de outras formas de energia ou de massa. Esta energia solar é eventualmente degradada de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica e irradiada como uma saída da biosfera na forma de

energia infravermelha - distante. Os sistemas econômicos, a nível micro e macro, são sistemas termodinâmicos abertos que extraem recursos naturais do ambiente e do calor, depositando poluentes e lixo no ambiente. Os sistemas econômicos são também sistemas abertos com respeito ao fluxo de produtos nas exportações e importações de outras economias. A fim de manter estruturas organizadas, como uma economia, se deve constantemente adicionar energia organizada de baixa entropia desde fora do sistema. Estimar o consumo da energia total para uma economia não é uma contagem direta, porque não todos os combustíveis são da mesma qualidade, já que eles variam em sua energia disponível, grau de organização, ou em habilidade para fazer trabalho. A eletricidade, por exemplo, é mais versátil e limpa do que o petróleo, e custa também mais energia para produzi-lo (3-5 kcal de petróleo são necessários para produzir uma kcal de eletricidade). Assim, adicionando energia nas várias formas de combustível consumido por uma economia sem conhecer sua qualidade pode desviar radicalmente o cálculo, especialmente se a mistura dos vários tipos de combustível estiver mudando no tempo. A “teoria energética do valor” supõe que, na escala global, a energia livre e disponível do sol (energia solar armazenada como combustível fóssil e o calor interno da terra) é a única entrada primária ao sistema (Costanza, 2004) . Alguns economistas neoclássicos criticaram esta teoria como tentativa de definir a independência do valor das preferências do consumidor (ver Heuttner, 1976). Apesar da controvérsia e do debate sobre a validade da teoria energética do valor (Brown e Herendeen, 1996), parece ser a única tentativa razoavelmente bem sucedida operacionalmente de uma teoria biofísica geral do valor (Patterson, 1998).

6.5.2. Indicadores emergéticos

6.5.2.1. Transformidade

A energia previamente usada (emergia) para fazer um produto ou serviço pela energia disponível (exergia) de um produto ou serviço é definida como a “transformidade”. Assim:

“Transformidade solar é a EMERGIA requerida para fazer (gerar) um joule ou uma quilograma de um produto ou serviço”. (Odum, 1996)

Se o tipo de energia é solar, então a unidade de transformidade solar é emjoule solar por Joule (seJ/J) ou emJoule solar/kg (seJ/kg). A transformidade pode ser usada como uma Razão de escalamento emergético para indicar a qualidade da energia e sua posição hierárquica (Odum, 1988). A maior transformidade, o item é situado mais acima na cadeia hierárquica da energia. Segundo Giannantoni (2002), uma entrada de alta transformidade pode contribuir com menos energia a um processo que uma entrada de baixa transformidade, mas a contribuição emergética total dos dois recursos pode ser similar quando ajustado pela qualidade da energia usando transformidades. Odum (2000) calculou as transformidades solares dos principais processos globais, baseado em balanços de energia globais. As transformidades dos bens podem ser obtidos também a partir de balanços. Atualmente, transformidades de muitos produtos e serviços estão disponíveis em tabelas para nós auxiliarem no momento de fazer análises com a metodologia emergética.

6.5.2.2. Razão de Rendimento Emergético (EYR, Emery Yield Ratio)

É a relação entre a energia total (local e importada) e energia importada. Esta razão mede o grau de contribuição do processo à economia, devido à exploração dos recursos locais (Brown e Ulgiati, 2004). Valores típicos para países variam de um a quinze. Países que apresentam um rendimento perto de um, não são qualificados como provedores de energia primária. Quanto mais alta esta razão maior é a intensidade de uso de recursos locais, renováveis e não renováveis.

6.5.2.3. Razão de Carga Ambiental (ELR, Environmental Load Ratio)

Esta razão indica a pressão dos processos de transformação sobre o ambiente e pode ser considerado uma medida do estresse ecossistêmico devido à produção (Brown e Ulgiati, 2004). Quanto mais alta a fração de energia renovável usada por uma economia ou processo produtivo, o ELR é mais baixo. Em outras palavras, economias que são altamente dependentes de recursos externos têm altas ELR's.

“A Razão de Carga Ambiental indica a pressão do processo econômico sobre o ecossistema local como resultado da importação de energia e materiais externos, resultando assim em uma medida geral do estresse do ecossistema devido à atividade econômica” (Ulgiati e Brown, 1998).

6.5.2.4. O Índice de Sustentabilidade Emergético (EmSI, Energy Sustainability Index)

O EmSI, é a relação entre os indicadores EYR e ELR (Ulgiati e Brown, 1998). Altos valores de EmSI indicam que a energia entregue por um processo produtivo ou econômico é, em alto grau de confiança, fluxo de energia renovável, e conseqüentemente mais compatível com o ambiente local. Um baixo valor do EmSI indica o oposto. Valores baixos de EmSI (menores a um) são típicos de países desenvolvidos.

Um país é sustentável, segundo o EmSI, se sua economia consegue alcançar uma alta taxa de rendimento emergético com a menor carga possível no ambiente.

Consideramos que o EmSI é bom para medir a sustentabilidade de um país no curto prazo. Para o longo prazo, o índice Renovabilidade resulta ser uma melhor alternativa.

6.5.2.5. Renovabilidade (REN)

O índice emergético “renovabilidade” (REN) é a relação entre a energia renovável local e a energia total usada no sistema econômico. No longo período, somente sistemas ou processos com alta REN são sustentáveis (Brown e Ulgiati, 2004).

6.5.2.6. Troca de Energia (EER, Energy Exchange Ratio)

É a relação entre a energia recebida pela energia cedida no comércio ou transação de vendas (Brown e Ulgiati, 2004). O país que recebe a maior energia recebe maior riqueza real, assim tem sua economia mais estimulada (Ulgiati et al., 1994). Quando os produtos são exportados, pagamento em dinheiro é feito em troca. Para converter o dinheiro em energia, ele é multiplicado pela relação energia/dinheiro do país onde o dinheiro será gasto.

As matérias primas como: minerais, produtos agrícolas, produtos da pesca, e silvicultura; tendem a ter alta relação de troca de energia quando vendidos a preços de mercado. Isto porque dinheiro está sendo gasto apenas para pagar a parte humana dos

serviços de extração e não o extenso trabalho realizado pela natureza para a produção destes recursos. Quando se trocam ou vendem produtos, o benefício relativo é determinado pela relação de troca de energia. Uma economia local é prejudicada quando a venda de produtos fornece mais energia do que aquela devolvida em termos de poder de compra. Reservando estes produtos para uso interno aumenta o nível de vida do país. Uma alternativa opcional seria adicionar valor econômico até que o preço de venda seja bastante alto como para fazer que a relação de troca de energia seja equitativa (uma troca justa) (Ulgiati et al., 1994).

6.5.2.7. Dólar Emergético (Emdólar)

Refere-se ao fluxo de dólar gerado direta e indiretamente no produto econômico bruto por energia introduzida (Odum, 1996). Este é calculado dividindo a energia introduzida pela relação de energia/dinheiro para o ano de referência.

Dinheiro é pago às pessoas por seus serviços; estes o utilizam para comprar riqueza real. A quantidade de riqueza que o dinheiro compra depende da quantidade de suporte emergético da economia e a quantidade de dinheiro circulante (Odum et al., 2000). Uma relação média de energia/moeda ou emjoules solares/dólar pode ser calculada dividindo o total de energia usada por um estado ou nação por seu produto interno bruto (PIB). Por exemplo, conforme Coelho et al. (2003) o total de energia usada no Brasil no ano 1996 foi de $2,77E+24$ seJ e o produto nacional bruto no mesmo ano foi de $5,75E+11$ USD. Dividindo os dois valores eles calcularam uma relação de energia/moeda de $4,82E+12$ seJ/USD, para o Brasil (ano 1996). Esta relação varia para cada país e geralmente diminui de ano a ano.

6.6. METODOLOGIA

Consideraram-se três principais etapas na aplicação da análise emergética ao Peru:

6.6.1. Diagrama sistêmico detalhado.

Para entender, avaliar, e simular os processos energéticos de um país, se deve iniciar com um diagrama detalhado do sistema de interesse. Este diagrama é feito colocando no papel o que pode ser identificado como uma influência relevante no desenvolvimento do

sistema. O diagrama tradicionalmente inclui o ambiente, os recursos usados na economia e as interligações entre eles devidamente organizados; mas neste trabalho, se inclui também, as reservas¹⁵ porque a consideramos como elemento importante no desenvolvimento sustentável, presente e futuro, do país. As etapas na construção deste diagrama inicial foram:

- a. Definiu-se a fronteira (moldura) e escala do sistema.
- b. Foram identificados fontes e estoques (determinantes externos, inputs externos, reservas, estoques ativos, elementos que direcionam o sistema, etc.), processos (fluxos, relações, interações, produção e consumo etc.), incluindo fluxos e transações de dinheiro que se acredita sejam importantes.
- c. Desenho do diagrama utilizando símbolos próprios da linguagem sistêmica (Anexo 2) onde cada símbolo tem um rigoroso significado enérgico e matemático.

Outros aspectos que foram considerados na construção do diagrama sistêmico são:

Determinação das Fontes: Qualquer insumo que cruze a fronteira do sistema é considerado como uma fonte de energia (fluxos puros de energia, materiais, informação, genes de organismos vivos ou serviços). Fontes foram organizadas ao redor da moldura, de esquerda à direita (em ordem de qualidade de energia), começando com a energia solar na esquerda e serviços humanos à direita.

Linhas: Qualquer fluxo (energia pura, materiais, e informação) foi representado por uma linha. Fluxos de dinheiro são desenhados com linhas a traço. Linhas sem setas estabelecem uma relação entre duas forças; eles podem fluir em qualquer direção.

Retroalimentações: Produtos de alta qualidade direcionados aos consumidores, tais como informação e materiais escassos, são retroalimentados de direita à esquerda no diagrama.

Fluxos: Todo fluxo que entra e sai de um “estoque” é do mesmo tipo e medido nas mesmas unidades. Dois ou mais fluxos de diferente tipo e que são necessários para um

¹⁵ São estoques que servem para garantir a estabilidade de uma moeda nacional por choques externos e especulativos no mercado cambial doméstico. Tecnicamente são instrumentos de política econômica, sendo que o país que tiver mais reserva a sua economia será mais estável.

processo são desenhados com um símbolo de “interseção” (ver Anexo 2). Os fluxos desta interseção são conectados da esquerda para a direita pela ordem de sua transformidade, sendo que o fluxo de mais baixa qualidade se conecta no lado esquerdo.

Produtos: Um produto é qualquer fluxo que ainda tem potencial disponível ou informação utilizável, com exceção da energia dispersada que sai por abaixo da fronteira.

Dispersão de energia: A energia potencial é utilizada para produzir trabalho e o custo desta transformação é a degradação da energia, a qual abandona o sistema como energia de baixa intensidade. Todos os processos de interação e os estoques dispersam energia.

O diagrama sistêmico detalhado para o Peru foi apresentado no capítulo 2 (Figura 2.14).

6.6.2. Diagrama Agregado

O diagrama agregado é uma simplificação do diagrama detalhado, não para deixar coisas de fora, mas sim para combiná-los em categorias agregadas com o propósito de responder a uma questão específica. Neste caso, visualizar a dependência da economia do Peru de recursos, renováveis e não renováveis, principalmente. Para este fim, se identificou cada fluxo no sistema, para depois classificá-los segundo a figura 6.2.

6.6.3. Indicadores Emergéticos

A energia solar de cada fluxo foi calculado por multiplicação de energia em Joules (ou diretamente de sua massa) pela transformidade. Estas transformidades são derivadas de estudos prévios que avaliaram os fluxos energéticos e eficiências de conversão envolvidas na produção de recursos naturais, produto ou serviços. As transformidades usadas na presente tese foram compiladas e apresentadas no Anexo 4.

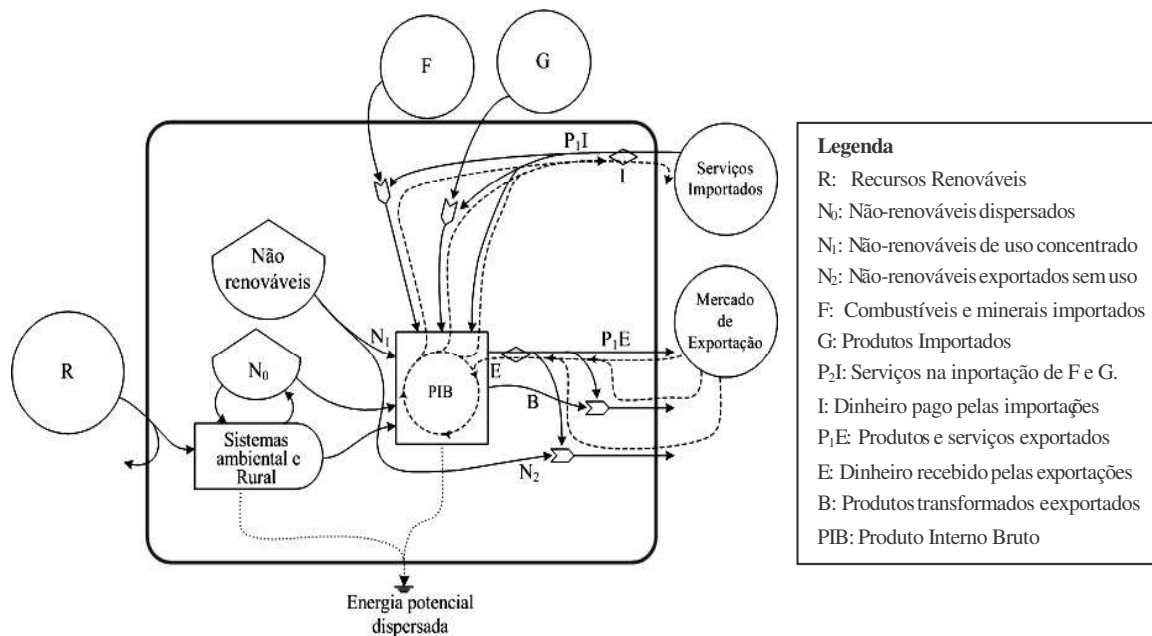


Figura 6.2. Diagrama sistêmico agregado para uma economia nacional.

Depois de agregar os dados dos fluxos emergéticos para o sistema em questão, indicadores emergéticos foram calculados. A Tabela 6.1 mostra os fluxos e relações emergéticas calculados para o Peru. Estes indicadores dão uma leitura da situação de uma economia nacional e podem determinar, entre outras coisas, a dependência de recursos importados, a intensidade de uso dos recursos renováveis e não renováveis, etc.

Em adição, indicadores e índices de sustentabilidade baseados na energia podem ser calculados. Segundo Ulgiati e Brown (1998), a sustentabilidade de uma economia, em termos emergéticos, é uma função da dependência da economia em energia renovável, o grau de dependência em energia importada e o estresse que a atividade econômica ocasiona no meio ambiente. Assim, os principais índices usados para determinar a sustentabilidade da economia peruana foram (Tabela 6.2): a Razão de Carga Ambiental (ELR), a Razão de Rendimento Emergético (EYR), os quais quando combinados resultam no Índice de Sustentabilidade Emergética (EmSI) como uma medida geral de sustentabilidade ecológica no curto prazo. Já no longo prazo, o índice Renovabilidade (REN) resulta ser mais conveniente para medir a sustentabilidade.

Tabela 6.1. Fluxos e relações emergéticas calculados para o Peru.

Nome do fluxo / relação	Expressão
Razão de energia importada	$(F+G+P_2I)/U$
Razão de serviços importados	P_2I/U
Energia total de entrada	$R+N+F+G+P_2I$
Energia total usada, U	$N_0+N_1+R+F+G+P_2I$
Relação de uso de energia local	$(N_0+N_1+R)/U$
Razão de uso em recursos livres	$(R+N_0)/U$
Relação recursos concentrados/recursos rurais	$(F+G+P_2I+N_1)/(R+N_0)$
Densidade emergética	$U/(\text{área ha})$
Uso de energia por pessoa	$U/\text{população}$
Taxa Energia/dólar	$P_1=U/\text{GNP}$
Perda de solo (PS)	$PS_{\text{mineral}} + PS_{\text{orgânica}}$
Perda de solo por área	$PS/(\text{área ha})$
Consumo de combustível (C) (gás natural, petróleo e carvão)	$\text{Prod}(C) + \text{Imp}(C) - \text{Exp}(C)$
Consumo combustível por pessoa	$CC/\text{população}$
Consumo de eletricidade por pessoa	$(el)/\text{população}$
Capital Natural disponível e comprovado (CN)	$R \text{ potencial} + \text{Reservas N}$
Taxa de uso do Capital Natural	$(R+N)/CN$
Taxa de uso do Capital Natural Renovável	$R/(R \text{ potencial})$
Taxa de uso do Capital Natural Não renovável	$N/(\text{Reservas N})$
Desmatamento (D)	$D/\text{ano e USD/ano}$
Água potável	Água/pessoa

6.7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Apêndice 1 se mostra os cálculos detalhados de cada item na avaliação emergética da economia peruana, e no Anexo 4 as Transformidades usadas para converter os fluxos (J ou g) em energia solar (seJ). Para uma discussão ordenada dos resultados, estes foram agrupados como segue: recursos renováveis, setores produtivos locais, recursos não renováveis, recursos importados, e recursos exportados.

Tabela 6.2. Indicadores e índices emergéticos calculados para o Peru.

Nome do indicador e/ou índice	Expressão
Renovabilidade, REN	R/U
Razão de Carga Ambiental, ELR	(F+G+P ₂ I+N)/R
Razão de Rendimento Emergético, EYR	U/(F+G+P ₂ I)
Índice de Sustentabilidade Emergética, EmSI	NYR/ELR

6.7.1. Recursos renováveis

O maior recurso renovável calculado para o sistema é a chuva (geopotencial) com 31,25 E+22 seJ (nota 3, Tabela 6.3). Segundo o enfoque emergético, como a chuva é o maior recurso renovável, esta é considerada como o fluxo renovável (R) que entra no sistema, com a finalidade de evitar dupla contabilidade. Achamos que esta é uma forma muito grosseira de calcular o fluxo renovável (R) que entra no sistema. Uma forma alternativa de abordar o cálculo dos recursos renováveis está sendo considerada no capítulo 7 desta tese. Os valores de Emdólar na última coluna da Tabela 6.3 indicam o valor em milhões de dólares emergéticos de cada um dos recursos identificados. Assim, emergeticamente falando, se a chuva é considerada como o único fluxo que entra no sistema, significa que ingressam 25,9 bilhões de dólares em recursos renováveis no sistema econômico peruano, mas que nas contas nacionais tradicionalmente não é contabilizado.

Tabela 6.3. Fluxos emergéticos das fontes renováveis do Peru.

Nota	Item	Quantidade /Unidade		Transformidade (seJ/unidade)	Energia Solar (E20 seJ)	EmDólar (milhões USD)
1	Energia solar	8,09E+21	J	1	80,91	669,87
2	Chuva, química	7,06E+18	J	30500	2152,04	17817,20
3	Chuva, geopotencial	6,65E+18	J	47000	3124,72	25870,23
4	Vento, energia cinética	7,73E+18	J	2450	189,40	1568,10
5	Ondas	3,06E+17	J	51000	156,31	1294,11
6	Maré	3,20E+18	J	73700	2356,28	19508,17
7	Ciclo da terra	1,08E+19	J	12000	1294,33	10716,05

Notas: cálculos de cada item no Apêndice 1.

Outro recurso renovável de importância é a energia das marés (23,6 E+22 seJ ou 19,5 bilhões de USD), mas que não está sendo aproveitado. A energia geotérmica é outro recurso de importância (12,9 E+22 seJ ou 10,7 bilhões de USD). Este elevado valor em energia geotérmica é explicado pela localização geográfica do território peruano. O Peru forma parte do denominado “Círculo de Fogo do Pacífico”, caracterizado pela ocorrência de movimentos sísmicos, fenômenos tectônicos e elevada concentração de fluxo tectônico, que permite a existência de mais de 200 vertentes de água quente (Agunaga, 2006). Resultaria interessante, no curto prazo, que o Peru buscasse formas de aproveitamento destes recursos renováveis para produzir energia elétrica, como um substituto parcial das fontes de energias mais caras, não renováveis e mais nocivos para o meio ambiente.

A soma da energia solar, a chuva (química), o vento, as ondas, as marés e a energia geotérmica (62,3 E+22 seJ), como não ingressam no cálculo dos recursos renováveis, são considerados aqui como energia disponível (capital natural renovável ou reserva renovável) que o sistema potencialmente poderia utilizar.

6.7.2. Setores produtivos locais renováveis

A Tabela 6.4 mostra o balanço emergético dos setores produtivos que utilizam fontes de energia renovável primária para produzir algum tipo de energia secundária.

Os setores produtivos locais que aportam maior energia à economia do Peru são a produção agrícola e produção pesqueira (notas 9 e 11) representando 42% e 38%, respectivamente, da energia renovável secundária do país. A hidroeletricidade com 173,86 E+20 seJ representa 3,62% deste grupo. Observamos que o uso de hidroenergia no Peru ainda é insuficiente, já que o Peru tem um potencial hidroenergético elevado (172,11 GW) (Apêndice 5). Além disso, as reservas de hidroenergia foram estimadas em 5,97 E+18 J para os próximos 50 anos (MINEM, 2004), e somente o 5% deste tipo de energia está sendo utilizada. Assim, é necessário promover projetos de geração de energia elétrica que intensifique o uso desta e outras energias renováveis (marés e geotérmica), como alternativa sustentável de uma nova matriz energética para o futuro da economia peruana. Isto é um tema urgente, já que com os níveis atuais de produção e consumo de petróleo, as reservas deste recurso podem satisfazer a demanda interna só até o ano 2011 (MINEM, 2004).

Tabela 6.4. Fluxos emergéticos dos setores produtivos renováveis (2004).

Nota	Item	Quantidade/ Unidade	Transformidade (seJ/unidade)	Energia Solar (E20 seJ)	EmDólar (milhões USD)
8	Hidroeletricidade	6,51E+16 J	2,67E+05	173,86	1732,12
9	Produção Agrícola	3,59E+17 J	3,36E+05	1206,11	12015,84
10	Produção Pecuária	1,03E+16 J	3,36E+06	346,49	3451,91
11	Produção Pesqueira	3,28E+16 J	3,36E+06	1101,56	10974,27
12	Produção lenha	6,50E+16 J	2,21E+04	14,36	143,09
13	Extração Florestal	6,78E+16 J	2,21E+04	14,99	149,38
(i)	Prod. água potável	8,30E+15 J	1,12E+16	92,86	768,79

Notas: cálculos de cada item no Apêndice 1.

⁽ⁱ⁾ = $(1680000000 \text{ m}^3) \cdot (1000 \text{ kg/m}^3) \cdot (4,94 \text{ kJ/kg}) \cdot (1000 \text{ J/kJ}) = 8,30 \text{ E}+15 \text{ J}$ (Aqastat, 2005).

Como no caso da análise exergética, neste capítulo os fluxos de produção pesqueira, produção de lenha e a extração também foram considerados como não renováveis (recursos rurais dispersados, N_0), devido à insustentabilidade do manejo destes setores (Pascó-Font, 1999). Mas achamos que uma análise melhor é considerar estes fluxos com o critério de renovabilidades parciais (Ortega et al, 2004; Ortega et al., 2005; Cavallet et al., 2006). Neste capítulo foi aplicada Metodologia Emergética considerando as renovabilidades parciais. Assim, para os setores: Hidroeletricidade, Produção Agrícola, Produção Pecuária, Produção Pesqueira, Produção lenha, Extração Florestal, e Produção de água potável; foram consideradas as renovabilidades 90%, 70%, 70%, 60%, 90%, 80% e 90%, respectivamente. A diferença das renovabilidades (10%, 30%, 40%, 10%, 20% e 10%) somadas com a perda de solo dão o valor de N_0 (Recursos rurais dispersados, Tabela 6.8).

Obviamente, ao incluir o critério das renovabilidades parciais nos cálculos, mudam os indicadores ambientais. Esta afirmação pode ser comprovada comparando os resultados do trabalho de Siche e Ortega (2007) (Apêndice 7), feito utilizando a metodologia emergética convencional, e os resultados deste capítulo.

6.7.3. Recursos não renováveis

O recurso não - renovável mais importante no país é a perda da fração mineral do solo, representando 50% do total de recursos não - renováveis (Tabela 6.5, nota 19). Somando a perda da fração mineral e a perda da fração orgânica, resulta em 18,7 E+22 seJ que o sistema esta perdendo devido a erosão do solo. Esta perda equivale a 15,5 bilhões de dólares anuais (Emdólar). Estes valores indicam uma alarmante perda de energia e dinheiro devido à erosão do solo, causado por fatores de diferente natureza. Os fatores desta erosão dependem da região geográfica. Assim, na costa os maiores processos erosivos estão associados à ocorrência de chuvas intensas produzidas pelos eventos de El Niño. Na serra, as causas estão dirigidas à tala e queima de bosques, sobre pastoreio, cultivo em sentido do declive, mau manejo de irrigação em ladeiras, entre outras. Na selva, a erosão aumenta com o avanço do desmatamento e a instalação de cultivos erosivos como o milho cultivado em terrenos de ladeiras (Angulo, 2005).

Tabela 6.5. Fluxos emergéticos dos recursos não renováveis (2004).

Nota	Item	Quantidade /Unidade	Transformidade (seJ/unidade)	Emergia (E20 seJ)	EmDolar (milhões USD)
14	Gás Natural	6,34E+16 J	5,88E+04	37,26	308,48
15	Petróleo	1,69E+17 J	1,11E+05	187,97	1556,21
16	Carvão	6,52E+14 J	6,69E+04	0,44	3,61
17	Calcário e fertilizantes	1,00E+13 g	1,35E+10	1353,80	11208,42
18	Metais	6,79E+12 g	1,30E+09	88,16	729,86
19	Perda de solo, fração mineral	1,06E+14 g	1,68E+09	1778,53	14724,88
20	Perda de solo, fração orgânica	7,40E+16 J	1,24E+05	92,01	761,77

Notas: cálculos de cada item no Apêndice 1.

Na análise exergética, o recurso combustível mais importante foi o petróleo (3,14 E+17 J, ver Tabela 5.3). Aqui, na análise emergética, o petróleo também é o recurso combustível mais importante (1,9 E+22 seJ), representando o 83% da energia consumida pelo sistema (Petróleo, gás natural e carvão). Na análise exergética a perda de solo não foi considerado como um fluxo exergético devido à falta do fator de conversão para convertê-lo a exergia, mas que em futuros trabalhos poderia ser calculado e considerado. Segundo o governo peruano (MINEM, 2004) o 59% da energia total consumida na economia peruana

provêm do petróleo. Mas, com a análise emergética a situação se apresenta mais dramática (83% do consumo de energia total) seguida com a análise exergética (73% do consumo de energia total). Assim, a economia do Peru é altamente dependente do petróleo, mais do que análises convencionais determinam.

6.7.4. Recursos importados

A energia dos combustíveis fósseis importados ($2,1E+22$ seJ) que ingressa ao Peru (Tabela 6.6, nota 21) representa o 23,2% da energia total importada. Alimentos e produtos agrícolas ($1,4 E+22$ seJ) é outro fluxo importado de relativa importância na economia do Peru (15,6% da energia total importada). O fluxo de dinheiro emergético que ingressa à economia do Peru pelo turismo ($1,7 E+08$ USD), comparado com a moeda comum ($1,08 E+09$ USD) recebidos pelo turismo, indica que o turismo é uma atividade muito rentável que se deve potenciar. Estes valores indicam que por cada dólar emergético (onde está inserido o investimento da natureza), se está recebendo 6,53 dólares comuns. É obvio que a alta rentabilidade deste setor esta associada ao trabalho feito pela natureza e pelos antigos peruanos durante muitos anos. Trabalho que deixou um legado cultural e paisagístico de importante valor.

Tabela 6.6. Avaliação emergética dos recursos importados (2004)

Nota	Item	Quantidade /Unidade	Transformidade (seJ/unidade)	Energia Solar (E20 seJ)	EmDólar (milhões USD)
21	Combustíveis fósseis	$2,02E+17$ J	$1,05E+05$	212,41	2116,16
22	Metais	$6,53E+11$ g	$3,67E+09$	23,96	238,72
23	Mínerais	$7,99E+11$ g	$1,10E+10$	88,05	877,22
24	Alimentos e Prod. Agrícol.	$4,24E+16$ J	$3,36E+05$	142,56	1180,31
25	Pecuária, carne, pesca	$2,20E+15$ J	$3,36E+06$	73,76	610,71
26	Plásticos e borracha	$5,68E+11$ g	$2,52E+09$	14,31	118,48
27	Químicos	$5,30E+11$ g	$2,49E+10$	131,86	1091,70
28	Materiais terminados	$5,52E+11$ g	$3,91E+09$	21,58	178,64
29	Equipamento e transporte	$2,86E+11$ g	$6,70E+09$	19,19	158,88
30	Serviços nas importações	$9,02E+09$ \$	$1,85E+12$	166,91	1381,86
31	Turismo	$1,08E+09$ \$	$1,85E+12$	19,94	165,11

Notas: cálculos de cada item no Apêndice 1.

Diminuir as importações e aumentar as exportações resulta em uma boa estratégia para o Peru. Mas, pela dependência do Peru das importações de combustíveis fósseis é difícil mudar esta situação no curto prazo. No longo prazo, esta estratégia é necessária por motivos anteriormente explicados, principalmente pela decadência da disponibilidade do petróleo no país e no mundo.

6.7.5. Recursos exportados

A energia das exportações dos metais (3,9 E+23 seJ ou 32,1 bilhões de USD emergéticos; Tabela 6.7, nota 36) representam 34,6% da energia total exportada. O Ministério de Energia e Minas do Peru indica que o país exportou 6,9 bilhões de USD em metais o ano 2004 (MINEM, 2004b), representando 48% das exportações totais (14,5 bilhões de USD; INEI, 2005).

Os resultados da análise emergética indicam que o Peru esta exportando em seus metais exportados maior valor (32,1 bilhões de USD emergéticos) do que está recebendo em troca (6,9 bilhões de USD). Assim, a economia do Peru deixou de receber 25,2 bilhões de USD o ano 2004, produto do comercio injusto de suas exportações de metais.

Tabela 6.7. Fluxos emergéticos dos recursos exportados (2004).

Nota	Item	Quantidade/ Unidade		Transformidade (seJ/unidade)	Energia Solar (E20 seJ)	EmDólar (milhões USD)
32	Alimentos e Prod, Agrícol	8,60E+15	J	3,36E+05	28,91	239,32
33	Pecuária, carne, pesca	4,16E+16	J	3,36E+06	1398,00	11574,32
34	Materiais finais	2,34E+11	g	3,17E+09	7,43	61,49
35	Combustíveis	3,52E+16	J	1,11E+05	39,06	323,37
36	Metais	1,12E+13	g	3,46E+10	3879,77	32121,46
37	Minerais	1,43E+12	g	1,00E+09	14,27	118,12
38	Químicos	6,15E+11	g	2,49E+10	152,80	1265,05
39	Maquinaria e transp equip.	3,80E+10	g	6,70E+09	2,55	21,09
40	Plásticos e borracha	1,83E+10	g	2,52E+09	0,46	3,83
41	Serviços em exportações	4,72E+10	\$	1,21E+13	5703,07	47217,00

Notas: cálculos de cada item no Apêndice 1.

6.7.6. Balanço e fluxos emergéticos agregados

Os fluxos emergéticos agregados da economia do Peru são mostrados na Figura 6.3 e na Tabela 6.8. São observados os fluxos agregados que ingressam à economia do Peru: recursos importados (F e G), recursos renováveis (R), recursos não-renováveis (N_0 , N_1 e N_2); e os fluxos que saem do país: exportações, com transformação (B) e sem transformação (N_2).

O maior fluxo que ingressa à economia do Peru são os recursos renováveis ($R = 31,24 E+22$ seJ/ano), seguido dos não renováveis dispersados no meio rural ($N_0 = 27,58 E+22$ seJ/ano). Observa-se, que segundo a análise emergética expandida (Ortega et al., 2005) o Peru está usando seus recursos renováveis em maior proporção que seus recursos não renováveis dispersados. Mas com análise emergética convencional se obtém o fluxo de recursos renováveis ($R = 21,72 E+22$ seJ/ano) menor que o fluxo de recursos não renováveis ($N_0 = 36,51 E+22$ seJ/ano) . Esta diferença é produto de incorporar na análise emergética expandida o critério de renovabilidades parciais, onde uma parte dos recursos: floresta, pecuária, agricultura, etc., acrescentam o valor de N_0 , como foi descrito na seção 6.7.2.

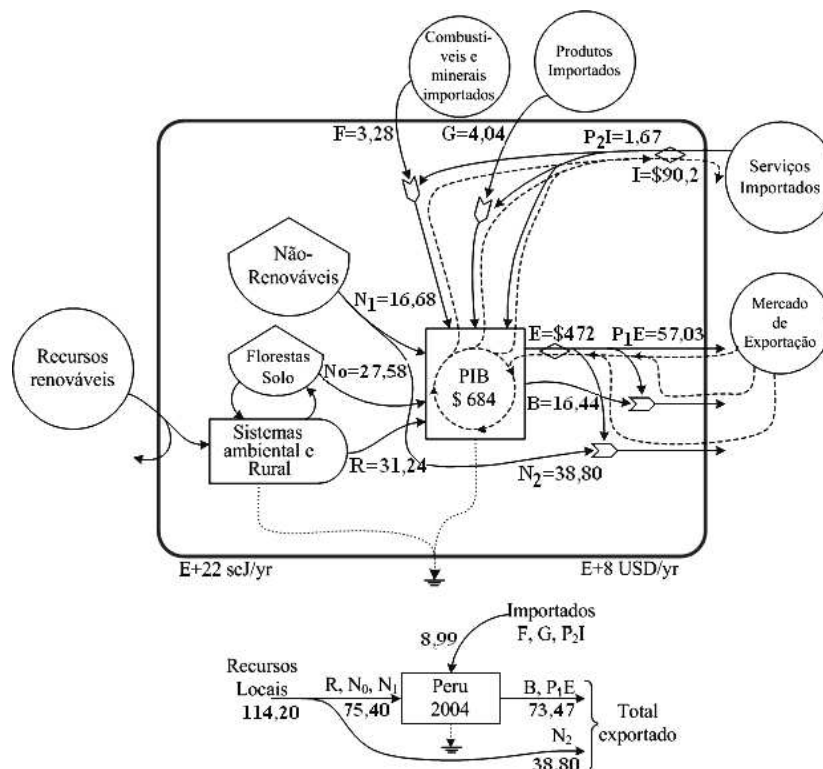


Figura 6.3. Diagrama sistêmico agregado dos fluxos emergéticos da economia Peruana (2004).

O fluxo dos recursos não renováveis exportados sem uso ($N_2 = 38,80 \text{ E}+22 \text{ seJ}$) é o maior fluxo dos exportados. O N_2 , que representa às exportações de materiais que não sofrem uma significativa transformação antes de ser exportados (metais, alimentos frescos ou refrigerados, etc), é considerado como um fluxo que não ingressa ao processo econômico nacional, e somente ingressa no processo econômico quando retorna em forma de dinheiro das exportações.

Tabela 6.8. Resumo dos fluxos emergéticos no Peru (2004).

Item	Fluxos agregados	Unidade	Quantidade (E+20 seJ/unid.)	Bilhões de Dólares
1	R, Recursos renováveis	ano	3 124,72	
2	N, Recursos não renováveis do país	ano	8 305,04	
3	N_0 , Recurso Rural dispersado	ano	2 757,66	
4	N_1 , Uso concentrado	ano	1 667,62	
5	N_2 , Exportado sem uso	ano	3 879,77	
6	F, Combustíveis e minerais importados	ano	325,75	
7	G, Produtos importados	ano	404,03	
8	I, Dólares pagados por importações	USD		9,0
9	P_2I , Serviços na importação de F e G	ano	166,91	
10	E, Dólares recebidos por exportações	USD		47,2
11	P_1E , Valor de produtos e serviços exportados	ano	5 703,07	
12	B, Produtos exportados transformados no Peru	ano	1 643,50	
13	PIB, Produto Interno Bruto	USD		69,9

Notas:

- 1 R: nota 3 (Tabela 6.3)
- 2 $N = N_0 + N_1 + N_2$
- 3 $N_0 = \text{nota}8*0,1 + \text{nota}9*0,3 + \text{nota}10*0,3 + \text{nota}11*0,4 + \text{nota}12*0,1 + \text{nota}13*0,2 + \text{nota}(i)*0,1$
(Tabela 6.4) + nota19 + nota20 (Tabela 6.5)
- 4 N_1 : notas 14 até 18 (Tabela 6.5)
- 5 N_2 : nota 36 (Tabela 6.7)
- 6 F: notas 21, 22 e 23 (Tabela 6.6)
- 7 G: notas 24 até 29 (Tabela 6.6)
- 8 I: nota 30 (Tabela 6.6)
- 9 P_2I : onde P_2 é a taxa “Emergia global/dólar” usada nas importações (1,85 E+12 seJ/USD; Brown, 2003)
- 10 E: nota 41 (Tabela 6.7)
- 11 P_1E : onde P_1 é a taxa “Emergia do Peru/dólar” usada nas exportações (1,21 E+13; nota 10, Tabela 6.10)
- 12 B: notas 32 até 35 e 37 até 40 (Tabela 6.7)
- 13 BCRP (2005).

6.7.7. Comercio Internacional

Na Tabela 6.9 se observa a balança comercial do Peru para o ano 2004 em unidades de energia, em dólar e dólar comum. O Peru mostra uma balança comercial positiva nos três casos (1033 ZseJ, 77,9 bilhões de Emdólares e 2,3 bilhões de dólares), mas uma diferença notável pode ser observado: 77,9 bilhões de Emdólares representam o verdadeiro valor dos materiais e serviços que foram exportados, incluindo economia, ambiente e informação (Odum, 1996), mas nas contas nacionais as exportações aparecem com o valor de 2,3 bilhões de USD (MEF, 2005). Isto significa que, o ano 2004, o Peru deixou de receber pela suas exportações totais, 75,6 bilhões de dólares. Um cenário parecido ocorre nas importações, embora com menor diferença que a mostrada nas exportações. O verdadeiro valor das importações foi de 15,1 bilhões de Emdólares e o valor convencional de 10,1 bilhões de dólares. Isto significa que o Peru deveria ter pagado pelas suas importações 4,96 milhões de dólares a mais.

Assim, da análise emergética, o Peru deveria ter uma balança comercial onde as exportações fossem 6,17 vezes as suas importações, e não 1,23 como é estabelecido pela economia convencional.

Tabela 6.9. Comércio internacional do Peru em valores emergéticos e monetário (2004).

Nota	Fluxo	Quantidade (ZseJ) ^(a)	Emdólar (bilhões de USD)	Dólar (bilhões de USD)
1	Importações	89,9	15,06	10,10
2	Exportações	1 122,7	92,95	12,44
3	Exportações menos importações	1 032,8	77,89	2,33
4	Relação exportações/importações	12,49	6,17	1,23

^(a)ZseJ = 10²¹ seJ

Notas:

- 1 Importações: seJ (F+G+P₂I da Tabela 6.6 e Tabela 6.8); Emdólar (Tabela 6.6 e Tabela 6.8); dólar (MEF, 2005).
- 2 Exportações: seJ (P₁E+B+N₂ da Tabela 6.7 e Tabela 6.8); Emdólar (Tabela 6.7 e Tabela 6.8); dólar (MEF, 2005).

Por outro lado, aproximadamente, o 91% da energia total ($1,14 \text{ E}+24 \text{ seJ}$, Figura 6.3) que flui dentro do país é exportada. Este valor é maior, se comparado com países como Nicarágua (Cuadra e Rydberg, 2000) e Tailândia (Brown e McClanahan, 1996) que exportam o 31% e 59% da energia total, respectivamente.

Estes resultados indicam que o Peru é um país principalmente produtor de recursos e matérias primas, algo característico dos países em desenvolvimento. Os principais recursos produzidos no Peru e exportados são os recursos minerais e metais (31% da energia total que flui dentro do país e 35% da energia total exportada).

6.7.8. Indicadores Emergéticos da economia do Peru

Com base nas fórmulas da Tabela 6.1 foram calculados indicadores emergéticos do Peru para o ano 2004.

O Peru utilizou $8,45 \text{ E}+23 \text{ seJ}$ (Tabela 6.10, nota 4) de energia (U), equivalente a 97,7 bilhões de dólares emergéticos. Esta quantidade poderia ser comparada com o PIB do país para o mesmo ano. Segundo o INEI (2006) o PIB para do Peru foi de 69,9 bilhões de dólares o ano 2004 (Capítulo 2 desta tese). Em valores per capita, o peruano médio deveria ter uma receita de 3653 dólares emergéticos em comparação aos 2539 dólares que calcula a economia tradicional. Estes valores indicam que o peruano é menos pobre do que a economia tradicional calcula.

10,6% da energia usada na economia de Peru foi comprada (nota 1, Tabela 6.10) e quase 2% foram serviços importados (nota 2, Tabela 6.10). 89,4% da energia usada no país é local (nota 5, Tabela 6.10), e 69,6% é renovável de livre disponibilidade no país (nota 6, Tabela 6.10). A relação entre energia usada em recursos concentrados e recurso dispersados (nota 7, Tabela 6.10) indica a energia que flui através de áreas urbanizadas por cada unidade de energia renovável que deriva de áreas rurais (Brown e McClanahan, 1996). No Peru, esta relação é 43,6%. Isto significa que, por cada joule de energia usada de áreas rurais 0,436 joules derivam de recursos concentrados (combustíveis fósseis e importações).

A densidade emergética no Peru (nota 8, Tabela 6.10) é $3,92 \text{ E}+15 \text{ seJ/ha}$ (ou 774 Emdólares por ha). A energia usada por pessoa foi estimada em $3,10 \text{ E}+16 \text{ seJ/pessoa}$ (nota 9, Tabela 6.10).

Tabela 6.10. Indicadores emergéticos da economia do Peru (2004).

Nota	Nome do indicador	Emergia (seJ)	Emdólar (USD)	Relação (%)
1	Razão de emergia importada			10,62
2	Razão de serviços importados			1,98
3	Emergia total de entrada	1,23E+24	8,49E+16	
4	Emergia total usada, U	8,45E+23	9,77E+10	
5	Razão de uso de emergia local			89,38
6	Razão de uso em recursos livres			69,64
7	Relação recursos concentrados/recursos rurais			43,59
8	Densidade emergética (unidade/ha)	3,92E+15	773,68	
9	Uso de emergia por pessoa (unidade/pessoa)	3,10E+16	3 590	
10	Taxa Emergia/dólar (seJ/USD)	1,21E+13		
11	Perda de solo (PS)	1,87E+23	1,55E+10	
12	Perda de solo por área (unidade/ha)	1,46E+15	120,50	
13	Consumo de combustível (gás natural, petróleo e carvão)	3,99E+22	3,30E+09	
14	Consumo de combustível por pessoa (seJ/pessoa)	1,47E+15	121,37	
15	Consumo de eletricidade por pessoa	7,51E+14	62,22	
16	Capital Natural disponível e comprovado (CN)	2,90E+24	2,40E+11	
17	Taxa de uso do Capital Natural			39,46
18	Taxa de uso do Capital Natural Renovável			10,79
19	Taxa de uso do Capital Natural Não renovável			28,67
20	Desmatamento	1,34E+22	1,11E+09	
21	Água potável (por pessoa)	3,41E+14 ⁽ⁱ⁾	62,77 ⁽ⁱⁱ⁾	

⁽ⁱ⁾ = $9,29E+21 \text{ seJ} / (\text{População}_{2004})$ (Item i da Tabela 6.4).

⁽ⁱⁱ⁾ = $7,69E+8 \text{ Emdólar} / (0,45 * \text{População}_{2004})$ (Item i da Tabela 6.4). A porcentagem da população do Peru que paga pelo uso da água é 45% (PIDHDD, 2005).

Com a finalidade de abordar aspectos relacionados à sustentabilidade de ecossistemas que comumente a análise emergética não considera, novos indicadores foram propostos: perda de solo, capital natural, desmatamento e consumo de água potável. Assim, o Peru está perdendo 120,5 dólares por hectare (nota 12, Tabela 6.10) devido à perda de solo. O capital natural do Peru foi calculado em $2,90E+24$ seJ ou 240 bilhões de dólares (nota 15, Tabela 6.10), dos quais só 39,5% é aproveitado na economia do Peru. Desta porcentagem, 10,8% corresponde a recursos renováveis e 28,7% a não renováveis, valores que confirmam a dependência da economia do Peru em recursos não renováveis.

Calculou-se o desmatamento do Peru tomando como referência o relatório de Morizaki (2005). Nesse relatório o desmatamento no Peru avança a uma taxa de 149,6 mil hectares por ano. Se a produtividade média de uma floresta é de 336,7 toneladas por hectare (Produce et al., 2006), o desmatamento é aproximadamente 50,4 milhões de toneladas anuais. Convertendo estas toneladas a energia e logo a energia (com transformidade da lenha = $2,21 \text{ E}+04 \text{ seJ/J}$), o desmatamento da floresta equivale a $1,34 \text{ E}+22 \text{ seJ}$ ou 1,1 bilhões de dólares emergéticos (nota 20, Tabela 6.10).

Foi calculado também o consumo de água potável. O consumo de água potável no Peru é calculada em 1,68 bilhões de m^3 anuais (Faostat, 2005), que equivale a $9,29 \text{ E}+21 \text{ seJ}$ (nota i, Tabela 6.4) ou $3,41 \text{ E}+14 \text{ seJ/pessoa}$ (nota 21, Tabela 6.10). Também foi possível calcular o consumo da água em dólares emergéticos (62,77 em dólares/pessoa), considerando que só 45% da população paga pela água potável que consome (PIDHDD, 2005). Segundo o PIDHDD (2005) no Peru se paga 0,45 USD/ m^3 de água. Assim, o ano 2004 se pagou pela água potável $7,56\text{E}+8 \text{ USD}$ ou 61,72 USD/pessoa (também considerando que só o 45% paga pela água potável que consome; PIDHDD, 2005). Ao comparar o valor pago pela água consumida (61,72 USD/pessoa) e o valor emergético (62,77 em dólares/pessoa) o consumidor está pagando 1,05 USD menos do que deveria pagar.

Fica demonstrado que, análise emergética poderia ser utilizada como uma poderosa ferramenta para pôr valor monetário a diferentes bens e serviços ambientais ou corrigir valores de bens e recursos que já tem preço, incluindo o trabalho da natureza.

6.7.9. Índices de desempenho ecológico

Atualmente, existe um grande interesse de traduzir o impacto da economia dos países no seu meio ambiente natural, em simples índices e/ou indicadores. A metodologia emergética para lograr este objetivo calcula os indicadores: Razão de Carga Ambiental (ELR) e Razão de Rendimento emergético (EYR); e os índices: Renovabilidade (REN) e Índice de Sustentabilidade Emergética (EmSI) (Tabela 6.11).

A razão de carga ambiental - ELR foi calculada em 1,70 (Tabela 6.11, nota 1). Este valor de ELR indica que a economia do Peru provoca um baixo nível de estresse ambiental,

produto de um baixo nível tecnológico utilizado. A razão de rendimento emergético - EYR (Tabela 6.11, nota 2) foi calculada em 9,42. Este valor de EYR indica uma elevada habilidade da economia do Peru de empregar recursos locais. Um significativo valor de renovabilidade (REN=37%, Tabela 6.11) indica que do total de energia usada na economia do Peru, 37% é derivada de fontes de energia renováveis. No longo prazo, o Peru teria que aumentar sua renovabilidade de 37% para ser considerado como sustentável.

Tabela 6.11. Índices de desempenho ecológico da economia do Peru.

Nota	Índice	Valor
1	Razão de Carga Ambiental, ELR	1,70
2	Razão de Rendimento Emergético, EYR	9,42
3	Renovabilidade, REN	0,37
4	Índice de Sustentabilidade Emergética, EmSI	5,53

Quando os indicadores ELR e EYR são combinados, resulta no índice de sustentabilidade emergético (EmSI = 5,53; Tabela 6.11, nota 4). Segundo Brown e Ulgiati (2004), uma economia com valor de EmSI maior a 4 causa baixo estresse e carga ambiental, mas é uma economia subdesenvolvida. Este resultado é oposto do encontrado para os Estados Unidos (EmSI = 0,48), Suécia (EmSI = 0,19), Itália (EmSI = 0,17) e Dinamarca (EmSI = 0,14) (Ulgiati e Brown, 1998; Lagerberg, 1999; Haden, 2003) que são economias desenvolvidas.

6.8. CONCLUSÕES

Por causa de sua rica disponibilidade de recursos naturais, o Peru assentou bem como produtor de recursos brutos para outros países, principalmente metais. Entretanto, a sua economia permanece subdesenvolvida e o padrão de vida baixo, quando comparado com outros países latino-americanos. É muito importante que a economia do Peru coloque mais valor agregado aos seus produtos brutos que são exportados. A economia nacional do Peru precisa de uma mudança com uma reconstrução da sua indústria que exporte principalmente produtos finais e processados. A estratégia deveria ser: importar menos

petróleo, potenciar o uso de recursos energéticos renováveis, e desenvolver a economia baseada na promoção e exportação de recursos com valor agregado. Esta estratégia poderia realçar o padrão e a qualidade de vida no Peru sem depredar o meio ambiente.

O desempenho ecológico do sistema econômico peruano foi avaliado através da análise emergética expandida, tendo como resultando os indicadores: (a) Razão de Carga Ambiental (ELR) = 1,70; (b) Razão de Rendimento Emergético (EYR) = 9,42; (c) Índice de Sustentabilidade Emergético (EmSI) = 5,53; e (d) Renovabilidade = 37%. Estes valores como bem outros dados mostrados neste capítulo indicam que a economia do Peru se beneficia com uma apreciada incorporação de energias renováveis naturais, que a sua vez gera um baixo stress ambiental. Mas também o país contribui com uma alta exportação de recursos naturais, metais principalmente, a outros sistemas econômicos.

Foram propostos novos indicadores que Análise Emergética convencional não avalia corretamente: perda de solo, capital natural, desmatamento e consumo de água potável. Foi encontrado que o Peru está perdendo 120,5 dólares por hectare como consequência da perda de solo. Um elevado valor de capital natural foi calculado ($2,90E+24$ seJ ou 240 bilhões de dólares) que não esta sendo devidamente aproveitado. O desmatamento da floresta no Peru equivale a $1,34 E+22$ seJ ou 1,1 bilhões de dólares emergéticos anuais. O consumo de água potável ($9,29 E+21$ seJ, $3,41 E+14$ seJ/pessoa ou 62,77 emdólares/pessoa) e o valor anual que se deveria pagar pelo consumo de água potável foi calculada em 62,77 emdólares/pessoa.

Assim, Análise Emergética foi utilizada como uma poderosa ferramenta para pôr valor monetário a diferentes bens e serviços ambientais ou corrigir valores de bens e recursos que já tem preço, mas incluindo o trabalho da natureza.

6.9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agunaga, D.J. 2006. Situación de la Geotermia en el Perú. Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad. Disponível em: http://www.minem.gob.pe/archivos/dge/publicaciones/taller_geotermia/3.pdf
- Angulo, V.L. 2005. Análisis Ambiental en el Perú. CDN -Consultora en Desastres Naturales. 35 p.
- Aquastat. 2005. FAO's Information System on Water and Agriculture. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>
- BCRP. 2005. Banco Central de Reserva del Perú. Disponível em: www.bcrp.gob.pe
- Brandt-Williams, S.L. 2001. Folio #4: Emery of ecosystems. Handbook of Emery Evaluation: A compendium of data for emery computation issued in a series of folios. Gainesville, FL., Center for Environmental Policy, University of Florida.
- Brown, M.T.; Arding, J. Transformities, working paper. Univ. Florida. Center for Wetlands, 1991.
- Brown, M.T.; Bardi, E. 2001. Folio #3: Emery of ecosystems. Handbook of Emery Evaluation: A compendium of data for emery computation issued in a series of folios. Gainesville, FL., Center for Environmental Policy, University of Florida.
- Brown, M.T., Brandt-Williams, S.L. et al. 2000. Emery synthesis: an introduction. Emery Synthesis: Theory and Applications of the Emery Methodology. Gainesville, FL. M. T. BROWN. The Center for Environmental Policy, University of Florida: 1 – 14.
- Brown, M.T., Buranakarn, V. 2000. Emery evaluation of material cycles and recycle options. Emery Synthesis: Theory and Applications of the Emery Methodology. M. T. BROWN. Gainesville, FL., The Center for Environmental Policy, University of Florida: 141 – 154.
- Brown, M.T., Herendeen, R.A., 1996. Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. Ecol. Econ. 19, 219–233.
- Brown, M.T., McClanahan, T.R. 1996. Emery analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. Ecol. Model. 91: 105 – 130.
- Brown, M.T., Ulgiati, S. 2004. Emery Analysis and Environmental Accounting. In: Encyclopedia of Energy. Elsevier, vol. 2: 329 – 354.
- Cavalett, O., Ferraz, J., Ortega, E. 2006. Emery assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. Ecological Modelling 193, (3), 205-224.
- CIA - Central Intelligence Agency. 2005. The World Factbook: Peru. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/pe.html>
- Costanza, R., 1981. Embodied energy, energy analysis and economics. In: Daly, H.E., Umana, A.F. (Eds.), Energy, Economics and the Environment: Conflicting Views of an Essential Relationship. AAAS Selected Symposium No. 64, Westview Press, CO, pp. 119–145.
- Costanza, R., 2004. Value Theory and Energy. Encyclopedia of Energy. Elsevier Inc., v. 6, 337-346.
- Coelho, O., Ortega, E., Comar, V. 2003. Balanço de Energia do Brasil (Dados de 1996, 1989 e 1981). In: Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável. Organizador: Enrique Ortega. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/index.htm>
- Cuadra, M., Rydberg, T. 2000. Emery evaluation of the environmental and economy of Nicaragua. Emery Synthesis: Theory and Applications of the Emery Methodology. M. T. Brown. Gainesville, FL., The Center for Environmental Policy, University of Florida: 289 – 301.
- FAOSTAT. Online database of Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2004. <http://apps.fao.org/faostat>.

- Giannantoni, C. 2002. The Maximum Em-Power Principle as the basis for Thermodynamics of Quality, Servizi Grafici Editoriali, Padova.
- Haden, A. 2003. Emery Evaluation of Denmark and Danish Agriculture – Assessing the Limits of Agricultural Systems to Power Society. Ecological Agriculture 37. Centre for Sustainable Agriculture Sciences S-750 07 Uppsala.
- Huettner, D.A., 1976. Net energy analysis: an economic assessment. Science 192, 101–104.
- INEI. 2005. Instituto Nacional de Estadística e Informática del Peru. Disponible em: www.inei.gob.pe
- Lagerberg, C. 1999. Emery analysis of the resource use in greenhouse crop production and of the resource basis of the Swedish economy. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Science, 1999. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria 191.
- Kneese, A.V., Ayres, R.U., D'Arge, R.C., 1970. Economics and the Environment: A Materials Balance Approach. Resources for the Future, Washington.
- Luchi, F., Ulgiati, S. 2000. Energy and emery assessment of municipal waste collection. A case study. Emery Synthesis: Theory and Applications of the Emery Methodology. M.T. BROWN. Gainesville, FL., The Center for Environmental Policy, University of Florida: 303 – 316.
- MEF. 2005. Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. Disponible em: <http://www.mef.gob.pe>
- MINAG. 2005. Ministerio de agricultura del Perú. Disponible em: <http://www.minag.gob.pe>
- MINCETUR. 2005. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú. Disponible em: <http://www.mincetur.gob.pe>
- MINEM. 2005. Ministerio de Energía y Minas del Peru. Disponible em: www.minem.gob.pe
- OSINERG. 2005. Organismo Supervisor del Peru. Disponible em: www.osinerg.gob.pe
- Odum, H.T. 1996. Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Odum, H.T. 2000. Folio #2: Emery of global processes. Handbook of Emery Evaluation: A compendium of data for emery computation issued in a series of folios. Gainesville, FL., Center for Environmental Policy, University of Florida.
- Odum, H.T., Arding, J.E. 1991. Emery Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador. Gainesville, FL., Center for Wetlands, University of Florida.
- Odum, H.T., Brown, M.T., Brandt-Williams, S. 2000. Folio #1: Introduction and global budget. Handbook of Emery Evaluation: A compendium of data for emery computation issued in a series of folios. Gainesville, FL., Center for Environmental Policy, University of Florida.
- Ortega, E., Cavalett, O., Bonifácio, R., Watanabe, M. 2004. Expanded emery analysis of soybean production in Brazil. In Ortega & Ulgiati (eds): Proceedings of IV Biennial International Workshop “Advances in Energy Studies”. Unicamp, SP, Brazil. June 16-19. p. 285-299.
- Ortega, E.; Cavalett, O.; Bonifácio, R.; Watanabe, M. 2005. Brazilian soybean production: Emery analysis with an expanded scope. Bulletin of Science, Technology and Society 25 (4): 323-334.
- Patterson, M. 1998. Commensuration and theories of value in ecological economics. Econ. Ecol. 25, 105-126.
- PIDHDD – Plataforma Interamericana de Derechos Humanos, Democracia y Desarrollo. 2005. Indicadores del acceso al agua y el saneamiento en el Perú. Equipo Técnico de la Campaña Nacional por el Derecho Humano al Agua. Disponible em: http://www.iniciativamercosur.org/agua_pe.pdf

- Romitelli, M.S. 2000. Emergy analysis of the new Bolivia - Brazil gas pipeline. Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology. M. T. BROWN. Gainesville, Fl., The Center for Environmental Policy, University of Florida: 53 – 59.
- Ulgiati, S., Brown, M.T. 1998. Monitoring Patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling* 108: 23 – 26.
- Ulgiati, S., Odum, H.T. et al. 1993. Emergy analysis of Italian agricultural system. The role of energy quality and environmental inputs. Second International Workshop on Ecological Physical Chemistry, Milan.
- Ulgiati, S., Odum, H.T., Bastianoni, S. 1994. Emergy use, environmental loading and sustainability and emergy analysis of Italy. *Ecological Modelling* 73: 215-268.
- Valdivia, R.O. 2002. The Economics of Terraces in the Peruvian Andes: An Application of Sensitivity Analysis in an Integrated Assessment Model. Thesis, Master of Sciences in Applied Economics, Montana State University-Bozeman, USA.
- Victor, P.A., 1972. *Pollution: Economy and Environment*. Allen and Unwin, London.

CAPÍTULO VII:
PROPOSTA DE DUAS METODOLOGIAS CONVERGENTES

RESUMO

Nos últimos anos, duas ferramentas científicas apareceram com a finalidade de medir o impacto humano na natureza: a Pegada Ecológica e Análise Emergética. Seus métodos são diferentes, mas eles buscam resolver o mesmo problema: estimar a diferença entre a produção de recursos naturais e a demanda da humanidade. Partindo da hipótese de que é possível combiná-las, neste capítulo foram propostos dois métodos convergentes entre Análise Emergética e Pegada Ecológica: (a) a Pegada Ecológica Emergética (ou Energy Ecological Footprint – EEF), e (b) a Pegada Ecológica baseada no NPP emergético (ou Ecological Footprint Based on Energy NPP – EF-ENPP). Estes enfoques foram utilizados na avaliação do impacto da economia peruana no ambiente. Os resultados indicam uma pior situação do que a mostrada através da pegada ecológica, e uma melhor situação do que a mostrada pela Análise Emergética.

7.1. INTRODUÇÃO

Como foi concluído no Capítulo 3 desta tese, não existe até o momento uma metodologia de consenso para avaliar a sustentabilidade de uma economia nacional, mas duas metodologias aparecem como boas alternativas: a Pegada Ecológica (EF), e Análise Emergética (EMA). A primeira utiliza uma linguagem de fácil entendimento, entretanto a grande vantagem da segunda é a capacidade de considerar todo o trabalho feito pela natureza na produção de recursos usada pela economia.

A EF é uma ferramenta muito usada na comunidade mundial, estimulada por sua forma didática de mostrar o impacto da sociedade na natureza, como área necessária para suportar seu consumo. Mas a EF recebeu muitas críticas, como acontece com outras ferramentas que avaliam a sustentabilidade (Levett, 1998; van de Bergh e Verbruggen, 1999; Ayres, 2000; Moffatt, 2000; Rapport, 2000; van Kooten e Bulte, 2000; Pearce, 2000; Venetoulis e Talbert, 2007; Wiedmann e Lenzen, 2007; Lenzen et al., 2007). No capítulo 4 desta tese foi feita uma discussão detalhada dessas críticas.

A Pegada Ecológica convencional é também conhecida como EF-GAEZ já que utiliza os índices das “Zonas Ecológicas Agrícolas Globais” preparadas pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura). Os índices GAEZ são utilizados para

calcular os Fatores de Equivalência. Mas este fator subestima os processos relevantes que incrementam a pegada e reduzem a biocapacidade. Os autores da EF reconhecem estas falhas (Wackernagel et al., 2002).

As deficiências da EF-GAEZ são descritas nas seguintes linhas:

- O método conta cada área somente uma vez, mesmo se a área fornece dois ou mais serviços ecológicos por vez, à exceção de florestas, as quais são contabilizadas duas vezes, uma como área bioprodutiva para fornecer produtos florestais, e outra como área disponível para absorver as emissões de CO₂ (Monfreda et al., 2004); mas as florestas também fornecem outros serviços ecológicos, como a manutenção do ciclo hidrológico, conservação do solo, filtragem de poluentes, etc., serviços que não são contabilizados. Por outro lado, não só as florestas têm a função de absorver o CO₂, mas também os oceanos, as zonas de cultivo, de pastos, etc. Embora alguns deles absorvam CO₂ em menor proporção do que as florestas, também necessitam ser contabilizados. Além do mais, áreas não produtivas ou pouco produtivas como montanhas, desertos, tundra, zonas coberta por gelo, etc., não são contabilizadas na EF-GAEZ (Venetoulis e Talberth, 2007). Apesar de terem baixa ou nula produtividade, apresentam outros serviços ecossistêmicos que devem ser contabilizados na biocapacidade. Assim, a EF-GAEZ escolhe as estimativas mais conservadoras quando se tem dados insuficientes para os cálculos.
- A EF-GAEZ contabiliza o uso de energia como derivado de combustíveis fósseis, em termos de suas emissões de dióxido de carbono, embora seja também possível avaliar a pegada ecológica do uso da energia em termos da área de terra requerida para sustentar as alternativas de bio-combustível. A EF-GAEZ assume uma taxa de seqüestro de 0,95 t C/ha/ano (Wackernagel et al., 2005). Assim, por cada tonelada métrica de carbono emitido (diminuindo-se a porção seqüestrada pelos oceanos, 65%) a EF-GAEZ assume uma pegada de 1,05 hectares. Mas este cálculo está baseado no seqüestro de CO₂ apenas por florestas em dois anos pontuais (1980 e 1990), desconsiderando o CO₂ absorvido por outros ecossistemas e assumindo que as taxas de seqüestro não mudaram com o tempo.
- As contas nacionais da EF-GAEZ usam atualmente estimativas que praticamente desconsideram a energia incorporada nos bens. A energia, incorporada com os

materiais e produtos, usada para calcular a pegada, poderia ter um impacto significativo nos resultados. Estudos de cálculos de energia incorporada sugerem que a pegada atual poderia ser aproximadamente 30% mais alta (Loh, 2002). Este autor reconhece a importância de melhorar a metodologia neste ponto, e de fornecer um retrato mais exato da apropriação humana da natureza.

- A EF-GAEZ exclui aquelas atividades que reduzem a capacidade de regeneração da natureza. Por exemplo, o uso de materiais para os quais a biosfera não tem nenhuma capacidade de assimilação significativa (plutônio e outros elementos radioativos associados com a produção de energia nuclear, bifenilos policlorinados (PCBs), e clorofluorocarburetos (CFCs). Também são excluídos processos que danificam irreversivelmente a biosfera (por exemplo, extinção de espécies, destruição de aquíferos, desmatamento, desertificação, etc.) (Loh e Wackernagel, 2004).
- A EF-GAEZ não inclui no seu cálculo a pegada do uso de água doce. A captação de água doce pode ser uma função secundária de algumas áreas da terra, mas em outros casos, por exemplo, em zonas áridas do mundo onde a água é um fator limitante, o uso da água compete diretamente com outras funções primárias do ecossistema. Além disso, atualmente do total de água que chega aos rios e lagos a metade é usada em processos antrópicos (Hassan et al., 2005).
- A EF-GAEZ também desconsidera alguns aspectos relevantes no caminho da sustentabilidade como, a erosão do solo, reciclagem, liberação de desperdícios sólidos, líquidos, e gasoso (diferentes a CO₂), etc. A erosão e as emissões de lixo excessivo podem começar a comprometer as funções primárias dos ecossistemas, logo se torna importante saber os impactos destes processos. Entretanto é difícil identificar dados que documentem estes impactos, o que conduz a subestimar o verdadeiro impacto de atividades humanas no planeta.

Análise Emergética (EMA) é um método mais robusto que a EF porque considera fluxos de energias adquiridas (produtos e serviços) e especialmente porque considera a hierarquização das energias (transformidades). Mas que também apresenta deficiências, principalmente de critérios e precisões, que se discutem nas seguintes linhas:

- EMA não define qual é o indicador de sustentabilidade, se a Renovabilidade (REN) (Brown e Ulgiati, 2004) ou o Índice de Sustentabilidade Emergético (EmSI).
- Atualmente, EMA não tem um padrão do que é sustentável ou insustentável. Por exemplo, alguns autores indicam que sob uma perspectiva de longo período, sistemas com altos valores de REN são sustentáveis (Brown e Ulgiati, 2004), mas qual é o valor mínimo de REN para sejam considerados sustentáveis? Situação similar ocorre com o EmSI. Brown e Ulgiati (1997) sugeriram o uso do Índice de Sustentabilidade Emergético (ou EmSI por suas siglas em inglês *Emergy Sustainability Index*) para avaliar a sustentabilidade de sistemas. No caso de países, Brown e Ulgiati (1997) dão a seguinte interpretação a este índice: $EmSI < 1$ significa economias em desenvolvimento; $1 < EmSI < 10$ significa economias desenvolvidas; e $EmSI > 10$ significa economias com sobrecarga ambiental. Assim, o EmSI parece ser um índice do grau de desenvolvimento do país e não de sustentabilidade. Para o caso de processos e produtos o uso do EmSI é melhor interpretado. Brown e Ulgiati (2002) indicam o seguinte: $EmSI < 1$ significa que os produtos e processos não são sustentáveis a longo prazo; $EmSI = 1$ significa que os produtos e processos são sustentáveis; e, $EmSI > 5$ os processos e produtos são altamente sustentáveis.
- Até o momento, EMA não tem um método satisfatório para determinar o volume de fluxo renovável usado no sistema. EMA considera somente o maior fluxo renovável entre todos os fluxos renováveis para evitar a dupla contabilidade (Odum, 1996). Esta pode ser uma solução temporal para estimar os fluxos renováveis externos usados pelos sistemas, mas consideramos que esta não é uma forma sutil, correta, nem exata. Por outro lado, sendo que EMA surgiu para contabilizar serviços ambientais que a economia convencional não pode fazer, surpreende que a maioria de trabalhos com EMA não considerem nos cálculos o fluxo de capital dos serviços ambientais que contribuem à saúde do sistema, sem os pagamentos monetários.
- Uma limitação da EMA é a escassa informação de indicadores emergéticos (principalmente, transformidade e renovabilidade) de muitos recursos e processos. Como a transformidade muda com o tempo, os estudos da dinâmica dos sistemas através do tempo, podem ser inexatos.

É um fato que as vantagens superam as limitações destas duas metodologias, mas é possível melhorar estes enfoques. Assim, neste capítulo propomos duas alternativas metodológicas convergentes entre EF e EMA.

7.2. MÉTODOS PROPOSTOS

Duas novas metodologias, com a finalidade de melhorar o enfoque original da EF-GAEZ, foram propostas: (a) a Pegada Ecológica Emergética (Zhao et al., 2005)¹⁶; e (b) a Pegada Ecológica Baseada na Produtividade Primária Líquida (EF-NPP) (Venetoulis e Talbert, 2007).

O enfoque proposto por Zhao et al. (2005) é muito interessante porque introduz a EMA na EF, mas mantém os problemas encontrados nas metodologias originais. Já na proposta de Venetoulis e Talbert (2007) os autores usaram critérios científicos que resolvem alguns pontos fracos da EF convencional.

No intento de refinar estes enfoques, se propõe, a seguir, duas metodologias de convergência entre EMA e EF:

- A pegada ecológica emergética (EEF).
- A pegada ecológica baseada no NPP emergético (EF-ENPP).

7.2.1. Pegada Ecológica baseada na Emergia (ou Emergy Ecological Footprint – EEF)

Uma das deficiências do trabalho de Zhao et al. (2005) é considerar a Biocapacidade como igual ao maior fluxo de emergia renovável. EMA considera válido este procedimento só para calcular a quantidade de recursos renováveis que os sistemas consomem (Odum, 1996), mas não para calcular a quantidade total de capital natural (biocapacidade). Ahamos que no cálculo da biocapacidade, inclusive recursos não renováveis (como estoques de petróleo) têm que ser contabilizados. Em outras palavras, a proposta de Zhao et al. (2005) considera uma biocapacidade baseada nos fluxos externos renováveis e não considera os fluxos derivados das reservas interiores disponíveis.

¹⁶ Siche et al. (2007) reproduziram a proposta de Zhao et al. (2005) para o caso peruano (Apêndice 4).

Nesta seção, se considerou a proposta de Zhao et al. (2005) com a incorporação de algumas idéias conceituais da EF-GAEZ (Wackernagel et al., 2005). A proposta de Zhao et al. (2005) é simples e consiste em calcular a biocapacidade como recursos renováveis e a pegada como o consumo do sistema. Todos os fluxos são calculados como fluxos de energia em joules (J) e logo convertidos a Emjoules (seJ) utilizando a transformidade como fator de conversão. Finalmente, usando a densidade emergética (seJ/ha) (global para a biocapacidade e local para o consumo), os fluxos se convertem em área (ha). Mas, as deficiências da EF-GAEZ e EMA ainda permanecem.

Assim, foram incorporadas neste trabalho quatro mudanças para melhorar a proposta de Zhao et al. (2005):

- a. Calcular a biocapacidade como função dos recursos renováveis disponíveis, considerando a energia solar, energia geotérmica, energia gravitacional, e a energia de reserva da biomassa. Propomos aqui um procedimento padrão para calcular a biocapacidade de um sistema ou processo. Este procedimento é base do cálculo da biocapacidade no enfoque EEF.
- b. Considerar a área total do sistema avaliado. A EF-GAEZ considera só uma fração da área total.
- c. Considerar uma reserva de 14,2%¹⁷ na área da Biocapacidade para cobrir as necessidades de outras espécies. Poderia ser mais, por exemplo, 25% ou 50%.
- d. Incluir duas categorias importantes que implicam no uso dos recursos naturais: perda do solo e consumo de água. Estas categorias não são consideradas na EF-GAEZ, mas são muito importantes para obter resultados mais exatos.

7.2.1.1. Cálculo da biocapacidade (BC) no enfoque EEF.

A biocapacidade (BC) é calculada como função dos recursos renováveis disponíveis. A quantidade de recursos renováveis para o Peru foi calculada contabilizando-se as seguintes fontes de energia: solar, gravitacional, geotérmica e biomassa. A EF-GAEZ considera a soma das áreas bioprodutivas de um sistema nacional. O cálculo para o Peru pode ser encontrado no Apêndice 1.

¹⁷ Esta porcentagem corresponde ao território protegido no Peru para a preservação da biodiversidade (INRENA, 2006)

A conversão de energia a fluxos de energia se realizou utilizando-se a “transformidade” (Anexo 4):

$$\text{Energia (seJ)} = \text{Energia do recurso (J)} \times \text{Transformidade do recurso (seJ/J)}$$

Posteriormente, a energia por pessoa é calculada através da divisão de cada fluxo emergético pela população do país.

Para obter a biocapacidade per capita (BC_p) em unidades de área, dividimos a energia da biocapacidade per capita (EMB_p) de cada fluxo pela densidade emergética global (DEG) a qual é $3,1 \times 10^{10}$ seJ/m² (ou $3,1 \times 10^{14}$ seJ/gha) (Zhao et al., 2005):

$$BC_p (\text{gha} / \text{pessoa}) = \frac{EMB_p (\text{seJ} / \text{pessoa})}{DEG. (\text{seJ} / \text{gha})}$$

Finalmente, somam-se os fluxos (gha/pessoa) e retiram-se os 14,2% destinado à preservação de outras espécies. O valor obtido representa a biocapacidade disponível em hectares globais percapita (gha/pessoa) do sistema avaliado.

7.2.1.2. Cálculo da pegada (EF) no enfoque EEF.

O consumo foi dividido em sete categorias: agrícola (alimentos e perda de solo), pecuária, pesca, madeira e lenha, energia não renovável, hidroeletricidade e água para uso humano. O consumo de cada categoria (à exceção de perda de solo e água) foi calculado através da seguinte expressão:

$$\text{Consumo} = \text{produção} + \text{importação} - \text{exportação}$$

A categoria perda de solo (SL) em joules foi calculada usando-se a seguinte equação, onde a matéria orgânica é estimada em 3%:

$$SL (J) = SL(\text{g/m}^2/\text{ano}) * \text{Superfície colheitada}(\text{m}^2) * (\% \text{ orgânico}) * 22604,4 (J/\text{g})$$

A categoria “água” foi contabilizada como água tratada (1,68 bilhões de m³ ou $8,30E+15$ J), equivalente ao consumo doméstico.

O procedimento para converter cada fluxo em hectares globais é similar ao utilizado no cálculo da BC neste enfoque. Cada categoria de consumo é expressa em joules, e converte-se à energia através da transformidade. A energia percapita foi obtida dividindo-

se o fluxo emergético pela população. A densidade emergética global foi usada para converter cada categoria em hectares globais.

O uso da DEG é diferente do uso da densidade emergética local (*DEL*), como foi proposto por Zhao et al. (2005). Em outras palavras, ao utilizar DEL (em seJ/ha; onde “ha” equivale a hectares locais) obtém-se uma pegada em hectares locais, mas, ao utilizar DEG (em seJ/gha; onde “gha” equivale a hectares globais) obtém-se uma pegada em hectares globais. A pegada obtida utilizando-se a DEG tem a mesma base usada para a biocapacidade, portanto permitindo a comparação entre as duas.

7.2.2. Pegada Ecológica baseada no NPP emergético (Ecological Footprint – Emery Net Primary Production – EF-ENPP)

Prévio a este trabalho, um método para calcular a EF baseada no NPP foi proposto por (Venetoulis e Talberght, 2007). Os autores chamaram o método de Pegada Ecológica baseada na Produção Primária Líquida (EF-NPP), para o qual usaram critérios científicos que resolvem alguns pontos fracos da EF-GAEZ.

Para melhorar o enfoque do EF-NPP, propomos um novo método que denominamos Pegada Ecológica Baseada na Produção Primária Líquida Emergética ou EF-ENPP. Sua novidade principal é o cálculo de novos EQF's baseados no NPP em unidades de energia. Assim, EF-ENPP utiliza as idéias dos três métodos: EF-GAEZ (Wackernagel et al., 2005), EF-NPP (Venetoulis e Talberght, 2007) e EMA (Odum, 1996).

Assim, sugerimos cinco mudanças no cálculo da EF-GAEZ. Estas mudanças são as seguintes:

- a. Calcular os EQF's como função da Produção Primária Líquida Emergética (Emery Net Primary Production - ENPP). O NPP em unidades emergéticas (seJ/m²/ano) é calculado através da Transformidade (seJ/g) usando o software BIOMASSv1.0 (Siche et al., 2006a).
- b. Considerar a área total do sistema avaliado, incluindo os oceanos e áreas com pouca produtividade biológica (desertos, tundra, e áreas cobertas de gelo).
- c. Incluir o consumo de água utilizada nos processos de captação, tratamento e transporte (uso doméstico).

- d. Considerar 14,2% da biocapacidade total para as necessidades de outras espécies. Esta porcentagem foi escolhida porque o 14,2% do território do Peru está protegido para a preservação da biodiversidade (INRENA, 2006).
- e. Atualizar o ritmo de absorção de carbono com dados publicados pelo IPCC (2004).

7.2.2.1. Novos Fatores de Equivalência (EQF)

A EF-GAEZ usava, em alguns estudos, os dados do NPP para calcular os Fatores de Equivalência, mas não houve uma continuidade devido à baixa qualidade desses dados (BRASS, 2006). Retornar a essa base em futuros cálculos da pegada, quando o NPP possa ser estimado através de imagens por satélite, deveria ser considerado.

Por outro lado, o modelo Biomass v.1.0 (Siche et al., 2006; Apêndice 6) aparece como uma opção para estimar o NPP. Para o cálculo dos EQF's no enfoque EF-ENPP, diversos modelos foram usados para calcular a transformidade da biomassa produzida nos ecossistemas (Tabela 7.1). A Tabela 7.1 mostra a biomassa (NPP em $\text{g}/\text{m}^2/\text{ano}$) e as transformidades (seJ/J) para cada ecossistema e os EQF's calculados.

Neste trabalho,

“o EQF indica a relação entre a produção primária líquida de um ecossistema terrestre ou marinho (valor da media global expressa em energia) e a produção primária líquida correspondente à soma de todos os ecossistemas marinhos e terrestres (em energia)”.

Na EF-ENPP, as zonas de pastagem incluem: cerrado (NPP=360 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{ano}$), savana tropical (NPP = 790 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{ano}$) e pradaria temperada (NPP = 350 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{ano}$). Zonas de floresta incluem: floresta tropical (NPP = 925 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{ano}$), temperada e plantações florestais (NPP = 670 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{ano}$), floresta boreal (NPP = 355 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{ano}$), e bosques temperados (NPP = 700 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{ano}$). Zonas de baixa produtividade incluem: tundra ártica e alpina (NPP = 105 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{ano}$), semi-deserto (NPP = 67 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{ano}$) e deserto extremo (NPP = 11 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{ano}$).

NPP dos sistemas terrestres foram obtidos de Amthor et al. (1998) e dados de NPP de sistemas marinhos foram obtidos de Thom et al. (2001).

É interessante observar a alta produtividade de zonas úmidas ou pântanos (wetlands) (NPP = 1180 g C/m²/ano). Wetland constitui um ambiente de interface entre ecossistemas verdadeiramente terrestres e ecossistemas verdadeiramente aquáticos, que o faz diferente de cada um, mas altamente dependente de ambos (Mitsch e Gosselink, 1986). Em essência, pântanos abrigam uma considerável biodiversidade e endemismo. Por estes motivos, o bioma pântano foi separado dos outros com a finalidade de avaliar sua biocapacidade.

Tabela 7.1. Cálculo dos Fatores de Equivalência (EQF) para ecossistemas globais, baseados nas NPP's expressas em joules equivalentes solares (seJ/m²/ano).

Zonas	NPP _{MASS} ⁽ⁱ⁾ (g/m ² /ano)	NPP _{ENERGY} ⁽ⁱⁱ⁾ (J/m ² /ano)	Tr _{NPP} ⁽ⁱⁱⁱ⁾ (seJ/J)	ENPP ^(iv) (seJ/m ² /ano)	EQF ^(v) (gha/ha)
Zonas de Cultivo	944,44	14232400	3253,54	4,6306E+10	1,9661
Zonas de pastagem	1111,11	16744000	1995,06	3,3405E+10	1,4183
Floresta	1472,22	22185800	855,41	1,8978E+10	0,8058
Zonas de baixa produtividade	135,56	2042768	9960,00	2,0346E+10	0,8639
Zonas pantanosas	2622,22	39515840	150,57	5,9501E+09	0,2526
Água continental e glacial	222,22	3348800	9960,00	3,3354E+10	1,4162
Zonas urbanizadas ^(vi)	722,22	10883600	3253,54	3,5410E+10	1,5035
Total Terrestre	868,89			2,3552E+10 ^(vii)	
Zonas de pesca	246,67	3717168	9000	3,3455E+10	2,0293
Oceano aberto	102,22	1540448	9000	1,3864E+10	0,8410
Total Marinho	126,67			1,6486E+10 ^(vii)	

(i) NPP de ecossistemas terrestres de Amthor et al. (1998) e no caso de ecossistemas marinhos de Thom et al. (2001). Foi assumido que biomassa tem 45% de C;

(ii) $NPP_{ENERGY}(J/m^2/ano) = NPP_{MASS}(g/m^2/ano) * 3,6(Kcal/g) * 4186(J/kcal)$;

(iii) A transformidade da NPP (Tr-NPP) para biomas terrestres foi calculada com a seguinte equação: $Ln(Tr_{NPP}) = 28,703 - 3,0093 Ln(NPP_{MASS})$ (Siche et al., 2006). Para ecossistemas marinhos uma transformidade de 9000 seJ/J foi considerada (Odum, 1996);

(iv) $ENPP(Emergy-NPP) = NPP_{ENERGY} * Tr_{NPP}$;

(v) $Fatores\ de\ Equivalência\ (EQF) = \frac{ENPP_{BIOMA}(seJ/m^2/ano)}{ENPP_{GLOBAL}(seJ/m^2/ano)}$;

(vi) $NPP_{MASS_zonas_urbanizadas} = NPP_{MASS_cultivo} - NPP_{MASS_área_humana}$. Onde: $NPP_{MASS_área_humana} = 100/0,45 = 222,22\ g/m^2/ano$ (Amthor et al., 1998);

(vii) Energia total da NPP dos ecossistemas terrestres (3,03E+22 seJ/ano) sobre a área total terrestre (1,29E+12 m²), e energia total de NPP dos ecossistemas marinhos (1,07E+22 seJ/ano) sobre a área total marinha (6,52E+11 m²).

Por outro lado, os biomas “lagos e rios” e “gelo perpétuo” foram unidos e considerados na mesma categoria, já que no Peru grande parte do consumo de água doce na costa provém do degelo dos glaciais das zonas alto andinas. Os ecossistemas marinhos considerados nesta análise foram a plataforma continental (zonas de pesca intensiva) e o oceano aberto. O oceano aberto tem uma produtividade relativamente baixa ($NPP = 46 \text{ g C/m}^2/\text{ano}$) se comparada com a plataforma continental ($NPP = 111 \text{ g C/m}^2/\text{ano}$), mas que desempenha uma função ecossistêmica importante: absorver 77% das emissões de CO_2 (IPCC, 2004).

O EQF de zonas urbanizadas foi calculado através da diferença entre a NPP de zonas agrícolas ($944,44 \text{ g/m}^2/\text{ano}$) e o NPP de cidades ($222,22 \text{ g/m}^2/\text{ano}$) (Tabela 7.1), de forma diferente daquela proposta por Venetoulis e Talberth (2007). O resultado ($722,22 \text{ g/m}^2/\text{ano}$) representa o impacto das cidades que ocupam áreas produtivas (zonas de cultivos). Se as cidades ocupassem áreas que não são consideradas como zonas agrícolas, esta informação teria que ser considerada no cálculo da NPP de zonas urbanizadas.

7.2.2.2. Fatores de Rendimento (YF) e a Produtividade Média Global (GAP).

A Tabela 7.2. mostra os dados utilizados no cálculo da BC e a EF. Os cálculos de YF e GAP estão no Apêndice 8.

7.2.2.3. Cálculo da biocapacidade (BC) no enfoque EF-ENP

Para o cálculo da biocapacidade do Peru, todos os biomas foram considerados, já que todos eles cumprem funções que devem ser levadas em conta. Foram considerados: tundra, desertos, zonas cobertas por gelo e o oceano (Tabela 7.3). O valor de zonas construídas foi obtido do relatório da EF-GAEZ (Hails et al., 2006) para o ano 2003. Na EF-ENPP, zona para absorção de CO_2 inclui toda a área sob análise (continental e marinha), exceto área construída. De acordo com os modelos do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2004), anualmente os oceanos absorvem 2,3 Gt C e zonas continentais 0,7 Gt C. Assim, por cada tonelada de Carbono emitido, a EF-ENPP estabelece uma pegada de 17,97 ha, ou 0,0556 t C/ha. A EF-GAEZ estabelece uma pegada de 0,95 t C/ha.

Tabela 7.2. Fatores de Equivalência e de Rendimento Local, e Rendimentos médios globais usados nos cálculos da EF-ENPP do Peru para o ano 2004.

Bioma	Fator de Equivalência gha/ha	Fator de Rendimento ⁽ⁱ⁾	Produtividade (valores médios globais)
Zonas de cultivo	1,9661	1,6090	4,7525 t/ha
Zonas de pastagem	1,4183	0,2444	0,5172 t/ha
Floresta	0,8058	0,3825	5,6887 m ³ /ha
Zonas de baixa produtividade	0,8639	0,2444 ⁽ⁱⁱ⁾	-
Zonas pantanosas	0,2526	1,0000 ⁽ⁱⁱⁱ⁾	-
Água continental e de glaciais	1,4162	1,0000 ⁽ⁱⁱⁱ⁾	0,00018 ^(vi) t C/m ³ de água
Zonas urbanizadas	1,5035	1,6090 ^(iv)	1,6090 ^(v)
Zonas de pesca	2,0293	2,7310	0,0541 t/ha
Oceano aberto	0,8410	2,7310	-

- (i) Fator de rendimento = Rendimento Nacional de uma área / Rendimento Global da mesma área produtiva;
- (ii) Considerada igual a zona de pastagem, por possuir menor Fator de Rendimento dos biomas terrestres;
- (iii) Devido à falta de dados para estes biomas, assumimos que a produtividade de águas continentais, glaciais e zonas pantanosas do Peru são a mesma que de águas continentais, glaciais e zonas pantanosas do Mundo;
- (iv) Já que zonas urbanizadas geralmente se levantam em áreas adequadas para a produção de alimentos (zonas de cultivo), a EF considera que elas têm o mesmo Fator de Rendimento;
- (v) O Rendimento Médio Global é considerado igual ao Fator de Rendimento Local;
- (vi) Sugerido por Jenkin e Stentiford (2005). Isto corresponde à soma de água coletada (0,1 t C/ml) e água tratada (0,08 t C/ml).

A Biocapacidade (BC) de cada ecossistema “i” é calculada com a seguinte equação:

$$BC_i = A_i \times YF_i \times EQF_i$$

Onde:

A_i : Área do bioma sob estudo;

YF_i : Fator de rendimento de cada área (Tabela 7.2);

EQF_i : Fator de Equivalência de cada área (Tabela 7.2).

Este trabalho considera a absorção de CO₂ pelos lagos, rios e glaciais de forma separada, com o objetivo de compará-la com a pegada do consumo de água doce. A BC da água doce é calculada da seguinte forma:

$$BC_{\text{água doce}} = \text{Área} \times EQF_{\text{água doce}} \times YF_{\text{água doce}} + \text{Área para absorção de CO}_2$$

Tabela 7.3. Área das zonas consideradas no cálculo da biocapacidade no enfoque EF-ENPP.

Zona	Área (ha)	Observações	Referência
Cultivos	2,7285E+06	Como área de superfície colheitada no ano 2004.	Cilloniz, 2006
Pastos	3,6180E+07	Soma das zonas de pastagem natural, pradarias e estepes, e novas áreas de pastos, como produto do desmatamento.	Castro, 2001
Floresta	6,8742E+07	Florestas naturais e reflorestadas.	FAO, 2006
Zonas de baixa produtividade	1,0312E+07	Zonas não consideradas nas categorias anteriores (tundra e desertos). Calculada como diferença da extensão total do Peru (1,2852E+08) e zonas de cultivos, pastos, floresta, águas continentais e glaciais, pântanos e construções.	
Zonas úmidas	6,4585E+06	Zonas pantanosas.	Inrena e Minag, 2005
Água continental e glacial	2,9043E+06	Superfície ocupada por lagos e rios (2,7348E+06 ha) mais glaciais (1,6950E+05 ha).	Inrena e Minag, 2005
Construções	1,1965E+06	Valor deduzido.	Hails et al., 2006
Zonas de pesca	8,7200E+06	Superfície que ocupa a plataforma continental.	FAO, 2003
Oceano aberto	5,6430E+07	Diferença entre a extensão de mar que legalmente corresponde ao Peru (6,5150E+07 ha) menos a plataforma continental (8,7200E+06).	Silva, 2006
Para Absorção de C	1,8957E+08	Superfície continental (sem incluir águas continentais, glaciais e urbanizadas) mais a marinha.	

A área para absorção de CO₂ é a mesma área de zonas com água doce (2,9043E+06 ha). Assim, a primeira parte da equação corresponde à função de produzir alimentos e a segunda à função para absorver CO₂.

Todos os valores são divididos pela população do Peru para o ano 2004 (27,22E+06 habitantes).

Finalmente, as áreas percapita (gha/pessoa) são somadas e deduzidas de 14,2% do total. O valor atingido representa a biocapacidade disponível (em gha/pessoa) do sistema avaliado.

7.2.2.4. Cálculo da pegada no enfoque EF-ENPP

Neste enfoque, o consumo foi dividido em sete categorias: (1) agrícola, (2) pecuária, (3) pesca, (4) madeira e lenha, (5) energia fóssil, (6) construções, e (7) água doce. O consumo de cada categoria, com exceção de energia, construções e água doce, foi calculado através da seguinte expressão:

$$\text{Consumo} = \text{produção} + \text{importação} - \text{exportação}$$

A seguinte relação foi utilizada para calcular a EF de cada categoria (EF_i) em gha:

$$EF_i = \text{Consumo}_i \times \frac{EQF_i}{GAP_i}$$

Onde:

Consumo_i : Consumo de cada categoria em t/ano ou m³/ano.

EQF_i : Fator de Equivalência de cada categoria (Tabela 7.2)

GAP_i : Rendimento Médio Global de cada categoria (Tabela 7.2) em t/ha ou m³/ha.

A pegada da energia fóssil (EF_f) foi calculada da seguinte forma:

$$EF_f = \text{Emissões de C (t C)} * \text{Área global apropriada pelas emissões (gha/t C)}.$$

A área global (terra e mar) apropriada pelas emissões de C foi considerada como 17,97 gha/t de C (IPCC, 2004). Para converter valores de CO₂ em C foi utilizado o fator 12/44.

Para calcular a pegada de zonas construídas se utilizou a mesma equação que serviu para calcular sua biocapacidade.

A pegada da categoria água doce (PCAD) foi calculada da seguinte forma:

- a. O volume de água doméstica consumida (ADC) foi calculado, sendo de 1,68 E+09 m³ para o ano 2004 (Aquastat, 2004).
- b. A seguinte equação determina a pegada do fornecimento de água doce (PCAD):

$$PCAD = ADC \times (EMC_F + EMC_T) \times (1 - CAO) \times \frac{EQF_{\text{água}}}{ACG}$$

Onde:

EMC: Emissões de C (em toneladas por cada m³ de água doméstica) devido ao uso de combustíveis fósseis na coleta e distribuição (EMC_F) e no tratamento (EMC_T) da água para seu consumo final. O valor utilizado foi de 0,1 toneladas de C por cada mega-litro de água fornecida (0,0001 t C/m³) e 0,08 toneladas de C por cada mega-litro de água tratada (ou 0,00008 t C/m³) (Jenkin e Stentiford, 2005).

CAO: Porcentagem das emissões de CO₂ absorvida pelo oceano (77%) (IPCC, 2004).

ACG: Absorção de CO₂ por sistemas terrestres (0,049 toneladas de C por hectare).

7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As duas propostas (EEF e EF-ENPP) surgem como alternativas para solucionar alguns fatores que são subestimados nos cálculos convencionais.

7.3.1. Método EEF

Neste método, EMA tem uma maior importância do que a EF-GAEZ já que todos os fluxos são usados em energia, mas o resultado é expresso em hectares globais.

A biocapacidade (BC) é a capacidade da biosfera para se regenerar (WWF, 2005). Em uma forma diferente de cálculo da pegada ecológica convencional, a biocapacidade pode ser calculada em função dos recursos renováveis.

Na Tabela 7.4 apresenta-se o cálculo da BC e na Figura 7.1 o diagrama de energia para o Peru. Em unidades energéticas (J) o sol proporciona a maior quantidade de energia (96,1%), mas em unidades emergéticas (seJ) proporciona somente 1,3%. Os fluxos emergéticos renováveis que definem a biocapacidade são: a biomassa, o recurso geotérmico e a energia gravitacional (48%, 30% e 20%, respectivamente).

Tabela 7.4. Biocapacidade do Peru segundo o método EEF, 2004.

Nota ⁽ⁱ⁾	Item	Quantidade ⁽ⁱⁱ⁾ (J)	Transformidade ⁽ⁱⁱⁱ⁾ (seJ/J)	Energia total (seJ)	Energia por pessoa (seJ/pessoa) ^(iv)	Biocapacidade (gha/pessoa) ^(iv)
Recursos renováveis						
1	Solar	7,26E+21	1	7,26E+21	2,67E+14	0,86
6	Gravitacional ^(v)	2,39E+18	73 700	1,16E+23	6,47E+15	20,84
7	Geotérmica	9,68E+18	12 000	1,76E+23	4,27E+15	13,75
42	Biomassa	2,79E+20	1000	2,79E+23	1,02E+16	33,07
Total de Recursos Renováveis						69,52
Outras espécies (14,2%) ^(vi)						9,73
Total						58,79

- ⁽ⁱ⁾ Informação adicional são apresentadas no Apêndice 1.
- ⁽ⁱⁱ⁾ Quantidade da disponibilidade do recurso no sistema.
- ⁽ⁱⁱⁱ⁾ Transformidades estão listadas e referenciadas no Anexo 4.
- ^(iv) População para Peru em 2004: 27219264 habitantes (INEI, 2006).
- ^(v) Contabilizado como energia das marés.
- ^(vi) Esta taxa corresponde ao território protegido para preservação da biodiversidade (INRENA, 2006).

A BC do Peru obtida usando o método EEF é de 58,8 gha/pessoa. Como não é possível separar a BC nas mesmas categorias que a pegada, estas não podem ser comparadas.

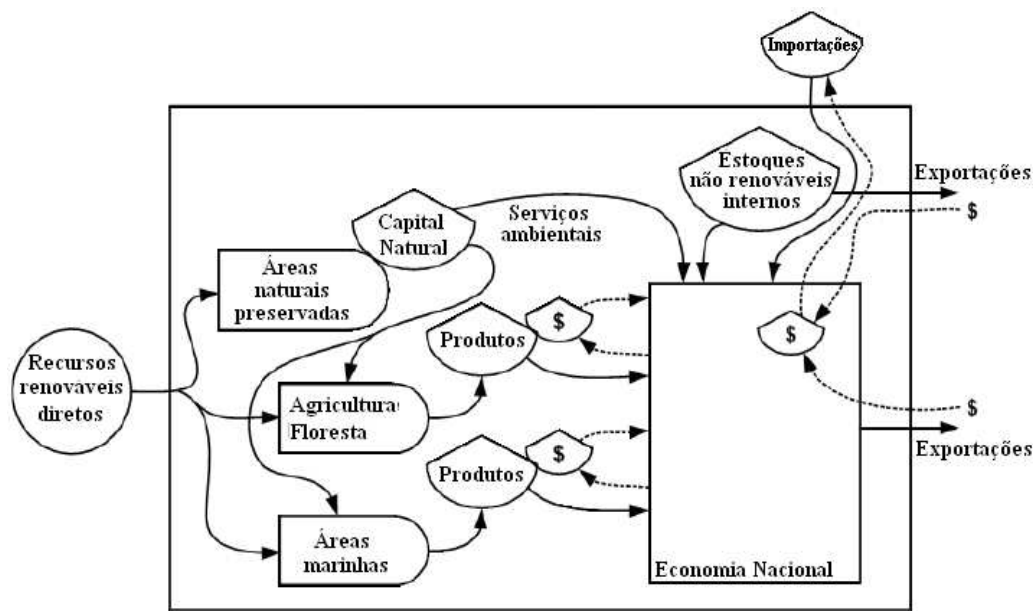


Figura 7.1. Diagrama emergético simplificado do Peru.

A BC calculada através da EF-GAEZ foi de 3,6 gha/pessoa (Siche, 2007). Ventoulis e Talberth (2007) obtiveram uma BC de 30,1 gha/pessoa com o método EF-NPP, para o ano 2001. Acreditamos que a BC calculada através da EF-GAEZ subestima os recursos peruanos, porque alguns ecossistemas não são contabilizados.

Um aspecto que gera controvérsia é a porção reservada para a proteção da biodiversidade. Diversos estudos sugerem preservar uma porção de acordo com a conservação da diversidade biológica, cultural, manutenção da paisagem e serviços dos ecossistemas (Rojstaczer et al., 2001; Levin e Levin, 2002; Rodrigues, et al., 2003; Mittermeier et al., 2004). As áreas protegidas no Peru correspondem a 14,86% da superfície total (INRENA, 2006) e decidimos utilizar esta porção no cálculo da BC (9,73 gha/pessoa, Tabela 7.4). Venetoulis e Talberth (2007) usaram uma porção de 13,4%, a qual é baixa para assegurar a manutenção do bem-estar ecológico.

A Tabela 7.5 mostra os resultados da pegada do consumo do Peru usando EEF e dados de 2004. A categoria mais importante é o consumo de alimentos da agricultura (9,7 gha/pessoa), que corresponde a 47,4% da pegada total; o segundo em importância é a energia dos recursos não renováveis (3,6 gha/pessoa) com 17,5% da pegada total. Estes resultados concordam com trabalhos publicados, que indicam a categoria “cultivos” como a mais importante na pegada do Peru (41% da pegada total: Loh e Wackernagel, 2004; 45% da pegada total: Hails et al., 2006). É importante apontar que no método EEF incluiu-se a subcategoria “perda de solo” (na categoria “agrícola”) como um elemento importante da sustentabilidade.

Embora pequena, a pegada da perda de solo tem quase o mesmo valor (0,92 gha/pessoa) que a pegada do consumo de água (1,10 gha/pessoa) e a pegada da pesca (0,97 gha/pessoa), e maior que a pegada de alguns combustíveis fósseis (0,18 gha/pessoa para o carvão; 0,30 gha/pessoa para o gás natural).

Um resultado que desperta atenção é o pequeno valor obtido da pegada pesqueira (0,97 gha/pessoa ou 4,7% da pegada total). É conhecida que esta atividade no Peru tem se tornado insustentável (Pascó-Font, 1999; Talberth et al., 2006), mas de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, o impacto desta atividade não é tão alarmante como outros autores afirmam. Uma resposta a esta contradição é que estes autores consideraram como a base de seus cálculos à produção pesqueira, e não o consumo pesqueiro como é

feito na EEF e na EF-GAEZ, que consideram a pegada exportada (consumo = produção + importação – exportação).

Segundo INEI (2005), exporta-se aproximadamente 95% da pesca do Peru, ou, em outras palavras, 95% da pegada pesqueira do Peru é exportada.

Tabela 7.5. Pegada do Peru por categorias através do método EEF, 2004.

Nota ⁽ⁱ⁾	Item	Valor em bruto (J)	Transformidade (seJ/J) ⁽ⁱⁱ⁾	Energia total (seJ)	Energia por pessoa ⁽ⁱⁱⁱ⁾ (seJ/pessoa)	Pegada (gha/pessoa)
	Agrícola			8,99E+22	3,30E+15	10,64
9, 23, 32	- Alimentos	2,44E+17	336 000	8,21E+22	3,02E+15	9,72
19	- Perda de solo	6,26E+16	124 320	7,78E+21	2,86E+14	0,92
10, 24, 33	Pecuária	7,91E+15	3 360 000	2,66E+22	9,77E+14	3,15
8	Pesca	2,44E+15	3 360 000	8,19E+21	3,01E+14	0,97
9	Madeira e lenha	8,36E+16	22 100	1,85E+21	6,79E+13	0,22
	Recursos energéticos			3,04E+22	1,12E+15	3,59
10	- Carvão	2,23E+16	66 900	1,49E+21	5,48E+13	0,18
11	- Petróleo	2,96E+17	89 000	2,63E+22	9,68E+14	3,12
12	- Gás natural	4,28E+16	58 800	2,52E+21	9,25E+13	0,30
13	Hidroeletricidade	6,51E+16	111 000	7,23E+21	2,65E+14	0,86
14	Água	8,30E+15	1 118 880	9,29E+21	3,41E+14	1,10
Total				1,56E+23	5,74E+15	20,52

⁽ⁱ⁾ As notas da Tabela 7.5 correspondem às notas do Apêndice 1.

⁽ⁱⁱ⁾ Fontes das Transformidades: Brown e MacClanaham (1996); Odum (1996); Romitelli (2000); Brown e Ulgiati (2004); Ortega (2002).

⁽ⁱⁱⁱ⁾ Considerando uma população para o ano 2004 de 27219264 habitantes (INEI, 2006).

A pegada do consumo de recursos florestais possui o menor valor das categorias analisadas (1,1% da pegada total). Este resultado concorda com anteriores pesquisas (Loh e Wackernagel, 2004; Hails et al., 2006).

O consumo do petróleo é a categoria mais importante dos recursos energéticos (87% da pegada dos recursos energéticos, Figura 7.2), o qual mostra que o Peru é dependente deste recurso. Este fato não deve mudar a curto prazo devido às políticas adotadas pelo governo, que não consideram a possível escassez futura deste recurso. Alguns estudos argumentam que o projeto de gás “Camisea” mudará a matriz energética nos próximos anos (CAN, 2004), mas a economia do Peru continuará dependendo da energia dos recursos não renováveis.

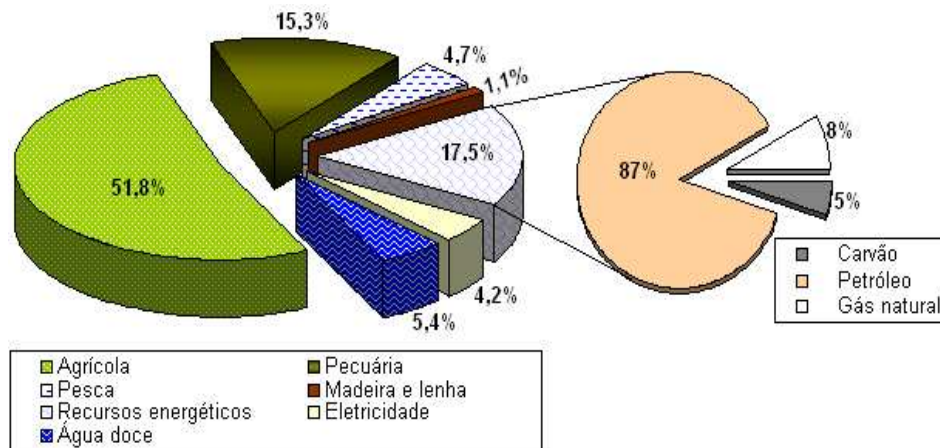


Figura 7.2. Pegada do Peru por categorias no enfoque EEF, 2004.

A pegada da hidroeletricidade (0,86 gha/pessoa) representa 4,2% da pegada total. Este valor é diferente do encontrado por Loh e Wackernagel (2004) e por Venetoulis e Talberth (2007) (1,1% com EF-GAEZ; 1,6 % com EF-NPP, respectivamente). Acreditamos que existe um elemento de distorção no cálculo desta categoria, e pode ser a transformidade utilizada ($1,11E+05$ seJ/J, Brown e Ulgiati, 2004). Estes autores calcularam a transformidade da hidroeletricidade, incluindo o trabalho e os serviços para produzi-la. Odum (1996) utilizou para os EUA em 1983 uma transformidade para eletricidade de $1,59E+05$ seJ/J, que atualizada pelo fator 1,68 equivale a $2,67E+05$ seJ/J. Os países desenvolvidos possuem maior transformidade que os países mais pobres. Assim, podemos afirmar que a transformidade da hidroeletricidade para o Peru teria que ser menor. Podemos afirmar que cada país necessita de dados de sua transformidade, já que suas características (tecnologia, trabalho, base energética, etc.) têm influencia na energia usada e conseqüentemente na sua transformidade.

Uma nova categoria incluída na EEF é a água para o consumo doméstico que inclui coleta, tratamento e fornecimento. Água para o consumo industrial e agrícola não foi considerado já que suas pegadas são insignificantes (Jenkin e Stentiford, 2005). A pegada para água consumida pela população do Peru foi de 1,10 gha/pessoa (5,4% da pegada total). Este valor é similar à pegada da pesca (0,97 gha/pessoa ou 4,7% da pegada total).

Através do mesmo critério usado na valoração da EF tradicional (saldo = biocapacidade – pegada), EEF mostra que o Peru tem um saldo ecológico positivo de: $58,8 - 20,5 = 38,3$ gha/pessoa (Figura 7.3). Isto significa 38,3 gha/pessoa de excedente ecológico. Este valor é maior do que os valores publicados usando a EF tradicional (3,4 gha/pessoa em 2001, Loh e Wackernagel, 2004; 3,0 gha/pessoa em 2003, Hails et al., 2006). Venetoulis e Talberth (2007) obtiveram um saldo ecológico de 23,1 gha/pessoa para o Peru usando o método da EF-NPP.

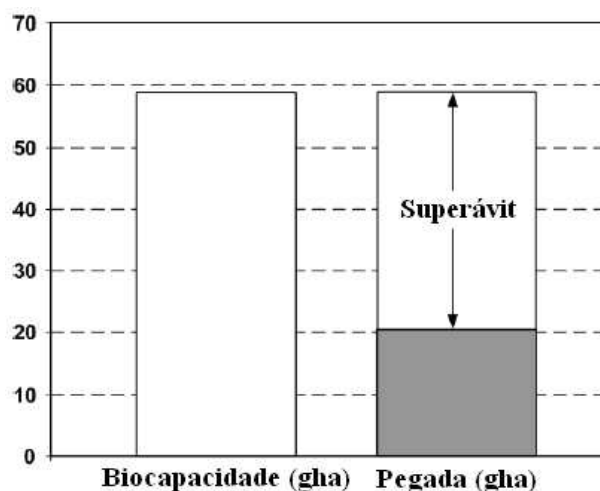


Figura 7.3. Balance ecológico para o Peru em 2004, usando o método EEF.

7.3.2. Pegada Ecológica baseada no NPP Emergético (EF-ENPP)

A zona para absorção de CO_2 é a maior área bioprodutiva do Peru na EF-ENPP com 6,9 gha/pessoa (Tabela 7.6). Este valor é cinco vezes maior que 1,3 gha/pessoa (Siche, 2007) para zonas de absorção de CO_2 calculada através da EF-GAEZ. Na EF-GAEZ, as áreas florestais são utilizadas para calcular a BC de absorção de CO_2 (Monfreda et al., 2004). Na EF-ENPP, para calcular a BC da absorção de CO_2 é considerada toda área natural capaz de realizar fotossínteses (florestas, oceano, desertos, águas continentais, etc.).

O oceano aberto constitui o segundo componente mais importante da BC do Peru (4,7 gha/pessoa, Tabela 7.6). Esta área e outras de baixa produtividade (tundra, águas continentais e glaciais, e áreas úmidas) não são consideradas no método EF-GAEZ, mas sim no EF-NPP de Venetoulis e Talberth (2007) que fornece um melhor valor de BC. Considerando todos os serviços ecossistêmicos no cálculo da BC, resultará em um melhor valor da capacidade de carga do sistema sob avaliação.

Zonas de pesca e florestas aparecem com 1,7 e 0,7 gha/pessoa, respectivamente. Águas continentais e glaciais aparecem como outra importante contribuição para a BC do Peru (0,5 gha/pessoa). É necessário notar que é muito importante incluir a biocapacidade de zonas de água doce, um elemento chave na sustentabilidade de um país (WWAP, 2006).

Estes resultados contradizem os valores reportados por Loh e Wackernagel (2004) e Hails et al. (2006). De acordo com eles, zonas de floresta, zonas de pastagem, e zonas de pesca possuem uma grande biocapacidade. Segundo Hails et al. (2006) as zonas de floresta possuem o 64% da biocapacidade do Peru, seguido das zonas de pastagem (14%) e de pesca (10%). Mas, devido à dupla função que exercem florestas e zonas de pesca (fornecedoras de matéria prima e absorvedoras de CO₂), na EF-ENPP, a biocapacidade destas áreas foi separada segundo suas funções. Assim, todas as áreas são consideradas como zonas de absorção de CO₂ (incluído florestas e oceano). Acreditamos que essas considerações são importantes para diferenciar e contabilizar os serviços ecossistêmicos que cada uma destas zonas fornece ao país.

Tabela 7.6. Biocapacidade do Peru usando o método EF-ENPP, 2004.

Bioma	Área (ha)	Biocapacidade Bruta (gha/pessoa)	Biocapacidade para outras espécies (-14,2%)	Biocapacidade Líquida (gha/pessoa)
Cultivo	2 728 481	0,3171	0,0450	0,2721
Pastagem	36 180 000	0,4608	0,0654	0,3953
Floresta	68 742 000	0,7784	0,1105	0,6678
Zonas de baixa produtividade	10 311 803	0,0800	0,0114	0,0686
Zonas pantanosas	6 458 500	0,0599	0,0085	0,0514
Água continental e glacial	2 904 274	0,5194	0,0737	0,4456
Urbanizadas	1 196 542	0,1063	0,0151	0,0912
Zonas de pesca	8 720 000	1,7754	0,2521	1,5233
Oceano aberto	56 430 000	4,7613	0,6761	4,0852
Zonas para absorção CO ₂	189 570 784	6,9646		6,9646
Biocapacidade		15,8232	1,2579	14,5652

Áreas urbanizadas, zonas de baixa produtividade e zonas úmidas, possuem a menor BC: 0,1, 0,08 e 0,05 gha/pessoa, respectivamente. Embora, zonas úmidas possuam uma pequena quantidade de BC (0,05 gha/pessoa) são importantes devido a habilidade de hospedar considerável biodiversidade e endemismo, o que deveria ser considerado na análise da EF.

De toda a BC disponível no sistema Peruano (15,8 gha/pessoa), 14,2% (INRENA, 2006) é reservado para as necessidades de outras espécies (1,2 gha/pessoa). Assim, uma BC de 14,6 gha/pessoa é disponível para uso humano.

O relatório de Hails et al. (2006) obtido com dados do ano 2003, revela para o Peru, uma BC de 3,8 gha/pessoa. No relatório de Venetoulis e Talberth (2007) se apresenta uma BC de 30,1 gha/pessoa. No primeiro caso, achamos que os autores subestimaram a BC, já que eles não incluem o oceano, os desertos, as zonas cobertas de gelo, rios, lagoas, etc. No segundo caso, essas áreas são consideradas, mas a diferença conceitual no cálculo dos EQF's produz uma distorção nos resultados em comparação com o método EF-ENPP. Venetoulis e Talberth (2007) usaram como base de seus cálculos o NPP em unidade de massa ($\text{g/m}^2/\text{ano}$), entretanto o enfoque EF-ENPP utiliza o NPP em unidades de energia incorporada ou emergia ($\text{seJ/m}^2/\text{ano}$).

Atualmente, o recurso energético é um fator chave no bem-estar sócio-econômico. A energia fóssil permite a mobilidade e o desenvolvimento, mas também contribui para mudanças do meio ambiente: mudança do clima, esgotamento de recursos, e efeitos adversos na saúde humana.

Em lugar de se utilizar a energia disponível, a energia incorporada (ou emergia) oferece uma melhor medida de energia relacionada com os processos produtivos. Emergia considera toda a energia disponível (exergia) usada nos processos de produção de recursos. Incorporando o conceito de emergia na NPP, incluímos todas as energias que possibilitaram a formação de biomassa nos ecossistemas. Por este motivo, os novos EQF's dependem da qualidade da energia e não só da massa. A qualidade da energia é medida pela transformidade, definida como a emergia usada na produção de algum tipo de energia (Jorgensen et al., 2004).

A Tabela 7.7 mostra o cálculo da pegada do Peru utilizando o método EF-ENPP. As emissões de CO_2 mostram a maior pegada (4,9 gha/pessoa), quase 75% da pegada total. Esta porcentagem torna evidente a dramática situação em relação ao uso de recursos energéticos que liberam CO_2 . Este valor supõe uma atualização da porção da taxa de seqüestro de C. O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2004) considera que os oceanos absorvem 2,3 Gt C e as zonas continentais 0,7 Gt C anualmente. Isto significa que por cada tonelada de carbono emitido, a EF-ENPP estabelece uma pegada de 17,97 ha

(17,97 ha/t C) ou 0,0556 t C/ha, diferente do valor de 0,95 t C/ha estabelecido pela EF-GAEZ.

A pegada do consumo pesqueiro é a categoria mais importante (0,80 gha/pessoa ou 12,2% da pegada total), depois das emissões de CO₂. Com menor pegada aparecem as categorias agrícola (0,28 gha/pessoa ou 4,2% da pegada total), pecuário (0,23 gha/pessoa ou 3,5% da pegada total) e água doce (0,15 gha/pessoa ou 2,3% da pegada total).

Venetoulis e Talberth (2007) calcularam as pegadas do CO₂, pesca, agrícola e pecuário (3,71 gha/pessoa ou 52,5%; 1,48 gha/pessoa ou 21,0%; 0,43 gha/pessoa ou 6,1%; e 1,20 gha/pessoa ou 17,0%, da pegada total do Peru, respectivamente), com dados do ano 2001. Como notado, uma nova categoria foi incluída no enfoque EF-ENPP: água doce.

Tabela 7.7. A pegada do Peru no método EF-ENPP, 2004.

Categoria	Quantidade	Unida de	Pegada (gha/pessoa)
Alimentos agrícolas	18 244 700	tonelada	0,2773
Alimentos pecuários	2 300 000	tonelada	0,2317
Floresta			0,0882
Madeira, papel, etc.	9 653 916	m ³	0,0502
Lenha	7 300 000	m ³	0,0380
Alimentos do mar	582 492	tonelada	0,8027
Construções	1 196 542	ha	0,1063
Água doce	3 360 000 000	m ³	0,1477
Emissões de CO ₂	7 450 480	tonelada	4,9194
Pegada			6,5734

Atualmente, o fornecimento de água para consumo humano não é identificado, nem medido pelo cálculo da pegada. Neste enfoque (EF-ENPP), a pegada da água foi calculada medindo-se a energia usada para fornecer, captar e tratar a água, como também o tratamento de águas residuais, como sugerido por Jenkin e Stentiford (2005). A pegada do consumo de água para a população do Peru foi de 0,15 gha/pessoa, valor 15 vezes maior que o valor encontrado por Jenkin e Stentiford (2005) para o sudeste da Inglaterra em 2001 (0,01 gha/pessoa). Estes resultados sugerem duas interpretações: o uso da água doméstica na Inglaterra (sudeste) tem menor impacto no ambiente que o uso doméstico da água no

Peru; ou a pegada calculada por Jenkin e Stentiford (2005) subestimou alguns parâmetros no cálculo. Segundo nossa interpretação, a pegada para o sudeste de Inglaterra está subestimada. A EF-ENPP considera o trabalho da natureza na reciclagem dos recursos, além de coletar e tratar a água. A área de captação de água também deve ser incluída na pegada da água, mas incluir esta área poderia resultar em dupla contagem das áreas existentes (zonas agrícolas, energia, pastos, floresta e mar), devido a que todas estas áreas têm a função de captar água (Chambers et al., 2000). O cálculo da pegada da água doce considerada aqui é questionável, devido a possibilidade de dupla contagem¹⁸, mas é importante considerar esta categoria em avaliações futuras de sustentabilidade (WWAP, 2006).

O consumo dos recursos florestais tem a menor pegada (0,09 gha/pessoa ou 1,3% da pegada total). Os enfoques EF-GAEZ e EF-NPP indicam pequenas pegadas na categoria florestas para o Peru (0,04 gha/pessoa na EF-GAEZ em 2003). Isto não significa necessariamente que o Peru está aproveitando de forma sustentável seus recursos florestais. Seria necessário analisar a BC e a EF para esta categoria (ou saldo ecológico, Figura 7.4).

Tabela 7.8. Saldo Ecológico do Peru no enfoque EF-ENPP por categorias.

Zona	Biocapacidade (gha/pessoa)	Pegada (gha/pessoa)	Saldo ecológico (gha/pessoa)
Cultivo	0,2721	0,2773	-0,0052
Pastagem	0,3953	0,2317	0,1636
Floresta	0,6678	0,0882	0,5796
Zonas de baixa produtividade	0,0686	--	0,0686
Zonas pantanosas	0,0514	--	0,0514
Água continental e glacial	0,4456	0,1477	0,2979
Zonas urbanizadas	0,0912	0,1063	-0,0151
Zonas de pesca	1,5233	0,8027	0,7206
Oceano aberto	4,0852	--	4,0852
Zonas absorção CO ₂	6,9646	4,9194	2,0452
PERU	14,5652	6,5734	7,9919

Na análise feita por categorias é possível observar que quase todas possuem um saldo favorável, com exceção de zonas urbanizadas (-0,02 gha/pessoa) e zonas de cultivo (-

¹⁸ Contabilizar a energia utilizada na coleta, tratamento e fornecimento da água para uso doméstico, poderia já estar incluído nas contas de emissões de CO₂ fornecidos pela FAO.

0,005 gha/pessoa). Isto indica que embora o Peru tenha um saldo ecológico favorável, suas cidades (ou as zonas urbanas) são insustentáveis e a agricultura está excedendo seus limites.

A EF-GAEZ calcula valores similares de BC e EF (Loh, 2002; Loh e Wackernagel, 2004; Hails et al., 2006). Na EF-ENPP, como também proposto pelo EF-NPP de Venetoulis e Talberth (2007), o saldo ecológico de zonas urbanizadas é negativo devido aos 14,2% (13,4% na EF-NPP) deduzidos para a preservação da biodiversidade das cidades. Assim, as cidades se apropriam das áreas onde as construções se localizam e também de áreas destinadas para preservação da biodiversidade.

O maior saldo ecológico é representado pelo oceano (4,1 gha/pessoa), devido à sua grande extensão e à inexistência de pegada. A BC disponível de oceano para uso humano é 4,1 gha/pessoa, mas estes dados poderiam estar superestimados, já que parte da pesca do Peru está localizada fora dos limites da plataforma continental, entre as 50 e 600 milhas marinhas (Mamani, 2005), porém no EF-ENPP só a plataforma continental é considerada. A categoria pesca em nossos cálculos apresenta um saldo ecológico de 0,7 gha/pessoa, maior que o saldo calculado na EF-GAEZ (0,27 gha/pessoa; Loh e Wackernagel, 2004; Hails et al., 2006).

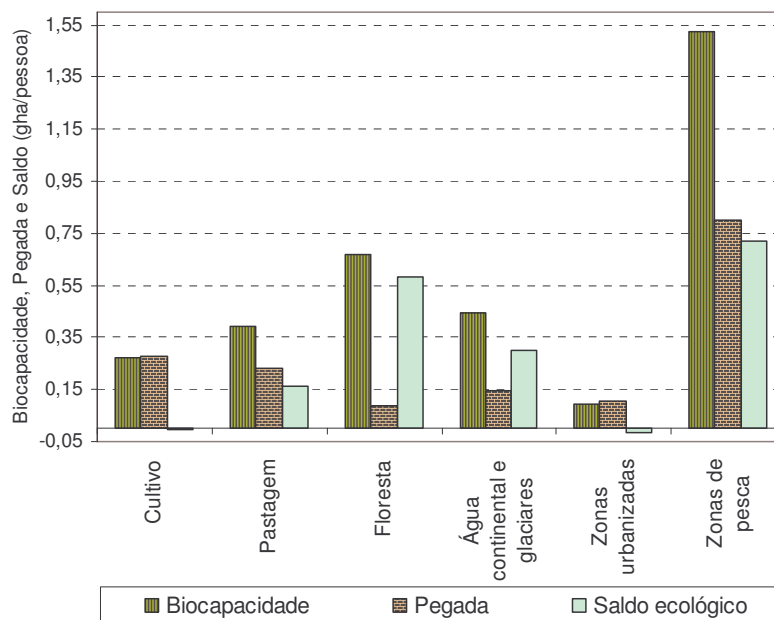


Figura 7.4. Saldo Ecológico do Peru no enfoque EF-ENPP por categorias.

Existem vários estudos de sustentabilidade da pesca do Peru (Pascó-Font, 1999; Talbert et al., 2006; OCEANA, 2006; Worm et al., 2007). Para o ano 2003, Talberth et al. (2006) calcularam para a pesca do Peru uma BC de 48,1 gha/pessoa e uma pegada 6,5 vezes maior (311,1 gha/pessoa), o qual representa um saldo ecológico negativo de 263 gha/pessoa. Os cálculos de Talberth et al. (2006) estão baseados na produção pesqueira, diferente dos cálculos da EF-ENPP e da EF-GAEZ, onde a pegada é calculada em função do consumo. Assim, sendo o consumo nossa base de cálculo e como quase o 95% da pesca do Peru é exportada (INEI, 2005), é possível dizer que aproximadamente o 95% da pegada pesqueira do Peru é exportada a outros países.

Da análise da pesca, podemos concluir que um setor (região ou país) poderia ser sustentável se usamos o consumo para calcular a pegada, e insustentável se usamos a produção. Acreditamos que para calcular a pegada em função da produção (sem considerar as importações e exportações) seria uma melhor forma de obter o verdadeiro impacto da economia em seu meio ambiente.

Existe um excedente ecológico de 8,0 gha/pessoa para o Peru (Tabela 7.8), um valor menor que o saldo encontrado pela EF-NPP (23,1 gha/pessoa; Venetoulis e Talberth, 2007), mas superior ao encontrado usando os métodos tradicionais da pegada: 3,4 gha/pessoa para o ano 2001 (Loh e Wackernagel, 2004) e 3,0 gha/pessoa para o 2003 (Hails et al., 2006). Aparentemente a situação do Peru se apresenta melhor com o enfoque EF-ENPP, mas isto não é necessariamente correto.

7.3.3. Comparação dos enfoques existentes e propostos da EF

Na comparação do saldo ecológico do Peru, poderia interpretar-se que o país estaria ecologicamente melhor com o enfoque EF-NPP (23,1 gha/pessoa de saldo, Venetoulis e Talberth, 2006), seguido do enfoque EF-ENPP (8,0 gha/pessoa), EEF (4,6 gha/pessoa), e EF-GAEZ (3,0 gha/pessoa, Hails et al., 2006). Uma melhor análise se realiza através da divisão da Biocapacidade entre a Pegada (BC/EF), chamado Fator de Capacidade de Carga.

BC/EF (fator de capacidade de carga) significa: “quantas vezes um território pode suportar o tamanho de sua população, com seu atual estilo de vida, sem degradar seu meio ambiente ecológico”.

Se BC/EF é maior que 1 significa que o sistema é sustentável, BC/EF menor que 1 significa que o sistema é insustentável, e BC/EF igual a 1 indica que o sistema está no limite crítico.

Analisando a relação BC/EF para cada enfoque (Figura 7.5) é possível observar que a situação ecológica do Peru mostra um melhor desempenho através do enfoque EF-NPP (BC/EF = 4,26). Isto significa que, em 2001 o território peruano estava na capacidade de suportar 4,26 vezes sua população, sem degradar seu ambiente ecológico, considerando o estilo de vida desse ano. Com base no capítulo 6 desta tese, onde a BC foi contabilizada como a disponibilidade de recursos renováveis (seJ) e a EF como a energia usada no país (seJ), a relação BC/EF mostra um pior desempenho ecológico (BC/EF = 1,21), perto do limite de insustentabilidade.

Ferguson (2003) calculou a capacidade de carga de 147 países, incluído o Peru, usando como base de informação o relatório Living Planet Report 2002 (Loh, 2002). Ele conclui que o Peru, com seu atual estilo de vida é capaz de suportar 4,35 vezes sua população, valor muito próximo ao encontrado com o enfoque EF-GAEZ (BC/EF=4,05). Logicamente, a semelhança destes valores se deve ao fato de que ambos usam a mesma base de informação.

Os enfoques EEF (BC/EF=2,86) e EF-ENPP (BC/EF=2,22) propostos nesta tese aparecem com valores intermédios entre os enfoques EF-GAEZ (BC/EF=4,05) e EMA (BC/EF=1,21), talvez como resultado da convergência destes dois enfoques.

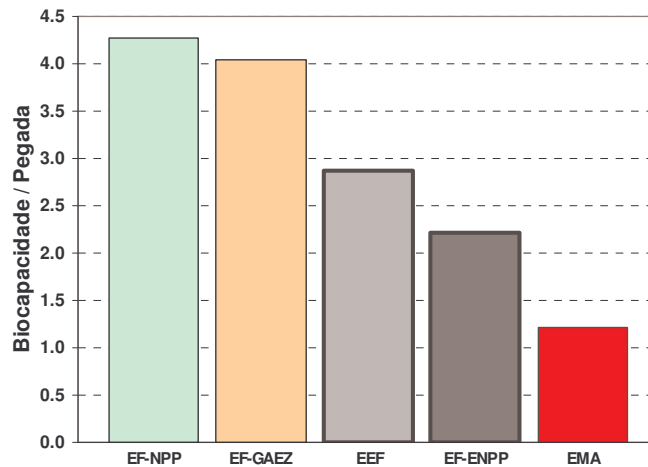


Figura 7.5. Comparação da relação BC/EF para os métodos analisados.

7.4. CONCLUSÕES

Neste capítulo propuseram-se duas metodologias convergentes da Pegada Ecológica Convencional (EF-GAEZ) e da Análise Emergética (EMA): Pegada Ecológica Emergética (EEF) e Pegada Ecológica baseada na NPP Emergética (EF-ENPP).

A EEF tem algumas limitações, principalmente, a impossibilidade de se fazer comparações entre categorias, como é comum na EF-GAEZ e EF-NPP. Outra limitação está nos valores de transformidade usados para calcular a pegada, que são necessários para representar o processo completo de transformação e sua variação no tempo. Por outro lado, um ponto positivo da EEF é sua facilidade de aplicação na escala global porque dados de recursos renováveis e de consumo estão disponíveis.

A EF-ENPP pode ser uma boa alternativa em futuros cálculos da pegada ecológica, já que usa informação e outras ferramentas de fácil disponibilidade, faltando apenas melhorar os cálculos de transformidades do NPP para sistemas aquáticos. A principal qualidade deste método é considerar o trabalho da natureza nos fluxos de NPP que servem como base para o cálculo dos fatores de equivalência.

Os métodos propostos revelam um pior desempenho ecológico para o Peru ($BC/EF_{EEF}=2,86$; $BC/EF_{EF-ENPP}=2,22$) do que aquele mostrado pela EF-GAEZ ($BC/EF_{EF-GAEZ}=4,05$), mas um melhor desempenho do que mostrado pela EMA ($BC/EF_{EMA}=1,21$). Assim, segundo a EEF, com dados do ano 2004, o Peru está na capacidade de suportar 2,86 vezes sua população, sem degradar seu ambiente ecológico, considerando seu atual estilo de vida. Segundo a EF-ENPP a situação é um pouco pior, a capacidade de carga cai para 2,22 vezes a população do Peru no ano 2004.

Finalmente, acreditamos que os métodos aqui propostos poderiam resolver algumas deficiências da Pegada Ecológica, mas ainda é necessário considerar outros fluxos que permitam interpretar de forma mais exata o impacto da humanidade na natureza. Por exemplo, considerar as externalidades negativas e os serviços ecossistêmicos.

7.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayres R.U. 2000. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 32, 347-349.
- Amthor, J.S. and Huston, M.A. et al. 1998, *Terrestrial Ecosystem Responses to Global Change: A Research Strategy*, ORNL Technical Memorandum 1998/27, Ecosystems Working Group of the Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Aquastat database. 2004. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/dbase/index.htm>
- BRASS. 2006. The ESRC Centre for Business Relationships, Accountability, Sustainability and Society (Comunicação pessoal).
- Brown, M.T., Ulgiati, S. 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecol. Eng.* 9, 51-69.
- Brown, M.T.; Bardi, E. 2001. Folio #3: Emergy of ecosystems. *Handbook of Emergy Evaluation: A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios*. Gainesville, FL., Center for Environmental Policy, University of Florida.
- Brown, M., Ulgiati, S. 2004. Emergy Analysis and Environmental Accounting. *Encyclopedia of Energy*, 2:329-353.
- CAN – Comunidad Andina de Naciones. 2004. Bases de la Alianza Energética Andina - Antecedentes para su formulación. Disponível em: http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/DTrabajo/SGdt256_R1.doc
- Castro. M. 2001. Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Consejo Nacional del Ambiente. Manatí S.A. Lima, Peru.
- Cilloniz, F. 2006. Situación y perspectivas del agro Peruano. XII Conferencia Anual de Estudiantes 2006. Instituto Peruano de Administración de Empresas - IPAE. 17 – 19 Maio 2006. Disponível em: <http://www.ipae.edu.pe/Confestudiantes/HAPortalPagina.aspx?1,3,1,44,S>
- Chambers, N., Simmons, C., Wackernagel, M. 2000. *Sharing Nature's Interest: Ecological Footprint as an Indicator of Sustainability*. Earthscan, London.
- FAO. 2006. *Global Forest Resources Assessment 2005: FAO Forestry Department country pages - Peru*. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/site/32086/en/per/>
- Ferguson, A. 2003. *Sustainable populations by country. Optimum Population Trust*. Disponível em: <http://www.optimumpopulation.org/opt.sustainable.numbers.html>
- GFN – Global Footprint Network. 2006. *Humanity's Footprint 1961 - 2003*. Disponível em: http://www.footprintnetwork.org/gfn_sub.php?content=global_footprint
- Hails, C., Loh, J., Goldfinger, S. (Eds). 2006. *Living planet report 2006*. World Wide Fund for Nature International (WWF), Zoological Society of London (ZSL), Global Footprint Network, Gland, Switzerland.
- Haden, A. 2003. Emergy evaluation of Denmark and Danish Agriculture – Assessing the limits of agricultural systems to power society. Centre of Sustainable Agriculture Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. *Ecological Agriculture* 37.
- Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (Eds). 2005. *The Millennium Ecosystem Assessment*. ISLAND PRESS. NW, Washington, DC. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/>
- INEI – Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2006. Peru: *Compendio Estadístico 2005*. Disponível em: <http://www.inei.gob.pe/biblioinei.asp>

- INRENA – Instituto Nacional de Recursos Naturales. 2006. Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. Lima, Peru. Disponível em: http://www.inrena.gob.pe/index_inicio.htm
- INRENA e MINAG. 2005. Recursos Naturales: Mapas del Peru Ambiental. Instituto Nacional de Recursos Naturales e Ministério de Agricultura. Disponível em: http://www.portalagrario.gob.pe/rnna_mapa.shtml
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2004. Inter-annual and decadal variability of atmospheric CO₂ concentrations. In The Special Report on Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Disponível em: http://www.grida.no/climate/ipcc/land_use/020.htm
- Jenkin, N., Stentiford, C. (Eds). 2005. Stepping Forward: A resource flow and ecological footprint analysis of the South West of England. Technical report. Best Foot Forward Ltd, The Future Centre, Oxford, United Kingdom. Disponível em: <http://www.stepsforward.org.uk/ef/index.htm>
- Jorgensen, S.E., Odum, H.T., Brown, M.T. 2004. Emergy and exergy stored in genetic information. *Ecological Modelling* 178, 11-16.
- Lenzen, M., Borgstrom, C., Bond, S. 2007. On the bioproductivity and land-disturbance metrics of the Ecological Footprint. *Ecological Economic* 61, 6 - 10.
- Levett R. 1998. Footprinting: a great step forward, but tread carefully. *Local Environment* 3(1), 67-74.
- Levin, P., Levin, D. 2002. The real biodiversity crisis. *American Scientist* 90, 6-6.
- Loh, J. (Ed). 2002. Living planet report 2002. World Wide Fund for Nature International (WWF), UNEP World Conservation Monitoring Centre, Redefining Progress, Center for Sustainability Studies, Gland, Switzerland.
- Loh, J., Wackernagel, M. (Ed). 2004. Living planet report 2004. World Wide Fund for Nature International (WWF), UNEP World Conservation Monitoring Centre, Global Footprint Network, Gland, Switzerland.
- Mamani, T.M. 2005. Las cinco millas y su importancia clave en la sostenibilidad de la pesca Artesanal del Perú - el caso del Ilo y el Sur del Perú. SUPABCPI/FIUPAP. Sustainable Fisheries and Livelihoods in Latin America: the Imperative of Recognising Artisanal Fishworkers' Fishing Access Rights. Argentina 1 – 4 março 2005. Disponível em: http://www.icsf.net/cedepesca/presentaciones/toribio_5millas/toribio_5millas_acta.htm
- Milesia C., Elvidge CD, Nemanja RR, Running SW. 2003. Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States. *Remote Sensing of Environment* 86, 401–410.
- Mittermeier, R., Robles, P., Hoffman, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C.G., Lamoreux, J., da Fonseca, G., e Seligmann, P. 2005, Hotspots Revisited : Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions, Conservation International, Washington, D.C.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. 1986. Wetlands. Van Nostrand Reinhold, NY. 537 pp.
- Monfreda, C., Wackernagel, M., Deumling, D. 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts. *Land Use Policy* 21, 231 – 246.
- Moffatt, I. 2000. Ecological footprints and sustainable development. *Ecological Economics* 32, 359-362.
- OCEANA. 2006. Balance Ambiental 2006. Oceana – Protecting the World’s Oceans. Disponível: http://www.oceana.org/fileadmin/oceana/uploads/americanadelsur/documentos_2007/balance_ambiental_2006_01.pdf.

- Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting, Emergy and Decision Making. J. Wiley, NY.
- Odum, H.T., Brown, M.T., Brandt-Williams, S. 2000. Handbook of Emergy Evaluation Folio 1: Introduction and Global Budget. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. 16p
- OLDEPESCA - Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero. 2006. Producción Pesquera Mundial y América Latina y El Caribe: 1994-2004. Disponível em <http://www.oldepesca.org/estadisticas.htm>
- Opschoor, H. 2000. The ecological footprint: measuring rod or metaphor? Ecological Economics 32, 363-365.
- Pascó-Font, A. 1999. Desarrollo Sustentable del Perú. Editorial Valenzuela. Agenda: Peru. 118pp.
- Pearce, D. 2000. Public Policy and Natural Resources Management, Draft paper for DGXI, European Commission.
- PRODUCE – Ministerio de la Producción. 2006. Lineamientos estratégicos para impulsar el desarrollo forestal en el Perú. Asociación de Exportadores - ADEX, Sociedad Nacional de Industrias – SIN, Confederación Peruana de la Madera – CPM, Asociación de Industriales Madereros de Loreto – AIMAL, Asociación de Productores Forestales de Ucayali - APROFU, Asociación de Extractores e Industriales Forestales de Madre de Dios, Asociación de Industriales Productores Forestales de Satipo-APFIS. Lima, Peru. 75p.
- Rapport, D.J. 2000. Ecological footprints and ecosystem health: complementary approaches to a sustainable future. Ecological Economics 32, 381-383.
- Redefining Progress, 2005. Disponível em:
http://www.redefiningprogress.org/pdf_files/Renewable_vs_Nonrenewable_Resources.pdf
- Rodrigues, A.S.L., Andelman, S.J., Bakarr, M., Boitani, L., Brooks, T., Cowling, S.A., Fishpool, L., da Fonseca, G.A.B., Gaston, K.J., Hoffmann, M., Long, J., Marquet, P.A., Pilgrim, J.D., Pressey, R., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S., Underhill, L.G., Waller, R.W., Watts, M.E.J., Yan, X. 2003. Global Gap Analysis: Towards a representative network of protected areas. Advances in Applied Biodiversity Science 5, 73-74.
- Rojstaczer, S., Sterling, S., e Moore, N.: 2001, 'Human appropriation of photosynthesis products,' Science 294, 2549-2552.
- Siche, J.R. 2007. Avaliação ecológica-termodinâmica e econômica de nações: o Peru como estudo de caso. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil.
- Siche, J.R., Agostinho, F.D.R., Ortega, E. 2006a. Method to Estimate biomass production in natural ecosystems. In S. Ulgiati (Ed) Proceedings of V Biennial International Workshop Advances in Energy Studies. Porto Venere, Italy 12-16 Sept. 2006, Energy and Environment Research Unit, Department of Chemistry, University of Siena, Siena (Italy).
- Siche, J.R., Ortega, E., Romeiro, A., Agostinho, F.D.R. 2006b. Sustainability of nations: comparative study between the Environmental Sustainability Index, Ecological Footprint and the Emergy Performance Indices. Ecological Economics (in press).
- Siche, J.R., Ortega, E., Rodríguez, H. 2007. Contabilidad de la huella ecológica basada en la emergía - caso Peruano. Revista ECI-Peru. ISSN 1813-0194 (in press).
- Silva, P.J. 2006. Mar Peruano. Boletim N° 1. Disponível em: <http://www.marperuano.org>
- Talberth, J., Venetoulis, J. e Wolowicz, K. 2006. Recasting Marine Ecological Fishprint Accounts. Technical Report, Redefining Progress. Disponível em: <http://www.rprogress.org/newprograms/sustIndi/fishprint/index.shtml>

- Thom, R.M., Blanton, S.L., Woodruff, D.L., Williams, G. D., Borde, A.B. Carbon Sinks in Nearshore Marine Vegetated Ecosystems. In Proceedings of First National Conference on Carbon Sequestration, 14-17 May 2001. The National Energy Technology Laboratory (NETL), United States. Disponível em: http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/5c5.pdf
- Ulgiati, S., Brown, M.T. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling* 108, 23-26.
- van Kooten G.C., Bulte E.H. 2000. The ecological footprint: useful science or politics? *Ecological Economics* 32, 385-389
- van den Bergh J.C.J.M. e Verbruggen H. 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the 'ecological footprint'. *Ecological Economics* 29(1), 61- 72
- Venetoulis, J., Talberth, J. 2007. Refining the Ecological footprint. *Environment Development and Sustainability* DOI 10.1007/s10668-006-9074-z.
- Wackernagel, M., Schulz, N., Deumling, D., Callejas, A., Jenkins, M., Kapos, V., Monfreda, C., Loh, J., Myers, N., Norgaard, R., Randers, J. 2002. Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99, 9266-9271.
- Wackernagel, M., Monfreda, C., Moran, D., Wermer, P., Goldfinger, S., Deumling, D., Murray, M. 2005. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method. Global Footprint Network. 33pp.
- Wiedmann, T., Lenzen, M. 2007. On the conversion between local and global hectares in Ecological Footprint analysis. *Ecological Economic*. In press.
- Worm, B., Barbier, E.B, Beaumont, N., Duffy, J.E, Folke, C., Halpern, B.S, Jackson, J.B.C., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K., Stachowicz, J.J., Watson, R. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 314, 787-790.
- WWAP – World Water Assessment Program. 2006. 2nd UN World Water Development Report, 2006. Disponível em: http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr2/table_contents.shtml
- WWF - World Wide Fund. 2005. Europe2005 The Ecological Footprint. World Wide Fund for Nature European Policy Office, Brussels, Belgium.
- Zhao, S.; Li, Z.; Li, W. 2005. A modified method of ecological footprint calculation and its application. *Ecol. Model.* 185, 65–75.

CAPÍTULO VIII:
CONCLUSÕES GERAIS

As seguintes conclusões importantes foram obtidas deste trabalho:

1. A pegada ecológica (EF) se fundamenta sobre a comparação entre “consumo” versus “recursos”, contudo uma evidente imperfeição deste índice é a ausência de informação associada à sustentabilidade (por exemplo, perda de solo, consumo de água fresca, e perda de floresta), aspectos que os métodos Análise Emergética (EMA) e Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI) contabilizam. Por outro lado, a demanda de informação no ESI é impressionante; porém o ESI pode ser considerado muito informativo. Apesar das limitações do ESI, pensamos que o ESI poderia ser mais útil se for desagregado em seus componentes individuais, permitindo que o usuário decida pelos pesos apropriados.
2. Pelos resultados obtidos, com a Pegada Ecológica (EF-GAEZ), observa-se que o desenvolvimento econômico Peruano não pode se expandir infinitamente sobre os recursos da natureza. O consumo dos recursos que dão suporte ao sistema tem se acelerado drasticamente na última década, até o ponto de estar esgotando o capital natural. Estimou-se que o Peru, com o ritmo atual de consumo, passará ser um país insustentável aproximadamente entre os anos 2014 e 2020. Por tudo isto é necessária uma ação urgente dos governantes no sentido de escolher um percurso de desenvolvimento mais adequado, capaz de manter e preservar o sistema em que o Peru vive, para garantir a sobrevivência dos seres humanos e das outras espécies que o habitam.
3. A entrada de exergia à economia do Peru foi 2350 PJ ou 84 GJ per capita. A saída de produtos e serviços continha 772 PJ de exergia ou 28 GJ per capita, com uma eficiência exérgica ao sistema econômico peruano de 33%. Estes valores indicam um bom aproveitamento da energia disponível que ingressa ao sistema, embora o aproveitamento ecossistêmico (considerando o sol e a chuva como entradas ao sistema) resulta de 0,01%.
4. Foi proposto e calculado o índice Renovabilidade Exérgica (RENEX = 24%). A leitura deste indicador, junto com a eficiência exérgica, indica que o sistema econômico peruano pode ser considerado como eficiente e sustentável, mas com

perigo de se converter em insustentável e ineficiente se suas políticas de manejo e gestão de seus recursos locais (renováveis e não renováveis) não são devidamente planejadas, sob a perspectiva sustentável.

5. Por causa de sua rica disponibilidade de recursos naturais, o Peru assentou bem como produtor de recursos brutos para outros países, principalmente metais. Entretanto, a sua economia permanece subdesenvolvida e o padrão de vida baixo, quando comparado com outros países latino-americanos. É muito importante que a economia do Peru coloque mais valor agregado aos seus produtos brutos que são exportados. Assim a energia disponível dos recursos seria usada e menos exergia seria exportada. Isto aumentaria a eficiência exérgica da economia peruana e sua sustentabilidade.
6. O desempenho ecológico do sistema econômico peruano foi avaliado através da análise emergética expandida, tendo como resultando os indicadores: (a) Razão de Carga Ambiental (ELR) = 1,70; (b) Razão de Rendimento Emergético (EYR) = 9,42; (c) Índice de sustentabilidade Emergético (EmSI) = 5,53; e (d) Renovabilidade = 37%. Estes valores como bem outros dados mostrados neste capítulo indicam que a economia do Peru se beneficia com uma apreciada incorporação de energias renováveis naturais, que a sua vez gera um baixo stress ambiental. Mas também o país contribui com uma alta exportação de recursos naturais, metais principalmente, a outros sistemas econômicos.
7. Foram propostos novos indicadores que Análise Emergética convencional não avalia corretamente: perda de solo, capital natural, desmatamento e consumo de água potável. Foi encontrado que o Peru está perdendo 120,5 dólares por hectare como consequência da perda de solo. Um elevado valor de capital natural foi calculado ($2,90E+24$ seJ ou 240 bilhões de dólares) que não esta sendo devidamente aproveitado. O desmatamento da floresta no Peru equivale a 1,1 bilhões de dólares emergéticos anuais. O valor anual que se deveria pagar pelo consumo de água potável foi calculada em 62,77 emdólares/pessoa.
8. Finalmente, foram propostas duas metodologias convergentes entre a Pegada Ecológica convencional (EF-GAEZ) e a Análise Emergética (EMA): Pegada Ecológica Emergética (EEF) e Pegada Ecológica baseada no NPP emergético (EF-

ENPP). A EEF tem algumas limitações, principalmente, a impossibilidade para fazer comparações entre categorias, como é comum na EF-GAEZ e EF-NPP. Outra limitação está nos valores de transformidade usados para calcular a pegada, que se necessitam para representar o processo completo de transformação e sua variação no tempo. Por outro lado, um ponto positivo da EEF é sua facilidade de aplicação na escala global porque dados de recursos renováveis e o consumo estão disponíveis. A EF-ENPP pode ser uma boa alternativa em futuros cálculos da pegada ecológica, já que usa informação e outras ferramentas de fácil disponibilidade, faltando só melhorar os cálculos de transformidades do NPP para sistemas aquáticos. A principal qualidade deste método é considerar o trabalho da natureza nos fluxos de NPP que servem como base para o cálculo dos fatores de equivalência.

ADENDOS

Apêndice 1. Cálculo dos fluxos da Economia do Peru (2004)

Nota	Referência
RECURSOS RENOVÁVEIS	
1 Energia Solar:	
Área da Plataforma Continental = 9,23E+11 m ² até 200 m de profundidade	[a]
Área terrestre = 1,29E+12 m ²	[a]
Insolação média = 1,28E+02 Kcal/cm ² /ano	
Albedo = 0,30 (% dado como decimal)	Estimado
Energia (J) = (área total)*(insolação)*(1-albedo)	
= (___m ²)*(___cal/cm ² /ano)*(E4cm ² /m ²)*(1-0,3)*(4186J/kcal)	
= 8,28E+21 J/ano	
2 Chuva, potencial químico:	
Área da Plataforma Continental = 9,23E+11 m ² até 200 m de profundidade	[a]
Área terrestre = 1,29E+12 m ²	[a]
Chuva (terrestre) = 0,54 m/ano	[b]
Chuva (continental) = 0,24 m/ano (45% da chuva terrestre)	Estimado
Evapotranspiração = 0,43 m/ano (80% da chuva terrestre)	Estimado
Energia (terrestre) (J) = (área)*(evapotranspiração)*(energia de Gibbs da água)	
= (___m ²)*(___m)*(1000kg/m ³)*(4,94E3J/kg)	
= 2,75E+18 J/ano	
Energia (continental) (J) = (área continental)*(chuva cont.)*(energia de Gibbs da água)	
=	
= (___m ²)*(___m)*(1000kg/m ³)*(4,94E3J/kg)	
= 1,11E+18 J/ano	
Energia total (J) = 3,87E+18 J/ano	
3 Chuva, geopotencial:	
Área terrestre = 1,29E+12 m ²	[a]
Chuva (terrestre) = 0,54 m/ano	[b]
Altitude média = 1548 m	Estimado
Taxa de escorregamento = 0,20 (% , dado como decimal)	Estimado
Energia (J) = (área)*(chuva)*(Altitude)*(taxa)*(gravidade)*(densidade)	
= (___m ²)*(___m/ano)*(___m)*(0,2)*(9,8m/s ²)*(1000kg/m ³)	
= 2,11E+18 J/ano	
4 Energia dos ventos:	
Área terrestre = 1,29E+12 m ²	[a]
Densidade do ar = 1,30 kg/m ³	
Velocidade do vento (média anual) = 4 m/s	[c]
Velocidade do vento geostrófico = 4,44 m/s (velocidade do vento/0,9)	
Coefficiente de retardo = 0,001	Estimado
Energia (J) = (área)*(dens.do ar)*(coef.de arrastre)*(vel.vento geost.) ³	
= (___m ²)*(___kg/m ³)*(0,001)*(___m/s) ³ (3,14E7s/ano)	
= 4,61E+18 J/ano	
5 Energia das ondas:	
Cumprimento da costa = 2,41E+06 m	[d]
Altura da onda = 1,20 m	Estimado
Energia (J) = (cumpr. costa)*(1/8)*(densid.)*(gravid.)*(Alt. onda) ² *(velocidade)	
= (___m)*(1/8)*(1,03E3kg/m ³)*(9,8m/s ²)*(___m) ² *(___m/s)*(3,14E7s/ano)	
Energia (J) = 6,09E+17 J/ano	
6 Energia das marés:	
Área da Plataforma Continental = 9,23E+11 m ² até 200 m de profundidade	[a]
Amplitude média da maré = 1,00 m (média de 10 portos principais)	[c]
Densidade da água de mar = 1,03E+03 kg/m ³	
Ondas/ano = 7,30E+02	Estimado
Energia (J) = (área plataf)*(0,5)(ondas/ano)(amplit.maré) ² *(densid.)*(grav.)	
= (___m ²)*(0,5)*(___/ano)*(___m) ² *(___kg/m ³)*(9,8m/s ²)	
Energia (J) = 3,38E+18 J/ano	

Continua...

Nota		Referência
7	<p>Ciclo terrestre:</p> <p>Área terrestre = 1,29E+12 m²</p> <p>Fluxo de calor = 8,40E+06 J/m² = 2,7W/m²</p> <p>Energia (J) = (área)*(fluxo de calor)</p> <p>= (___m²)*(___J/m²)</p> <p>Energia (J) = 1,08E+19 J/ano</p>	[a] [c]
RECURSOS RENOVÁVEIS LOCAIS		
8	<p>Hidroeletricidade:</p> <p>Produção de energia = 1,81E+10 kWh/ano</p> <p>Energia (J) = (Produção de energia)*(conteúdo energético)</p> <p>= (___kWh/ano)*(3,6E6J/kWh)</p> <p>Energia (J) = 6,51E+16 J/ano</p>	[f]
9	<p>Produção Agrícola:</p> <p>Produção = 2,68E+07 ton/ano (massa seca, 20% de umidade)</p> <p>Energia (J) = (Produção)*(conteúdo energético)</p> <p>= (___ton/ano)*(1E6g/ton)*(80%)*(4kcal/g)*(4186J/kcal)</p> <p>Energia (J) = 3,59E+17 J/ano</p>	[g]
10	<p>Produção pecuária:</p> <p>Produção = 2,46E+06 ton/ano (80% de umidade)</p> <p>Energia (J) = (Produção)*(conteúdo energético)</p> <p>= (___ton/ano)*(1E6g/ton)*(20%)*(5kcal/g)*(4186J/kcal)</p> <p>Energia (J) = 1,03E+16 J/ano</p>	[h]
11	<p>Produção pesqueira:</p> <p>Produção = 7,83E+06 ton/ano (80% de umidade)</p> <p>Energia (J) = (Produção total)*(conteúdo energético)</p> <p>= (___ton/ano)*(1E6 g/ton)*(5kcal/g)*(20%)*(4186 J/kcal)</p> <p>Energia (J) = 3,28E+16 J/ano</p>	[i]
12	<p>Produção de lenha:</p> <p>Produção = 9,29E+06 m³ (20% de umidade)</p> <p>Energia (J) = (Produção total)*(conteúdo energético)</p> <p>= (___m³)*(0,58E6g/m³)*(3,6kcal/g)*(80%)*(4186 J/kcal)</p> <p>Energia (J) = 6,50E+16 J/ano</p>	[h]
13	<p>Extração florestal:</p> <p>Produção = 1,13E+07 m³ (20% de umidade)</p> <p>Energia (J) = (Produção total)*(conteúdo energético)</p> <p>= (___m³)*(0,58E6g/m³)*(3,6kcal/g)*(80%)*(4186 J/kcal)</p> <p>Energia (J) = 6,78E+16 J/ano</p>	[h]
RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS (Usados no país)		
14	<p>Gás natural:</p> <p>Consumo = 1,14E+09 m³/ano</p> <p>Energia (J) = (consumo)*(conteúdo energético)</p> <p>= (___m³/ano)*(8966kcal/m³)*(4186 J/kcal)</p> <p>Energia (J) = 4,28E+16 J/ano</p>	[j]
15	<p>Petróleo:</p> <p>Energia consumida (J) = 2,96E+17 J/ano</p>	[j]
16	<p>Carvão:</p> <p>Energia consumida (J) = 2,23E+16 J/ano</p>	[j]
17	<p>Minerais (fertilizantes):</p> <p>Consumo = 2,74E+05 ton/ano</p> <p>Consumo (g) = (___ton/ano)*(1E6g/ton)</p> <p>= 2,74E+11 g/ano</p>	[h]

Continua...

Nota		Referência
18	Metais (minérios – Zn, Fe, Cu, Au, outros)	[j]
	Zinco = 1,74E+05 ton/ano	
	Ferro = 4,38E+05 ton/ano	
	Cobre = 9,55E+04 ton/ano	
	Ouro = 2,14E+00 ton/ano	
	Outros = 2,84E+04 ton/ano	
	Consumo total = 7,35E+05 ton/ano	
	Consumo (g) = (___ ton/ano)*(1E6g/ton)	
	= 7,35E+11 g/ano	
19/20	Perda do solo:	
	Terra em cultivo = 3,75E+08 m ²	[b]
	Perda de solo = 4,00E+05 g/m ² /ano (40 ton/ha/ano)	[k]
	Conteúdo orgânico (médio) = 3 %	Estimado
	Energia (J) = (___ g/m ² /ano)*(___ m ²)*(% orgânico)*(5,4 kcal/g)(4186 J/kcal)	
	= 1,02E+17 J/ano	
	Massa (g) = 1,50E+14 g/ano	
IMPORTAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA EXTERNA		
21	Combustíveis:	
	Derivados do petróleo = 1,76E+17 J/ano	[j]
	Carvão = 2,67E+16 J/ano	[j]
	Total importado = 2,02E+17 J/ano	
22	Metais:	[l]
	Alumínio = 7,63E+03 ton/ano	
	Ferro e aço = 6,37E+05 ton/ano	
	Cobre (fio) = 3,12E+03 ton/ano	
	Outros = 4,78E+03 ton/ano	
	Total importado = 6,53E+05 ton/ano	
	Total importado (g) = 6,53E+11 g/ano	
23	Minerais:	[l]
	Cimento = 5,80E+03 ton/ano	
	Fósforo = 1,65E+05 ton/ano	
	Potássio = 8,43E+04 ton/ano	
	Nitrogênio = 4,47E+05 ton/ano	
	Outros = 9,70E+04 ton/ano	
	Total importado = 7,99E+05 ton/ano	
	Total importado (g) = 7,99E+11 g/ano	
24	Alimentos e produtos agrícolas:	
	Importado = 4,20E+06 ton/ano	[l]
	Energia (J) = (___ ton/ano)*(1E6g/ton)*(3,5kcal/g)*(4186 J/kcal)*(80%)	
	= 4,92E+16 J/ano	
25	Pecuária, carniça e pesca:	
	Importado = 9,02E+04 ton/ano	[l]
	Energia (J) = (___ ton/ano)*(1E6g/ton)*(5kcal/g)*(4186 J/kcal)*(0,22proteína)	
	= 4,15E+14 J/ano	
26	Plásticos e borrachas:	
	Importado = 5,68E+05 ton/ano	[l]
	Energia (J) = (___ ton/ano)*(1000kg/ton)*(30E6J/kg)	
	= 1,70E+16 J/ano	
27	Químicos:	
	Importado = 5,30E+05 ton/ano	[l]
	Massa (g) = (___ ton/ano)*(1E6g/ton)	
	= 5,30E+11 g/ano	

Continua...

Nota		Referência
28	Materiais finais: Papel = 2,92E+05 ton/ano Madeira serrada = 8,82E+04 ton/ano Outros = 1,71E+05 ton/ano Importado = 5,52E+05 ton/ano Massa (g) = (__ ton/ano)*(1E6g/ton) = 5,52E+11 g/ano	[l]
29	Maquinaria, transporte, equipamento: Importado = 2,86E+05 ton/ano Massa (g) = (__ ton/ano)*(1E6g/ton) = 2,86E+11 g/ano	[l]
30	Serviços importados: Valor em dólares = 2,61E+09 \$US Taxa emergia mundial/\$ = 1,66E+12 seJ/\$ =	[h]
31	Turismo: Valor em dólares = 1,08E+09 \$US	[m]
EXPORTAÇÃO DE ENERGIA, MATERIAIS E SERVIÇOS		
32	Alimentos e produtos agrícolas: Exportado = 1,03E+06 ton/ano Energia (J) = (__ ton/ano)*(1E6g/ton)*(3,5kcal/g)*(4186 J/kcal)*(80%) = 1,21E+16 J/ano	[l]
33	Pecuária, carniça e pesca: Exportado = 3,00E+06 ton/ano Energia (J) = (__ ton/ano)*(1E6g/ton)*(5kcal/g)*(4186 J/kcal)*(0,22proteína) = 1,38E+16 J/ano	[l]
34	Materiais finais: Papel = 1,85E+04 ton/ano Madeira serrada = 1,18E+05 ton/ano Outros = 9,75E+04 ton/ano Exportado = 2,34E+05 ton/ano Massa (g) = (__ ton/ano)*(1E6g/ton) = 2,34E+11 g/ano	[l]
35	Combustíveis: Derivados do petróleo = 3,52E+16 J/ano Total exportado = 3,52E+16 J/ano	[j]
36	Metais: Ferro = 8,88E+04 ton/ano Zinco = 2,08E+06 ton/ano Cobre (fio) = 2,24E+06 ton/ano Ouro = 4,35E+02 ton/ano Outros = 6,81E+06 ton/ano Total exportado = 1,12E+07 ton/ano Total exportado (g) = 1,12E+13 g/ano	[l]
37	Minerais: Cimento = 6,98E+05 ton/ano Fósforo = 6,75E+04 ton/ano Nitrogênio = 1,03E+04 ton/ano Outros = 6,51E+05 ton/ano Total exportado = 1,43E+06 ton/ano Total exportado (g) = 1,43E+12 g/ano	[l]

Continua...

Nota		Referência
38	Químicos: Exportado = 6,15E+05 ton/ano Massa (g) = (___ton/ano)*(1E6g/ton) = 6,15E+11 g/ano	[l]
39	Maquinaria, transporte, equipamento: Exportado = 3,80E+04 ton/ano Massa (g) = (___ ton/ano)*(1E6g/ton) = 3,80E+10 g/ano	[l]
40	Plásticos e borrachas: Exportado = 1,83E+04 ton/ano Energia (J) = (___ton/ano)*(1000kg/ton)*(30E6J/kg) = 5,50E+14 J/ano	[l]
41	Serviços em exportações: Valor em dólares = 1,68E+09 \$US	[h]
42	Capital Natural Forest area = 68742000 ha Biomass = 336,69 ton/ha Energy = (___ha)*(___ton/ha)*(2879185kcal/ton)*(4187 J/kcal) Energy = 2,79E+20 J/yr	[n] [o]

[a] The World factbook, 2005 (<http://www.odci.gov/cia/publications/factbook/geos/pe.html>)

[b] <http://www.minag.gob.pe/>

[c] SENAMHI, 2004 (<http://www.senamhi.gob.pe/sac/boletines.htm>)

[d] ODCI-CIA, 2005 (<http://www.odci.gov/cia/publications/factbook/geos/pe.html>)

[e] OSO MARINE, 2005 (<http://www.osomarine.com/indexspa.htm>)

[f] OSINERG, 2004

[g] MINAG, 2004

[h] <http://faostat.fao.org/>

[i] INEI, 2005

[j] MINEM, 2004

[k] Valdivia, 2002

[l] MEF, 2004

[m] MINCETUR, 2005

[n] FAO, 2005

[o] Produce et al., 2006

*Apêndice 2. Artigo: Índices versus indicadores: precisões conceituais na
discussão da sustentabilidade de países.**

* Artigo in press na Revista Ambiente e Sociedade, v 10 n° 2.

ÍNDICES VERSUS INDICADORES: PRECISÕES CONCEITUAIS NA DISCUSSÃO DA SUSTENTABILIDADE DE PAÍSES

Raúl Siche^{a, 19}; Feni Agostinho^b; Enrique Ortega^b; Ademar Romeiro^c

^a Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Peru. siche.j.r@gmail.com

^b Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada, DEA, FEA, Unicamp, Campinas, SP, Brasil. feni@fea.unicamp.br; ortega@fea.unicamp.br

^c Núcleo de Economia Agrícola, NEA, UNICAMP, CP 6135, Campinas, SP, Brasil. ademar@eco.unicamp.br

Resumo

O desenvolvimento sustentável é, hoje em dia, um dos principais desafios a ser enfrentado por todos os países do globo. Busca-se um desenvolvimento com crescimento econômico sem degradar o capital natural e mantendo o bem estar da humanidade. Para diagnosticar o desenvolvimento de países, existem diversas ferramentas com abordagens diferentes, mas todas fornecem como resultado final, índices de desempenho. Atualmente, os termos índice e indicador estão sendo utilizados incorretamente pela grande maioria dos trabalhos publicados, levando à discussões incoerentes sobre seu verdadeiro significado. Nesse sentido, este trabalho discute e tenta esclarecer o significado das palavras associadas à sustentabilidade, ilustrando através de três índices muito utilizados para diagnosticar o desenvolvimento de países: Índice de sustentabilidade ambiental; Pegada ecológica; Índices de desempenho emergético.

Palavras chave: Índices; Indicadores; Sustentabilidade; Pegada ecológica; Emergia.

Abstract

Nowadays, the sustainable development is one of the most important challenges to be confronted by all countries on the globe. The aim is to obtain economic increase without causing damage on the natural capital and maintaining the people's well being. To diagnostic the development of countries, many tools with different approach can be used, all of them supplying performance indices as final result. However, indexes and indicators have been misused in most of published works, and as result, there is an incoherent discussion about their true signification. In this way, the present work discusses and tries to clarify the signification of the words associated to the sustainability, considering as an example tree indices that are much used to diagnostic the development of countries: Environmental sustainability index; Ecological footprint; Emergy performance index.

Key words: Indices; Indicators; Sustainability; Ecological footprint; Emergy.

1. INTRODUÇÃO

Oficialmente, o conceito de sustentabilidade foi introduzido no encontro internacional em The World Conservation Strategy (IUCN et al., 1980). A partir desta data, esse conceito passou a ser empregado com maior frequência, assumindo dimensões econômicas, sociais e ambientais, buscando embasar uma nova forma de desenvolvimento. O termo sustentabilidade foi bem explicado pela primeira vez dentro de um estudo realizado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente das Nações Unidas, mais conhecido como Relatório Brundtland, que define o seguinte: “é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações em satisfazer suas necessidades” (WECD, 1987). Neste relatório, entre outras coisas, chegou-se à conclusão de que era necessária uma mudança de base no enfoque do desenvolvimento, já que o planeta e todos seus sistemas ecológicos estão sofrendo graves e irreversíveis impactos negativos.

A idéia de desenvolver indicadores para avaliar a sustentabilidade surgiu na Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente – Rio 92, conforme registrado no capítulo 40 da Agenda 21: “os indicadores comumente utilizados, como o produto nacional bruto (PNB) ou as medições das correntes individuais de contaminação ou de recursos, não dão indicações precisas de sustentabilidade. Os métodos de avaliação da interação entre diversos parâmetros setoriais do meio ambiente e o desenvolvimento são imperfeitos ou se aplicam deficientemente. É preciso elaborar indicadores de desenvolvimento sustentável que sirvam de base sólida para adotar decisões em todos os níveis, e que contribuam a uma sustentabilidade auto-regulada dos sistemas integrados do meio ambiente e o desenvolvimento” (UNITED NATIONS, 1992). A proposta era definir padrões sustentáveis de desenvolvimento que considerassem aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais. Para atingir esse objetivo tornou-se necessário elaborar indicadores que mensurassem e avaliassem o sistema em estudo, considerando todos esses aspectos.

¹⁹ Endereço para correspondência: Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada, FEA, Unicamp, CEP 13083-862, CP 6121, Campinas, SP, Brasil. Tel.: +55-19-35214035; fax: +55-19-35214027. ortega@fea.unicamp.br.

Uma das mais importantes contribuições ao uso de indicadores de sustentabilidade foi dada por REES (1992) com o desenvolvimento de um índice denominado Pegada Ecológica ou EF (do inglês Ecological Footprint). A metodologia original consistiu em construir uma matriz de consumo/uso de terra, considerando cinco categorias principais do consumo (alimento, moradia, transporte, bens de consumo e serviços) e seis categorias principais do uso de terra (energia da terra, ambiente (degradado) construído, jardins, terra fértil, pasto e floresta sob controle). O objetivo deste índice é calcular a área de terra necessária para a produção e a manutenção de bens e serviços consumidos por uma determinada comunidade (WACKERNAGEL & REES, 1996). No Brasil, a pegada ecológica é a ferramenta mais lembrada e conhecida pelos especialistas que atuam em diferentes esferas da sociedade e que lidam com o conceito de desenvolvimento sustentável (VAN BELLEN, 2004). Recentemente, foi publicada uma nova versão da Pegada Ecológica (GFN, 2006) com o objetivo de melhorar as deficiências da metodologia original. As principais diferenças são: (a) inclusão da superfície total do planeta no cálculo de sua biocapacidade; (b) reservar uma parte da biocapacidade para outras espécies; (c) mudança das taxas de seqüestro de carbono pela vegetação; (d) uso da produtividade primária líquida (NPP) na determinação de fatores de equivalência para o cálculo da biocapacidade e da pegada ecológica (VENETOULIS & TALBERTH, 2006). Considerando essas alterações, a situação global (biocapacidade - pegada ecológica) é ligeiramente pior que a obtida através da metodologia original, pois passou de 1,2 ha/pessoa para 1,37 ha/pessoa.

Outro índice considerado de grande importância na discussão sobre sustentabilidade de países é o Índice de Sustentabilidade Ambiental ou ESI (do inglês Environmental Sustainability Index) (SAMUEL-JOHNSON & ESTY, 2000). Este índice, quando proposto, rapidamente originou importantes discussões e controvérsias na escala acadêmica e política nos países do mundo inteiro, principalmente, porque alguns países como Estados Unidos e Dinamarca, que possuem uma comprovada participação na poluição do planeta, aparecem com valores muito bons. Por outro lado, através dos índices fornecidos pela pegada ecológica e pelos indicadores de desempenho emergético, os EUA e a Dinamarca possuem um desempenho considerado ruim (SICHE et al., in press). A comunidade científica considera o EF e o ESI como os de maior impacto na avaliação da sustentabilidade de países, isto é, estão gerando grandes discussões e estão sendo utilizadas no mundo todo.

Os chamados Indicadores de Desempenho Emergético ou EMPs (do inglês Emery Performance Index), Renovabilidade e Índice de Sustentabilidade Emergética (BROWN & ULGIATI, 1997), consideram o sistema econômico como um sistema termodinâmico aberto e contabilizam os fluxos dos recursos da economia em unidades de energia agregada. Estes índices estão baseados na teoria da energia proposta por ODUM (1996). Estudos e propostas para avaliar a sustentabilidade a nível global (BROWN & ULGIATI, 1999) e de países, foram e estão sendo realizadas utilizando a análise emergética como ferramenta (ULGIATI et al., 1994; BROWN & McCLANAHAM, 1996; SICHE & ORTEGA, 2005; 2006).

Outras tentativas interessantes no desenvolvimento de índices para avaliar a sustentabilidade de países foram publicadas em importantes revistas internacionais (PEARSE & ATKINSON, 1993; GILBERT & FEENSTRA, 1994; NILSSON & BERGSTRÖM, 1995; AZAR et al., 1996; STOCKHAMMER et al., 1997; BICKNELL et al., 1998; NEUMAYER, 2001; BALOCCO et al., 2004; STEINBORN & SVIREZHEV, 2000; MOSER, 1996; KROTSCHHECK & NARODOSLAWSKY, 1996; BARRERA & SALDÍVAR, 2002), mas são pouco utilizados pela comunidade científica, devido ao elevado nível de manipulação de dados, exigindo muito tempo, grande conhecimento da ferramenta e de como obter os dados primários, ponderação dos dados e mudança de unidades.

O objetivo deste trabalho é discutir o significado das palavras associadas à discussão sobre a sustentabilidade de países, e ilustrar as vantagens e limitações dos índices EF, ESI e EMPs.

2. ÍNDICE E INDICADOR

Existe certa confusão sobre o significado de índice e indicador, onde muitas vezes são erroneamente utilizados como sinônimos. Segundo MITCHELL (1996), indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade. Para MUELLER et al. (1997), um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, sendo que um bom indicador deve conter os seguintes atributos: simples de entender; quantificação estatística e lógica coerente; e comunicar eficientemente o estado do fenômeno observado. Para SHIELDS et al. (2002), um índice revela o estado de um sistema ou fenômeno. PRABHU et al. (1996) argumentam que um índice pode ser construído para analisar dados através da junção de um jogo de elementos com relacionamentos estabelecidos.

Em uma análise superficial, índice e indicador possuem o mesmo significado. Para nós e outros pesquisadores, a diferença está em que um índice é o valor agregado final de todo um procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõe. Pode-se dizer também que um

índice é simplesmente um indicador de alta categoria (KHANNA, 2000). É importante salientar que um índice pode se transformar num componente de outro índice. Este é o caso do ESI, que utiliza a EF como uma de suas variáveis.

No presente artigo, entende-se o termo índice como um valor numérico que representa a correta interpretação da realidade de um sistema simples ou complexo (natural, econômico ou social), utilizando, em seu cálculo, bases científicas e métodos adequados. O índice pode servir como um instrumento de tomada de decisão e previsão, e é considerado um nível superior da junção de um jogo de indicadores ou variáveis. O termo indicador é um parâmetro selecionado e considerado isoladamente ou em combinação com outros para refletir sobre as condições do sistema em análise. Normalmente um indicador é utilizado como um pré-tratamento aos dados originais.

3. O QUE É SUSTENTABILIDADE?

A palavra sustentabilidade é usada freqüentemente em muitas combinações diferentes: desenvolvimento sustentável; crescimento sustentável; comunidade sustentável; indústria sustentável; economia sustentável; agricultura sustentável; etc. Mas o que significa realmente?

Sustentabilidade vem do latim “*sustentare*” que significa sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir. Dessa forma, sustentável é tudo aquilo que é capaz de ser suportado, mantido.

A sustentabilidade, de acordo com SACHS (1990), constitui-se num conceito dinâmico que leva em conta as necessidades crescentes das populações num contexto internacional em constante expansão. Para o autor, a sustentabilidade tem como base cinco dimensões principais, que são a sustentabilidade social, a econômica, a ecológica, a geográfica e a cultural. A sustentabilidade social está vinculada a uma melhor distribuição de renda com redução das diferenças sociais. A sustentabilidade econômica está vinculada ao fluxo constante de inversões públicas e privadas, além da destinação e administração correta dos recursos naturais. A sustentabilidade ecológica está vinculada ao uso efetivo dos recursos existentes nos diversos ecossistemas e, como um dos resultados, mínima deterioração ambiental. A sustentabilidade geográfica está ligada a uma espacialização rural urbana mais equilibrada. A sustentabilidade cultural procura a realização de mudanças em harmonia com a continuidade cultural vigente.

Em 2002, este mesmo autor acrescentou mais quatro dimensões de sustentabilidade: ambiental, territorial (em lugar de geográfica), política nacional e política internacional. A sustentabilidade ambiental permitiria que ecossistemas naturais realizassem autodepuração. A territorial visa à eliminação de disparidades inter-regionais, a destinação igualitária de investimentos públicos e a conservação da biodiversidade pelo eco desenvolvimento. A sustentabilidade no âmbito das políticas nacionais passaria por um nível razoável de coesão social, democracia e capacidade institucional do Estado em implantar um projeto nacional. Em relação às políticas internacionais, a sustentabilidade passaria pela garantia de paz assegurada pelo fortalecimento da ONU, controle do sistema financeiro internacional, verdadeira cooperação científica e diminuição das disparidades sociais entre os hemisférios norte-sul (SACHS, 2002).

Outros autores apresentam diferentes formas de analisar a sustentabilidade. Segundo CHAMBERS & CONWAY (1992), a sustentabilidade dos meios de subsistência deve ser analisada sob dois prismas: ambiental e social. Do ponto de vista ambiental, a sustentabilidade implica na capacidade sistêmica de lidar com o estresse e os choques, possuindo a habilidade de continuar e melhorar. Já a dimensão positiva da sustentabilidade social está na capacidade de previsão, adaptação e aproveitamento de mudanças no ambiente físico, social e econômico. Os autores apontam que a sustentabilidade depende de como os recursos e as potencialidades são utilizadas, mantidas e realçadas para preservar meios de subsistência. De acordo com KARR (1993), o foco da sustentabilidade deve estar na sociedade e não no desenvolvimento. Apesar de tudo, a realização de uma sociedade sustentável requer a atenção da dimensão econômica, além da dimensão social, biológica, ecológica e ambiental.

Para a GFN (2006), sustentabilidade é uma idéia simples, baseada na quantificação das taxas de produção e consumo de recursos naturais. Em um mundo sustentável, a pressão da sociedade sobre a natureza deve estar dentro dos limites desta em responder de modo equilibrado a esta pressão. Quando as demandas da humanidade de recursos ecológicos excedem a capacidade da natureza em fornecê-los, surge o denominado excesso ecológico.

Em termos emergéticos, a sustentabilidade de uma economia é uma função da dependência dessa economia de energia renovável local, do grau de dependência de energia importada, e a carga total da atividade econômica no ambiente (BROWN & ULGIATI, 1997).

O conceito de desenvolvimento sustentável tem ganhado ampla simpatia porque possui uma interpretação simples e satisfatória. Nesse ponto pode ser um pouco divergente do objetivo “desenvolvimento que permanece”, mas, na tentativa de encontrar uma definição mais substantiva, é necessário discriminar entre

um grande número de diferentes abordagens. Considerando uma abordagem econômica ao problema, a escolha chave é se uns acreditam que o capital natural – as muitas funções que o meio ambiente fornece à humanidade e para ela mesma – deveria receber uma proteção especial ou poderia ser substituído por outras formas de capital, especialmente capital produzido pelo homem (DIETZ & NEUMAYER, 2007).

TURNER (1993, apud EKINS et al., 2003, p.168) definiu sustentabilidade forte e fraca como: (a) sustentabilidade ambiental fraca deriva da percepção de que o bem estar não é normalmente dependente de uma forma de capital específica e pode, com algumas exceções, ser mantida pela substituição do capital natural pelo capital humano; (b) sustentabilidade ambiental forte deriva de uma percepção diferente, de que a substituição do capital natural pelo capital humano é fortemente limitada por algumas características ambientais, como irreversibilidade, incerteza e existência de serviços indispensáveis ao bem estar da biosfera.

De acordo com DIETZ & NEUMAYER (2007), o capital natural engloba quatro categorias de funções. Primeiro, ele fornece o material bruto para produção e consumo direto como alimento, madeira e combustíveis fósseis. Segundo, ele assimila os resíduos decorrentes da produção e consumo de bens e materiais. Terceiro, ele fornece serviços de amenidade, como a amenidade visual da paisagem. Quarto, ele fornece funções básicas ao bem estar da biosfera, que as três primeiras funções citadas dependem. Então, a quarta categoria não é somente um determinante direto do bem estar humano, mas um valor primário – um valor que suporta todas as outras categorias – enquanto as três primeiras categorias possuem um valor secundário.

Os mesmos autores dizem que para a sustentabilidade fraca seria possível substituir alguns serviços naturais de assimilação de resíduos e de amenidade. Entretanto, o sistema básico de suporte de vida é certamente impossível de ser substituído. Isto significa que o meio ambiente global - biosfera - fornece para a humanidade funções básicas a seu bem estar, como alimento, água, ar limpo e clima estável. Esses serviços ambientais indispensáveis são tratados pela sustentabilidade forte.

Na validação do paradigma da sustentabilidade fraca, é preciso que um dos seguintes itens seja verdadeiro: (a) os recursos naturais são superabundantes; (b) a elasticidade da substituição entre capital natural e humano é maior ou igual à unidade (equilíbrio no limite da razão produção-recurso); (c) o progresso tecnológico pode aumentar a produtividade do estoque de capital natural mais rápido do que ele está sendo utilizado (DIETZ & NEUMAYER, 2007). Segundo VICTOR (2005), que criticou a sustentabilidade fraca, as possibilidades de substituição de recursos dependem de um elevado grau de fornecimento contínuo e crescente de energia barata, cuja hipótese está sendo desconsiderada por muitos pesquisadores (CAMPBELL & LAHERRÈRE, 1998; CAMPBELL, 2006) que acreditam que a humanidade alcançou o fim do petróleo barato de fontes convencionais.

Em síntese, a sustentabilidade está ligada à preservação dos recursos produtivos e a auto-regulação do consumo desses recursos, eliminando o crescimento selvagem obtido ao custo de elevadas externalidades negativas (sociais e ambientais). Localmente, o principal desafio é melhorar a qualidade de vida, recuperando e usando adequadamente os recursos renováveis. Globalmente, o principal desafio é mudar o estilo de vida, vislumbrando a contenção do consumo, especialmente nas áreas urbanas dos países ricos.

4. ÍNDICES E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Quando se trata de indicadores ou índices de sustentabilidade o debate está apenas se iniciando, pois não há, até o presente momento, uma fórmula ou receita consensual para avaliar o que é sustentável e o que é insustentável.

Um índice de sustentabilidade deve inicialmente referir-se aos elementos relativos da sustentabilidade de um sistema (CAMINO & MÜLLER, 1993) e a explicitação de seus objetivos, sua base conceitual e seu público usuário (ROMEIRO, 2004).

Um dos aspectos críticos de um índice de sustentabilidade é a metodologia adotada, tanto para sua determinação, quanto para sua leitura e interpretação. Independente da escolha, esta deve ser clara e transparente, não deixando dúvidas sobre quais os princípios que estão na base do processo. Outro aspecto determinante em uma avaliação ambiental de um sistema, é que não existe a possibilidade de determinar sua sustentabilidade considerando apenas um indicador ou indicadores que se refiram a apenas um aspecto do sistema. A sustentabilidade é determinada por um conjunto de fatores (econômicos, sociais e ambientais), e todos devem ser contemplados no cálculo do índice de sustentabilidade através dos correspondentes indicadores (BOUNI, 1996), tal como ocorreu com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (UNDP, 2005).

Enfim, um índice de sustentabilidade implica: (a) explicação dos mecanismos e lógicas atuantes na área sob análise; (b) quantificação dos fenômenos mais importantes que ocorrem no sistema. Através destes dois itens será possível conhecer: como a ação humana está afetando seu entorno; alertar sobre os riscos de sobrevivência humana e animal; prever situações futuras; guiar na tomada de melhores decisões políticas.

5. DISCUSSÃO

Poucas são as referências que utilizam corretamente os termos indicador e índice. Sem dúvida, indicador é o termo mais utilizado, porém erroneamente. Considerando que indicadores são normalmente utilizados como pré-tratamento aos dados originais (GOMES et al., 2000) e índices correspondem a um nível superior de agregação, não é muito adequado, por exemplo, chamar a Pegada Ecológica de indicador. A pegada ecológica, segundo a definição correta, é um índice.

Índices ou indicadores funcionam como um sinal de alarme para manifestar a situação do sistema avaliado, pois são valores estáticos, isto é, dão uma fotografia do momento atual. Sabendo que a natureza e a economia são sistemas dinâmicos, os índices não captam certos fenômenos que ocorrem no sistema, como a mudança tecnológica ou a adaptabilidade dos sistemas sociais.

Alguns indicadores podem ser tratados com potencialidade pressagiadora, já que suas metodologias consideram a mudança dos estoques internos do sistema com o tempo como consequência das alterações das forças externas ou do estabelecimento de novos arranjos internos. Os índices mais importantes nesta linha são os de desempenho emergético (BROWN & ULGIATI, 1997). A maioria dos índices e indicadores de sustentabilidade são considerados como informações essenciais que nos auxiliam na avaliação do sistema em estudo no presente momento, e uma alternativa na construção de cenários no caminho da sustentabilidade.

Através da FIGURA 1 observamos que o topo da pirâmide corresponde ao grau máximo de agregação de dados, enquanto a base representa os dados primários desagregados. Cada ferramenta de avaliação possui suas particularidades. O EF, por exemplo, não trabalha com índices ou indicadores intermediários, pois utiliza somente os dados primários e agregados para obter o índice final. Logo, essa ferramenta pula da segunda para a última etapa.

O ESI utiliza todas as etapas da pirâmide de informação, pois precisa de uma enorme quantidade de dados primários para obter as variáveis (dados agregados + sub-índices) e os indicadores. Em seguida, os indicadores que estão separados em dimensões (sub-índices) são agregados para obter o índice final. Já os EMPIs, precisam de dados primários e dados agregados para obter seus indicadores, e, em seguida, juntá-los para obter os índices finais. Dessa forma, essa ferramenta pula as etapas sub-índices e sub-índices da pirâmide.

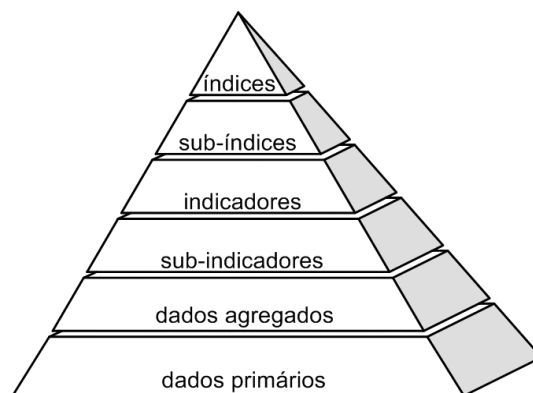


FIGURA 1. Nível de agregação de dados de uma determinada ferramenta de avaliação da sustentabilidade.
Fonte: adaptado de SHIELDS et al. (2002).

As três ferramentas apresentadas na TABELA 1 fornecem como resultado final um índice que é consequência da junção de outros indicadores ou dados trabalhados. Este índice é um valor numérico nos três casos. Podemos notar que os índices ESI e EMPIs necessitam de indicadores em seus cálculos. O ESI utiliza 21 indicadores enquanto o EMPIs utiliza 2 indicadores (EYR e a ELR).

Alguns índices têm sido utilizados em avaliações ambientais de diferentes escalas, por exemplo, a situação global da terra tem sido avaliada através da Pegada Ecológica (WWF, 2006) e dos índices de desempenho emergético (BROWN & ULGIATI, 1999). Estas duas ferramentas também estão sendo utilizadas para avaliar sistemas menores como países, regiões e também pequenos negócios e produtos. Por outro lado, outros índices, como o ESI, vêm sendo utilizados apenas na avaliação da sustentabilidade de países.

O ESI é um índice robusto e muito laborioso de calcular, podemos até dizer que é quase impossível reproduzir seus resultados. Já a EF é mais simples, mas atrás da simplicidade aparente deste índice, existem cálculos relativamente complexos, como por exemplo, mensurar o consumo da sociedade sob avaliação.

TABELA 1. Comparação teórica dos índices Pegada Ecológica (EF), Sustentabilidade Ambiental (ESI) e de Desempenho Emergético (EMPIs).

Pirâmide de informação	Pegada Ecológica	Índice de Sustentabilidade Ambiental	Índices de Desempenho Emergético
Índice	EF	ESI	EMSI e REN
Sub-índices ou dimensões	Não utiliza	5 dimensões	Não utiliza
Indicadores	Não utiliza	21 indicadores	EYR e ELR
Sub-indicadores ou variáveis	Não utiliza	146 variáveis	U (energia total), Energia importada, Energia exportada.
Dados agregados	Consumo e Biocapacidade	Não utiliza	N, R, F, G, I, E
Dados primários	Fluxos de matéria e energia	Todo dado disponível, incluindo outros índices ou indicadores.	Fluxos de matéria, energia e dinheiro, que entram e saem do sistema.

Fonte: SICHE et al. (in press). N = Recursos Não-Renováveis Usados na Economia Nacional; I = Produtos e Serviços Exportados; R = Recursos Renováveis; F = Combustíveis e Minerais Importados; G = Produtos Importados; E = Produtos Exportados; REN = Renovabilidade ($REN = R/U$); EYR = Taxa de Rendimento Emergético ($EYR = U/(F+G+I)$); ELR = Taxa de Carga Ambiental ($ELR = (N+F+G+I)/R$); EMSI = Índice de Sustentabilidade Emergético ($EMSI = EYR/ELR$).

A utilização de indicadores e índices nas diversas áreas de interesse tem estado desde sempre rodeada de alguma controvérsia, em virtude das simplificações que são efetuadas na aplicação destas metodologias. Na TABELA 2, são apresentadas algumas das principais vantagens e limitações dos índices de sustentabilidade, focando esta análise nos três índices selecionados neste trabalho (ESI, EF e EMPIs), mas que pode ser projetado aos índices de sustentabilidade em geral.

TABELA 2. Vantagens e limitações dos índices de sustentabilidade (ESI, EF e EMPIs).

Vantagens	Limitações
(a) Avaliação dos níveis de sustentabilidade (ESI, EMPIs, EF);	(a) Subestima informação associada à sustentabilidade (EF);
(b) Capacidade de sintetizar a informação de caráter técnico/científico (ESI, EMSI, EF);	(b) Dificuldades na definição de expressões matemáticas que melhor traduzem os parâmetros selecionados (ESI);
(c) Identificação das variáveis-chave do sistema (EMSI, EF);	(c) Perda de informação nos processos de junção dos dados (ESI);
(d) Facilidade de transmitir a informação (EF);	(d) Diferentes critérios na definição dos limites de variação (EMPIs, ESI);
(e) Bom instrumento de apoio à decisão e aos processos de gestão ambiental (EF, EMPIs, ESI);	(e) Complexidade nos cálculos para chegar ao índice final (ESI);
(f) Sublinhar a existência de tendências pressagiadoras (EMPIs, EF);	(f) Dificuldades na aplicação em determinadas áreas como o ordenamento do território e a paisagem (ESI).

Modificado de GOMES et al. (2000).

6. CONCLUSÕES

Através das informações levantadas neste trabalho, podemos concluir que um índice é um dado mais apurado que provém da agregação de um jogo de indicadores ou variáveis e que pode interpretar a realidade de um sistema. Por outro lado, um indicador normalmente é utilizado como um pré-tratamento aos dados originais.

Existem muitas ferramentas que calculam índices de sustentabilidade, cada um com suas especificidades: necessidade de diferentes quantidades de dados primários; consideram diferentes fluxos de energia, massa e dinheiro; consideram pesos diferentes entre as abordagens econômica, ambiental e social;

possuem diferentes considerações iniciais; mas todas objetivam diagnosticar o desempenho do sistema em estudo e servir como subsídio aos tomadores de decisão.

Sustentabilidade é um conceito complexo e que possui diferentes abordagens, mas em todas está intrínseco o conceito de equilíbrio da biosfera e do bem estar da humanidade. Se nosso desenvolvimento atual não é sustentável, é porque degradamos alguns biomas naturais que forneciam serviços ambientais críticos, ou seja, essenciais ao nosso bem estar e que não podem ser substituídos pelo capital humano.

Finalmente, índices ou indicadores de sustentabilidade constituem alternativas válidas e importantes para descrever a sustentabilidade de sistemas, mas que precisam considerar seu verdadeiro significado e alcance. O mais importante é que tanto índices como indicadores de sustentabilidade já são vistos como padrões utilizados nas decisões políticas, estratégicas e empresariais dos países, sob a premissa ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZAR, C., HOLMBERG, J., LINDGREN, K. Socio-ecological indicators for sustainability. **Ecological Economics**, v. 18, n° 2, p. 89-112, ago. 1996.
- BARRERA, R.A., SALDÍVAR, V.A. Proposal and application of a Sustainable Development Index. **Ecological Indicator**, v. 2, n° 3, p. 251-256, dez. 2002.
- BALOCCHO, C., PAPESCHIB, S., GRAZZINIA, G., BASOSIB, R. Using exergy to analyze the sustainability of an urban area. **Ecological Economics**, v. 48, n° 2, p. 231-244, fev. 2004.
- BICKNELL, K.B., BALL, R.J., CULLEN, R., BIGSBY, H.R. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand. **Ecological Economics**, v. 27, n° 2, p. 149-160, nov.1998.
- BOUNI, C. Indicateurs de développement durable: l'enjeu d'organiser une information hétérogène pour préparer une décision multicritère. In: COLLOQUE INTERNATIONAL, ABBAY DE FONTEVRAUD - INDICATEURS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE, Paris, 1996. **Livro de Trabalhos**. Paris: Application des Sciences de l'Action (AScA), 1996. 14 p.
- BROWN, M.T., MCCLANAHAN, T.R. Emergy Analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. **Ecological Modelling**, v. 91, n° 1-3, p. 105-130, nov. 1996.
- BROWN, M.T., ULGIATI, S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. **Ecological Engineering**, v. 9, n° 1-2, p. 51-69, set. 1997.
- BROWN, M.T., ULGIATI, S. Emergy evaluation of the biosphere and natural capital. **Ambio**, v. 28, n° 6, p. 486-493, set. 1999.
- CAMINO, R., MÜLLER, S., **Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores**. San José, CR: **Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA)**, 1993. 134 p. (Série Documentos de programas IICA, n° 38).
- CAMPBELL, C.J. The Rimini Protocol an oil depletion protocol: Heading off economic chaos and political conflict during the second half of the age of oil. **Energy Policy**, v. 34, n° 12, p. 1319-1325, ago. 2006.
- CAMPBELL, C.J., LAHERRÈRE, J.H. The end of cheap oil. **Scientific American**, p. 78-83, mar. 1998.
- CHAMBERS, R., CONWAY, G.R., Sustainable Rural Livelihoods: practical concepts for the 21st century. Institute of development studies: Discussion Paper n° 296, 1991. Disponível em: <<http://www.ids.ac.uk/ids/bookshop/dp/dp296.pdf>> Acesso em: 12 novembro 2007.
- DIETZ, S., NEUMAYER, E. Weak and strong sustainability in the SEEA: concepts and measurement. **Ecological Economics**, v. 61, n° 4, p. 617-626, mar. 2007.
- EKINS, P., SIMON, S., DEUTSCH, L., FOLKE, C., DE GROOT, R. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. **Ecological Economics**, v. 44, n° 2-3, p. 165-185, mar. 2003.
- GILBERT, J.A., FEENSTRA, F.J. A sustainability indicator for the Dutch environmental policy theme 'Diffusion': cadmium accumulation in soil. **Ecological Economics**, v. 9, n° 3, p. 253-265, abr. 1994.
- GOMES, M.L., MARCELINO, M.M., ESPADA, M. **Proposta para um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável. Direção Geral do Ambiente**. Portugal: Direção de Serviços de Informação e Acreditação Direção Geral do Ambiente, 2000. 228 p. Disponível em: <<http://www.iamambiente.pt/sids/sids.pdf>>. Acessado em: 12 novembro 2007.
- GFN, Global Footprint Network. **Ecological Footprint: Overview**. 2006. Disponível em: <<http://www.footprintnetwork.org/>>. Acessado em: 12 novembro 2007.
- IUCN, UNEP, WWF. **The World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development**. International Union for Conservation of Nature (IUCN), United Nations Environment Programme (UNEP) and World Wide Fund for Nature (WWF), Gland, Switzerland, 1980.
- KARR, J.R. Protecting ecological integrity: An urgent societal goal. **Yale Journal of International Law**, v. 18, n° 1, p. 297-306, 1993.
- KHANNA, N. Measuring environmental quality: an index of pollution. **Ecological Economics**, v. 35, n° 2, p. 191-202, nov. 2000.
- KROTSCHICK, C., NARODOSLAWSKY, M. The Sustainable Process Index, a new dimension in ecological evaluation. **Ecological Engineering**, v. 6, n° 4, p. 241-258, jun. 1996.
- MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. **Sustainable Development**, v. 4, n° 1, p. 1-11, 1996.
- MOSER, A. Eco-technology in industrial practice: implementation using sustainability indices and case Studies. **Ecological Engineering**, v. 7, n° 2, p. 117-138, out. 1996.
- MUELLER, C., TORRES, M., MORAIS, M. **Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.
- NEUMAYER, E. The human development index and sustainability - a constructive proposal. **Ecological Economics**, v. 39, n° 1, p. 101-114, out. 2001.
- NILSSON, J., BERGSTRÖM, S. Indicators for the assessment of ecological and economic consequences of municipal policies for resource use. **Ecological Economics**, v. 14, n° 3, p. 175-184, set.1995.
- ODUM, H.T. **Environmental Accounting, Emergy and Decision Making**. New York: J. Wiley, 1996. 370 p.
- PEARCE, W.D., ATKINSON, D.G. Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of weak sustainability. **Ecological Economics**, v. 8, n° 2, p. 103-108, out. 1993.

- PRABHU, R., COLFER, C.J.P., DUDLEY, R.G. **Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable forest management**. Toolbox Series, N° 1. Indonesia: CIFOR, 1999.
- REES, W. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economies leaves out. **Environment and Urbanization**, v. 4, n° 2, p. 121-130, 1992.
- ROMEIRO, A.R. (Org.). **Avaliação e Contabilização de Impactos Ambientais**. Campinas (Brasil): Editora UNICAMP, 2004. 400 p.
- SACHS, I. Desarrollo sustentable, bio-industrialización descentralizada y nuevas configuraciones rural-urbanas. Los casos de India y Brasil. **Pensamiento Iberoamericano**, Madrid, v. 46, p. 235-256, 1990.
- SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 2. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2002. 96 p.
- SAMUEL-JOHNSON, K., ESTY, D.C. **Pilot Environmental Sustainability Index Report**. Davos (Switzerland): World Economic Forum: Annual Meeting, 2000. 41 p. Disponível em: <http://sedac.ciesin.org/es/esi/ESI_00.pdf>. Acesso em: 12 novembro 2007.
- SHIELDS, D., SOLAR, S., MARTIN, W. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicator**, v. 2, n° 1-2, p. 149-160, nov. 2002.
- SICHE, J.R., ORTEGA, E. O Índice de Sustentabilidade Emergético como ferramenta para avaliar a sustentabilidade dos países da América Latina. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA AMÉRICA LATINA, 2., 2005, Campinas. **Anais do 2do Seminário Internacional Ciência e Tecnologia na América Latina**. Campinas: UNICAMP, 2005. Disponível em: <http://www.cori.rei.unicamp.br/CT/resul_trbs.php?cod=214>. Acesso em: 12 nov. 2007.
- SICHE, J.R., ORTEGA, E. Emery-based sustainability of the Peruvian economy. In: BIENNIAL EMERGENCY ANALYSIS CONFERENCE, 4., 2006, Gainesville, Florida. **Proceedings of the 4th Biennial Emergency Analysis Conference**. Gainesville, Florida: The Center for Environmental Policy, University of Florida, 2006. p. 11.1-11.13.
- SICHE, J.R., ORTEGA, E., ROMEIRO, A., AGOSTINHO, F.D.R. Sustainability of nations by indices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emergy performance indices. **Ecological Economics**, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.10.023 (in press).
- STEINBORN, W., SVIREZHEV, Y. Entropy as an indicator of sustainability in agro-ecosystems: North Germany case study. **Ecological Modelling**, v. 133, n° 3, p. 247-257, set. 2000.
- STOCKHAMMER, E., HOCHREITER, H., OBERMAYR, B., STEINER, K. The index of sustainable economic welfare (ISEW) as an alternative to GDP in measuring economic welfare. The results of the Austrian (revised) ISEW calculation 1955–1992. **Ecological Economics**, v. 21, n° 1, p. 19-34, abr. 1997.
- ULGIATI, S., ODUM, H.T., BASTIANONI, S. Emery use, environmental loading and sustainability. An emergy analysis of Italy. **Ecological Modelling**, v. 73, n° 3-4, p. 215-268, jun. 1994.
- UNDP. **Human Development Report 2005**. Washington, USA: United Nations Development Programme (UNDP), 2005. 388 p. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2005/>>. Acessado em: 06 nov. 2007.
- UNITED NATIONS. **Agenda 21**. Rio de Janeiro, Brasil: United Nations Conference on Environment & Development, 1992. 338 p. Disponível em: <http://www.sidsnet.org/docshare/other/Agenda21_UNCED.pdf>. Acessado em: 12 nov. 2007.
- VAN BELLEN, H.M. Sustainable development: presenting the main measurement methods. **Ambiente e Sociedade**. Campinas, Brasil, v. 7, n° 1, p. 67-87, jan./jun. 2004.
- VENETOULIS, J., TALBERTH, J. **Ecological footprint of nations, 2005 update**. California, USA: Redefining Progress, 2006. 16 p. Disponível em: <<http://www.ecologicalfootprint.org/pdf/Footprint%20of%20Nations%202005.pdf>>. Acessado em: 06 nov. 2007.
- VICTOR, P.A. Review of Eric Neumayer's book: Weak versus strong sustainability, 2nd edition, Edward Elgar Publishing, ISBN: 184064060, 256 pp, 2003. **Ecological Economics**, v. 52, n° 1, p. 127-128, jan. 2005.
- WACKERNAGEL, M., REES, W. **Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth**. Philadelphia, PA: New Society Publishers, 1996. 160 p.
- WCED, World Commission on Environment and Development. **Our Common Future**. Oxford, U.K.: Oxford University Press, 1987. 383 p.
- WWF, World Wildlife Fund. **Living Planet Report 2006**. World Wildlife Fund International, Institute of Zoology and Global Footprint Network. 44 p. Disponível em: <http://www.panda.org/news_facts/publications/living_planet_report/index.cfm>. Acessado em: 12 nov. 2007.

*Apêndice 3. Artigo: Sustainability of nations by indices:
comparative study between environmental sustainability index,
ecological footprint and the energy performance indices.**

* Artigo in press no Jornal Ecological Economics (DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.10.023).

Sustainability of nations by indices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emergy performance indices

Siche, J.R.^a, Agostinho, F.D.R.^b, Ortega, E.^{b,*}, Romeiro, A.^c

^a *Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Peru.*

^b *Laboratory of Ecological Engineering, FEA (College of Food Eng), Unicamp, CP 6121, CEP 13083-862, , Campinas, SP, Brazil.*

^c *Núcleo de Economia Agrícola, NEA, UNICAMP, CP 6135, Campinas, SP, Brazil.*

ABSTRACT

The present work makes a comparison of the two more used environmental sustainability indices of nations: "ecological footprint" and "environmental sustainability index", with two emergy ratios (renewability and emergy sustainability index). All of them are gaining space within scientific community and government officials. Despite the efforts for obtaining an index that adequately represents the sustainability of a region, according to the result of this research, nowadays there is not yet a completely satisfactory index. We consider that all of them need to be improved, but the results point out the possibility to obtain one better index of sustainability through the junction of ecological footprint with renewability emergy index.

Keywords: indices of sustainability, ecological footprint, emergy.

1. Introduction

In the decade of 60's, the book "Silent Spring" of Carson (1962) became emblematic and contributed decisively for a change of perspective of the environmentalist movement, changing it from "conservationism" to "ecology activism". Ten years later another book caused great impact, "The Limits to Growth" prepared by a group of researchers of The Massachusetts Institute of Technology (Meadows et al., 1972). This book uses modeling and simulation of ecological and economic system of the Earth at the end of XX century and points out the serious problems that humanity will should solve, probably through a new development model to overcome an ecological and social disaster. Among the critic problems they cited: the intensive use of fossil energy with the consequent end of reserves; reduction of supply of natural resources; increment of the industrial activity and pollution; increase and collapse of population; and, limitation of the capacity of food production.

The term "sustainability" was introduced as an international issue by the book "The World Conservation Strategy" of 1980 (IUCN et al., 1980). Since that date the term begin to be used with increased frequency and its economic, social and environmental dimensions were debated as well as its importance in the search for a new form of development. This concept was deeply discussed in a study prepared for the World Commission on Environment of United Nations known as "Brundtland Report" (World Commission on Environment and Development, 1987). This report, among others things, concludes that it is necessary a deep change in the concept and approach of human development, since all the ecological systems of the planet are suffering serious and irreversible damages.

The idea of indicators to evaluate the sustainability appeared in the World Conference on Environment - Rio 92, in one of its final documents, Agenda 21 that registers in chapter 40: "commonly used indicators such as the gross national product (GNP) and measurements of individual resource or pollution flows do not provide adequate indications of sustainability. Methods for assessing interactions between different sectoral environmental, demographic, social and developmental parameters are not sufficiently developed or applied. Indicators of sustainable development need to be developed to provide solid bases for decision-making at all levels and to contribute to a self-regulating sustainability of integrated environment and development systems" (United Nations, 1992). The proposal was to define sustainable standards of development that considered ambient, economic, social, ethical and cultural aspects; for this, it became necessary to define indicators that could measure and evaluate all the important aspects of the question.

Interesting studies about the development of indices to evaluate the sustainability of countries had been published in the journal Ecological Economics (Pearse and Atkinson, 1993; Gilbert and Feenstra, 1994; Nilsson and Bergström, 1995; Azar et al., 1996; Stockhammer et al., 1997; Bicknell et al., 1998; Neumayer, 2001; Baloccoa et al., 2004) and other influent journals (Steinborn and Svirezhev, 2000; Moser, 1996; Krotscheck and Narodoslowsky, 1996; Barrera and Saldívar, 2002).

One of the most important contributions to the development of a sustainability indicator was

given by Rees (1992) with the development of a index called "ecological footprint" or EF. The original methodology consisted in the construction of a matrix "consumption/use of land". The objective of this index is to calculate the necessary land area for the production and the maintenance of goods and services consumed by a determined community (Wackernagel and Rees, 1996).

Another index considered of importance in the debate on sustainability is the Environmental Sustainability Index or ESI (Samuel-Johnson and Esty, 2000). This index, when proposed, it quickly originated discussions and controversies at the academy and between politicians all over the world.

The scientific community considers these two indices (the EF and ESI) as of bigger impact in the evaluation of the sustainability of countries.

Finally, the emergy performance indices known as renewability and emergy sustainability index (Brown and Ulgiati, 1997), which we will refer as EMPs, that consider the economic system as an open thermodynamic system within the biosphere and account for all the flows in units of aggregate energy. These indices are based on the emergy theory proposed by Odum (1996).

The focus of this work was to compare all the indices above cited (EF, ESI and EMPs), analyzing its methodology and application, in qualitative and quantitative form, identifying to the strengths and weakness of each one of them.

2. Comparative analysis

2.1. Ecological Footprint (EF)

The concept of the ecological footprint was introduced by Rees (1992) and elaborated by Wackernagel and Rees (1996, 1997) among others.

The EF can be compared with the productive biological capacity of the available land and the sea to this population (WWF, 2005). For its creators, the EF is a measure of the impact of the population expressed in terms of the appropriate area; it is the surface of ecologically productive territory in the diverse categories (arable lands, pastures, forests, sea and CO₂ absorption area), necessary to supply the resources of energy and matter that a population consume and to absorb its wastefulnesses considering its current technology (Wackernagel and Rees, 1996).

One characteristic term of this methodology is the biocapacity. The biocapacity measures the bioproductive supply the biological production in an area. It is an aggregate of the production of various ecosystems within the area, e.g. arable, pasture, forest, productive sea. Some of it is built or degraded land. Biocapacity is dependent not only on natural conditions but also on prevailing farming/forestry practices.

The calculation of the EF for a country implies basically: (a) calculation of the per capita annual average consumption (ACp), considering five categories of products: food, housing, transport, commodities and services; (b) calculation of the necessary productive area for each category (NPA = ACp/annual average productivity or income); and, (c) calculation of the per capita ecological footprint (EFp = \sum NPA of each category of production). Finally, it is possible to calculate the total ecological footprint (EF = EFp x Population).

A detailed description of this index can be found in Wackernagel and Rees (1996, 1997), some recent modifications in the calculation in Wiedmann et al. (2006) and the calculation for 149 countries in the Living Planet Report 2004 (WWF, 2005).

2.2. Environmental Sustainability Index (ESI)

The ESI was developed by a group of researchers of the universities of Yale and Columbia and presented formally in 2000 in World Economic Forum (Annual meeting 2000, Davos Switzerland) for Kim Samuel-Johnson and Daniel C. Esty. In the construction of the ESI-2005, 21 indicators and 76 variables had been used. It is important to indicate that the "ecological footprint" is considered as a variable in the calculation of this index.

The ESI-2005 considers five dimensions: environmental systems (air, water, land and biodiversity), stresses (situations very critical of pollution or any excessive level of exploration of natural resources), human vulnerability (nutritional situation and the illnesses related to environment), social and institutional capacity (capacities that allows to deal with the problems and environmental challenges) and global stewardship (efforts and representative projects of international cooperation of the global responsibility).

The ESI is an index applied in the evaluation of nations' sustainability, being its main objective to establish a way of comparison of countries' sustainability. In the calculation of the ESI its creators had looked for to identify the groups of countries with similar profiles for the method clusters' statistic analysis. Thus, the ESI-2005 considers 7 clusters.

The method for the calculation of the ESI is the following one: (a) election of the countries (based in the country size, variable coverage and indicator coverage); (b) standardization of the variables for cross-country comparisons; (c) transformation of the variables (for imputation and aggregation procedures); (d) substitution

missing data using the multiple imputation algorithm; (e) winsorization of the data; and, (f) aggregation of the data to indicator scores and the final ESI score.

In the web site of ESI (<http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/ESI/>) can be found historical data, reports and detailed descriptions of this index.

2.3. Emergy Performance Indices (EMPIs)

We give the name EMPIs to emergy accounting indices used to evaluate the sustainability of a economic system: renewability (REN) and emergy sustainability index (EmSI) suggested by Brown and Ulgiati (1997). Emergy Analysis was formalized, after many studies, as a method of ecosystem valuation from the point of view of the biophysical economy. The basis are the works of Lotka (1925), Bertalanffy (1968) and others. Odum (1986), used for the first time the term "emergy" (written with "m") with the meaning of "EMbodied enERGY", also called "EnERGY Memory" (Scienceman, 1987).

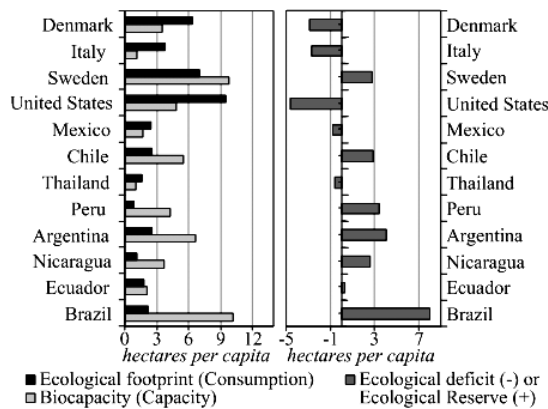


Fig.1. Ecological Footprint: (a) Capacity and Consumption. (b) Ecological deficit.

In practice, emergy analysis includes geophysical to value the amount of energy connected to the production and use of natural and anthropic resources. The aim of this methodology is to obtain a thermo-dynamical measure of the energy used to produce a resource. It uses a common unit for all the resources: the equivalent solar energy Joule (seJ). Solar emergy is used to give value to natural resources that the economy does not evaluate correctly (rain, raw materials from nature, water from rivers, biodiversity) and also to resources provided by human economy, mainly fossil fuels and their derivatives (goods and services of industrial economies). Emergy analysis, by this characteristic, is used to make studies of environmental inventory and human impact on them.

Emergy Analysis consists of: (a) Identification of all the materials and energy flows that participate in the processes carried out within a system and calculation of emergy flows through the use of the

conversion factor named "transformity". Transformity is the solar emergy required to make one joule of product or service (Odum, 1996). Thus, Energy flow x Transformity = Emergy flow; (b) Aggregation of flows of same kind, for example, emergy of the local renewable resources (R) and total emergy used in the system (U)²⁰. A sustainability index can be calculated with these two aggregated flows, the Renewability (REN=R/U); (c) Calculation of emergy yield ratio, EYR=U/(F+G+S) and environmental loading ratio, ELR=(N₀+N₁+F+G+S)/R; and finally, (d) Calculation of emergy sustainability index (EmSI = EYR/ELR).

EYR measures the system's net contribution to the economy beyond (Odum, 1996). ELR measures the pressure on local ecosystems due to the importation of energy and materials that are not indigenous, and is thus a general measure of ecosystem stress due to economic activity (Ulgiati and Brown, 1998).

Sustainability, according to EmSI, implies to achieve the highest energy balance with the lesser environmental impact; the higher this is, the more an economy relies on renewable energy sources, minimizing the importations and environmental load.

Sustainability, according to REN, implies that in the long run, only processes with high REN will be sustainable (Brown and Ulgiati, 1997).

More detailed descriptions of the method and applications can be found in Odum (1996).

3. Results

It was selected a set of 12 countries whose sustainability has been previously evaluated with the three methods chosen for this research.

The Fig.1 shows the results of ecological footprint. In this figure, two different scales are included: "consumption" (EF) and "biocapacity" (BC) in hectares per capita for each country (Fig. 1a), and the difference between EF and BC expressed as ecological deficit (ED) or ecological reserve (ER) (Fig. 1b). In the case of United States it is observed a great consumption (EF=9,5) and low local biocapacity to support its consumption (BC=4,9) (Fig.1a), it results in a high ED (-4,6) (Fig. 1b). In the opposite case, Sweden also has a high value of consumption (EF=7,0) but a bigger biocapacity (BC=9,8) that results in a ER=2,8, defining itself as a sustainable country. This index was calculated

²⁰ $U=N_0+N_1+R+F+G+S$. (N_0 : dispersed rural nonrenewable resources, mainly soil and forest; N_1 : concentrated nonrenewable resources - urban, industrial uses; R: renewable resources; F: imported fuels and minerals; G: imported goods; S: services in imported goods and fuels.)

for Chile, Peru, Argentina and Brazil and the results show low consumptions compared with high biocapacities, locating them between the more sustainable countries of the planet.

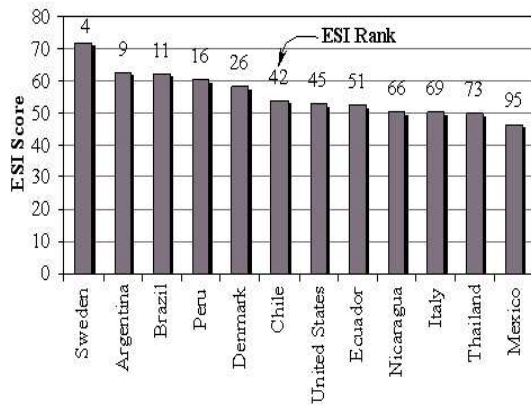


Fig.2. Environmental Sustainability Index (Score and Rank).

Fig. 2 shows the ESI calculated for each country. In this analysis, the countries of high value of the ESI are sustainable countries and the countries of low value are unsustainable; thus, Sweden, according to ESI-2005, has an ESI score of 71,7 (4th in the ESI rank), is one of the sustainable countries. Mexico, with ESI score of 46,2 (95th in the ESI rank), is one of the unsustainable countries. United States, with ESI score of 52,9 (45th in ESI rank), is considered an intermediate country in the ESI scale. Argentina, Brazil and Peru, 9th, 11th and 16th respectively in the ESI rank are sustainable countries.

Fig. 3 shows the EMPs (EmSI and REN) for each country. The countries that have high values of EmSI and REN are sustainable and the countries with low values of EmSI and REN are unsustainable. Thus, Denmark (EmSI=0,14 and REN=0,09), Italy (EmSI=0,17 and REN=0,10), Sweden (EmSI=0,19 and REN=0,12) and United States (EmSI=0,48 and REN=0,11) are unsustainable countries. Countries as Argentina (EmSI=8,20 and REN=0,56), Nicaragua (EmSI=13,86 and REN=0,77), Ecuador (EmSI=15,48 and REN=0,50) and Brazil (EmSI=16,50 and REN=0,70) are sustainable countries.

In Fig. 4, the values of sustainability of the three evaluated methods are plotted in a scale from 0 to 100. It was used linear normalization of data (UNDP, 2005) to convert the values of the evaluated indices in comparable scales but conserve the relative importance of its original measurement. In the case of the EF that has a contrary trend to indices ESI and REN, its complementary value to one was calculated (Efr=1-EF) to keep the consistency.

Fig. 4 shows concentration of obtained data. At the right side, Brazil and Argentina show consistency in results; the values of sustainability obtained with the three methods are similar. On the left, the discrepancies between the results of each index are

evident. Thus, meanwhile the ESI calculates a good value of sustainability for Sweden, REN and EFr show a low sustainability. In the opposite case, Mexico that according to ESI has a low sustainability, while using the EF shows a high sustainability.

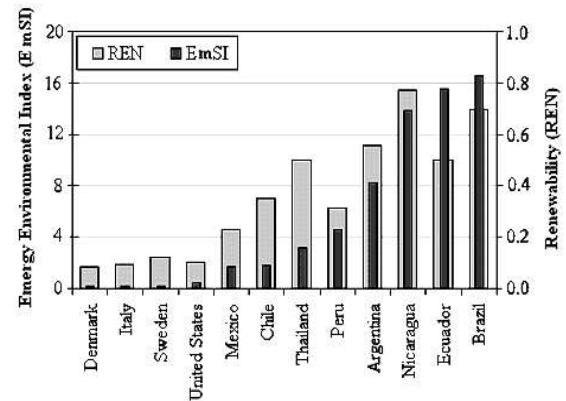


Fig. 3. Energy Performances Indices: Renewability (REN) and Energy Sustainability Index (EmSI). Based in the studies of Brown & McClanahan (1996), Cuadra (2005), Haden (2003), Lagerberg (1999), Siche & Ortega (2006), Scatena et al. (2002).

In the Fig.5 the regressions between pairs of these indices are presented. The correlation coefficient (R^2) is used here as a tool to define, beyond the similarity between the methods, also the degree of dependence. A $R^2=0,0004$ (Fig. 5a) indicates that the comparative methods (ESI and EmSI) give very different results, or that the ESI is explained in 0,04% for the EmSI, or vice versa, the EmSI is explained in 0,04% for the ESI. A $R^2=0,5156$ (Fig. 5e) indicates that the methods EF and REN give similar results; EF is explained in 52% for the REN and vice versa.

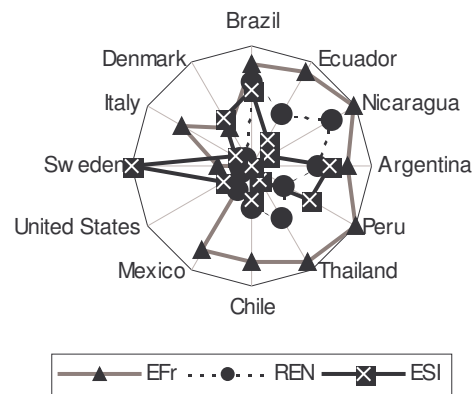


Fig. 4. Comparative radar of the sustainability values.

Finally, in order to compare the methods two tables were prepared. Table 1 shows the processing of raw data in each method to achieve its final index. Table 2 describes the main characteristics of each method.

4. Discussion

The three methods studied show advantages and limitations, they show different approaches, different levels of complexity and they use different units in their calculations.

The EF is expressed in units easy to understand (land area). The ESI has not a specific dimension, its value is obtained from a complex expression that includes many concepts, each one with different units, including "land area", since this methodology includes the EF as one of its 146 variables. The EMPIS are obtained from equations that consider only one unit of measure: solar energy (equivalent solar Joule or seJ).

As it can be seen in Table 1, the three indices give as final result a numerical value that is consequence of the aggregation of other indicators.

The three indices can reveal critical situations of the evaluated systems. Usually they are used as static

methods; they provide a system's photography at the current moment. Since the nature and the economy are dynamic systems, these indices do not catch certain phenomena on course, as technological or social systems changes. The emergy analysis developed a specific method for dynamic modeling and simulation (Odum and Odum, 2000; Valyi and Ortega., 2004), since this methodology considers the change of internal stocks as consequence of the alterations of the external forces or the establishment of new internal arrangements. This makes possible to model and to simulate an ecosystem or economies.

The creators of EF say that prediction never was their intention. The EF can be seen as an ecological camera; each analysis supplies an instantaneous of current demands on the nature,

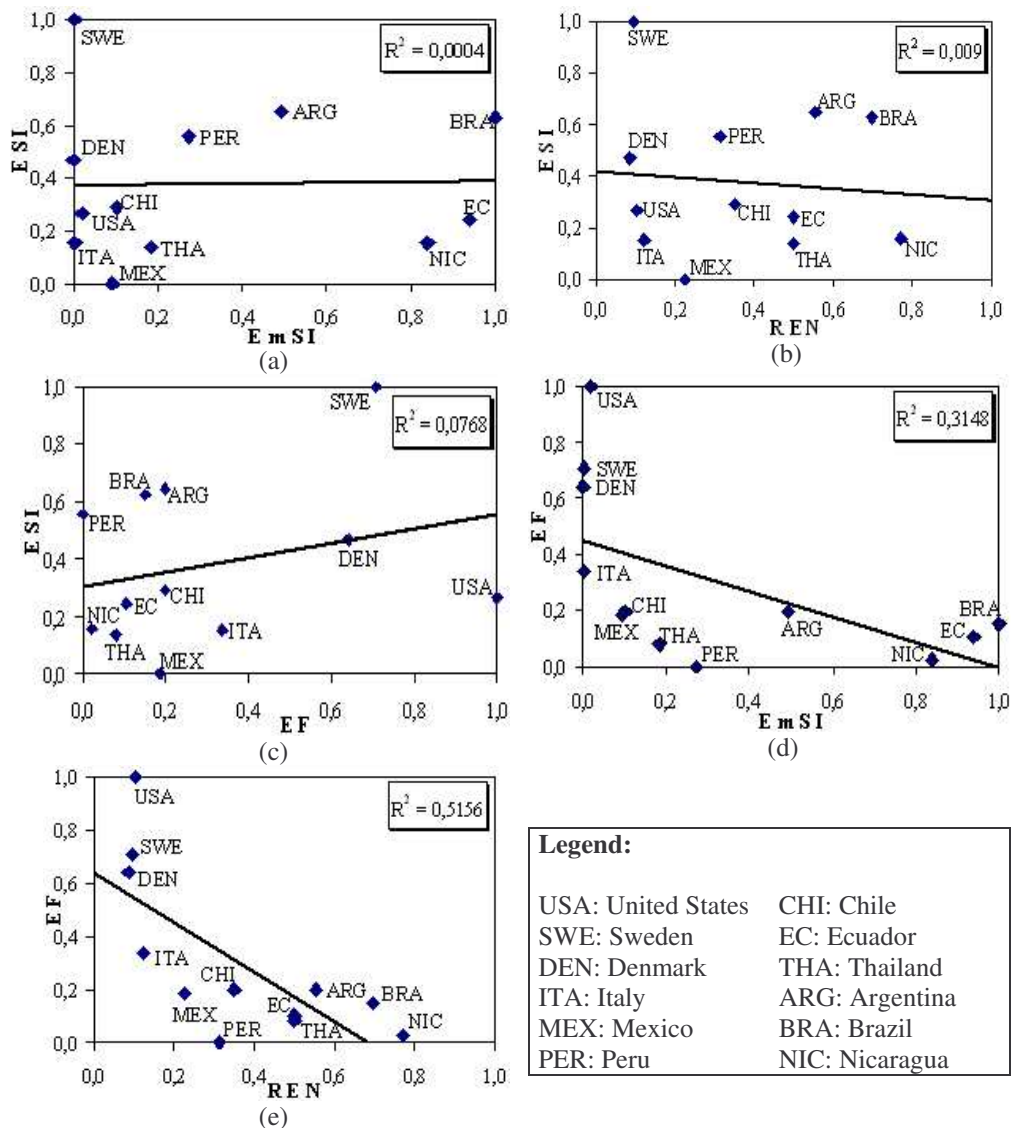


Fig. 5. Correlations between the indices. (a) ESI – EmSI; (b) ESI –REN; (c) ESI – EF; (d) EF – EmSI; (e) EF – REN.

a picture of land demand of dominant technology and social values (Rees and Wackernagel, 1996). They reiterate in this paper, that ecological footprint is not a window of the future, but a skill to evaluate current reality and to construct sceneries in the search of sustainability.

EF as EMPIs has been applied to make environmental evaluations at all scales (Table 2), for example, the global situation has been evaluated with the EF (WWF, 2005) and with the EMPIs (Brown and Ulgiati, 1999). These two tools also are being used to evaluate countries, regions and also small enterprises. On the other hand, the ESI has been only to evaluate the sustainability of countries.

ESI is the most robust index and the more laborious to calculate. The EMPIs demand certain knowledge of emergy concepts based on open systems thermodynamics but are easy to calculate and the EF is the more simple method, it does not use sub-indicators (Table 1) and it does not consider or underestimate important factors as wastes, emissions, recycling and how renewable are the resources used (Table 2). But behind the apparent simplicity of EF there is a complex calculation of land indices for many human and natural activities. The ESI includes the use of the multiple imputation algorithms to substitute missing data and other statistical tools and assumptions that make difficult the reproduction of their data.

Table 1. Aggregation of the data

Pyramid of information: Index	Ecological Footprint EF	Environmental Sustainability Index ESI	Emergy Performance Indices: EmSI, REN
Sub indices or dimensions	Not use	5 dimensions	Not use
Indicators	Not use	21 indicators	EYR and ELR
Variables or added data	Not use	146 variables	U (total emergy), Imported Emergy, Exported Emergy
Organized data	Consumption and biocapacity	Not use	N, R, F, G, S, E
Primary data	Flows of materials and energy of the system under analyze.	All available data including other indices or indicators.	Flows of materials, energy and money, that enter, leave and/or recirculate.

N : Nonrenewable resources; R: renewable resources; F: imported fuels and minerals; G: imported goods; S: services in imported goods and fuels; E: Value of Goods and Service Exports;

Respect to wastes, emissions and recycling (IDER, Table 2), EF accounts for the area to absorb the carbon dioxide formed during the combustion of fossil fuels, but without considering another kind contamination and recycling is not considered, at least directly. In the EMPIs, any flow or stock can be accounted; however, in practice, the emergy analysis of national systems does not account atmospheric emissions and residues stocks.

In relation with the concept of how renewable is a resource (DEFER, Table 2), only the emergy method makes this differentiation. The EMPIs establish a clear differentiation between finite power sources (non-renewable) and renewable continuous sources. EF when considering biocapacity includes this consideration, but not in other calculations. Therefore EF is not able to explicit the degree of sustainability in the final indicator. In the case of the ESI, this concept is used in an indirect form, first, because in its calculations EF is considered as a variable (maybe with low weight); and second, because many other variables used in the calculation represent somehow the use of renewable resources, as the variable “hydropower and renewable energy production as percentage of total energy consumption”.

It can be said that, all of them obtain an estimative of sustainability in a general way and in some cases; the three studied indices can supply similar results. But, it is necessary to be careful when making conclusions and proposals. For example, in accordance with the report “Living Planet Report 2004” countries as Thailand, Peru, Nicaragua and Ecuador register very good values of EF (Fig.1a), that is, these regions possess more area than the necessary to support the life style of its inhabitants. But this fact is connected with the situations of poverty and underdevelopment. On the other hand, countries as United States, Denmark and Italy, there are an area deficit (Fig. 1b); because the life style of its inhabitants cannot be supported with the local resources. In practice, the countries with high consumption survive with the resources of other countries (oil of the Arab countries, minerals, fuels and natural raw-materials from Latin America and Africa, etc.).

A similarity between EF and EMPIs is the fact that both accept the hypothesis of that the inhabitants of a region are not “isolated”, they consume what it is produced plus imported minus exported. The difference is that the EMPIs consider imported and exported emergy as variables (Table 1) of the evaluated system and insert them in some of its indicators; this is not the case with EF that account them in indirect form as part of the consumption calculation but that it is not reflected in the final index.

The mathematical analysis (Fig. 4 and Fig. 5) shows that EF and EMPIs have similar behavior. One of the main results in the mathematical analysis is that ESI obtains very good values for some countries that have proven a big participation in the pollution of the planet, as United States and Denmark, in contrast to bad values of EF and EMPIs for these countries (Fig. 4).

Table 2. Main characteristics of the methods

Characteristic	Methodology		
	EF	ESI	EMPIs
Unit of measure	Land	Several	Energy
Level of Complexity	area	High	Medium
Type	Low	Static	Static and Dynamic
Scale ⁽ⁱ⁾	Static		G, N, SN, L, B and P
IDER ⁽ⁱⁱ⁾	G, N, SN, L, B and P	All	All
EDES ⁽ⁱⁱⁱ⁾	Only emission		Superficial
DEFR ^(iv)	CO ₂ Partial Underestimation	Complete Indirect	Direct

- (i) Scales: it represents the geographic level in what the index is being applied (G: Global; N: national; SN: sub-national; L: place; B: businesses; P: products)
- (ii) The method includes in its methodology: wastefulness, emissions and recycling.
- (iii) The method considers the effect of the emissions on the ecosystem.
- (iv) The method recognizes the difference between fossil and renewable energy.

The indices with better interdependence are EF and EMPIs ($R^2=0,3148$ for EF-EmSI, Fig. 5d; $R^2=0,5156$ for EF-REN, Fig. 5e) and those of worse dependence are ESI and EMPIs ($R^2=0,0004$ for ESI-EmSI, Fig. 5a; $R^2=0,009$ for ESI-REN, Fig. 5b). It can be said, that 32% of EF variation is explained by EmSI and 52% of the EF variation is explained by REN. The Fig. 5c shows a low correlation of ESI with EF ($R^2 = 0,0768$).

5. Conclusions

The ecological footprint is based on the comparison of “consumption” versus “resources”, but one an evident imperfection of this index is the low use of information associated to sustainability, aspects that the emergy methodology compute. On the other hand, the demand of information in the ESI is excessive for many users; however ESI can be considered very elucidative. Emergy analysis (the EMPIs), until present moment, does not consider some important variables in the case of not developed countries, specifically the calculation of natural biomass energy that can be an important energy resource; nevertheless, this method gives a approximate solution that can be refined. An important point is that emergy analysis separates renewable and non-renewable resources.

Of the three evaluated methods, those that better represent the sustainability of the system, according to our analysis, are the ecological footprint (EF) and the emergy performance indices (EMPIs). In this way, to improve and to refine the methodology of the ecological footprint, considering the strong points of the emergy methodology, could be a good alternative.

Research about this line was published recently (Zhao et al., 2005; Chen and Chen, 2006), but these new mixed methods maintain some deficiencies of the original methodologies.

It is possible to say that the three methods are important alternatives to calculate the sustainability of nations, but they need to be refined in order to think in a new better alternative derived from them.

Acknowledgements

We acknowledge the “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq” of Brazil for providing financial support for the development of the present study,

REFERENCES

- Azar, C., Holmberg, J., Lindgren, K., 1996. Socio-ecological indicators for sustainability. *Ecol. Econ.* 18, 89–112.
- Barrera, R.A., Saldívar, V.A., 2002. Proposal and application of a Sustainable Development Index. *Ecol. Indic.* 2, 251–256.
- Baloccoa, C., Papeschib, S., Grazzinia, G., Basosib, R., 2004. Using exergy to analyze the sustainability of an urban area. *Ecol. Econ.* 48, 231–244.
- Bertalanffy, L. Von., 1968. *General System Theory Foundations, Development, Application.* New York: Braziller.
- Bicknell, K.B., Ball R.J., Cullen R., Bigsby, H.R., 1998. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand. *Ecol. Econ.* 27, 149–160.
- Brown, M.T., McClanaham, T.R., 1996. Emergy Analisis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. *Ecol. Model.* 91, 105–130.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecol. Eng.* 9, 51–69.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 1999. Emergy evaluation of the biosphere and natural capital. *Ambio* 28, 468–493.
- Carson, R., 1962. *Silent Spring.* Boston: Houghton Mifflin Company, USA.
- Chen, B., Chen, G.Q., 2006. Modified ecological footprint accounting and analysis based on embodied exergy – a case study of the Chinese society 1981–2001. *Ecol. Econ.* In press.
- Cuadra, M., 2005. Assessment of the natural resource base of Nicaragua and case studies of its use in agricultural production and export. Dept. of Ecology and Crop Production Science, SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 25.
- Gilbert, J.A., Feenstra, F.J., 1994. A sustainability indicator for the Dutch environmental policy theme ‘Diffusion’: cadmium accumulation in soil. *Ecol. Econ.* 9, 253–265.
- Haden, A., 2003. *Emergy Evaluation of Denmark and Danish Agriculture – Assessing the Limits of Agricultural Systems to Power Society.* Centre for Sustainable Agriculture Sciences, Swedish University of Agric. Sciences, Uppsala. *Ecological Agriculture* 37.
- IUCN, UNEP, WWF, 1980. *The World Conservation Strategy.* WWF, Gland, Switzerland.

- Krotscheck, C. and Narodslawsky, M., 1996. The Sustainable Process Index, a new dimension in ecological evaluation. *Ecol. Eng.* 6, 241-258.
- Lagerberg, C., 1999. Emery analysis of the resource use in greenhouse crop production and of the resource basis of the Swedish economy. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria* 191.
- Lotka, A.J., 1925. *Physical Biology*. Williams and Wilkins, Baltimore, MD.
- Meadows, D.H. et al., 1972. *The Limits to growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Man Kind*. New York: Universe Books.
- Moser, A., 1996. Ecotechnology in industrial practice: implementation using sustainability indices and case Studies. *Ecol. Eng.* 7, 117-138.
- Neumayer, E., 2001. The human development index and sustainability - a constructive proposal. *Ecol. Econ.* 39, 101-114.
- Nilsson, J., Bergström, S., 1995. Indicators for the assessment of ecological and economic consequences of municipal policies for resource use. *Ecol. Econ.* 14, 175-184.
- Odum, H.T., 1986. Emery in Ecosystems. In: N. Polunin (Editor). *Environmental Monographs and Symposia*. John Wiley, NY, 337-369.
- Odum, H.T., 1996. *Environmental Accounting, Emery and Decision Making*. J. Wiley, NY.
- Odum, H.T., Odum, E.C., 2000. *Modeling for all scales*. Academic Press, New York.
- Pearse, W.D., Atkinson, D.G., 1993. Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability. *Ecol. Econ.* 8, 103-108.
- Rees, W., 1992. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economies leaves out. *Environ. Urban.* 4, 121-130.
- Rees, W., Wackernagel, M., 1996. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. *Environ. Impact Assess. Rev.* 16, 223-248.
- Samuel-Johnson, K., Esty, D.C., 2000. *Pilot Environmental Sustainability Index Report*. World Economic Forum: Annual Meeting, Davos, Switzerland.
- Scatena, F., Doherty, S., Odum, H., Kharecha, P., 2002. An emery evaluation of Puerto Rico and the Luquillo experimental forest. Gen. Tech. Report IITF-GTR-9. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, International Institute of Tropical Forestry.
- Scienceman, D.M., 1987. Energy and Emery. In G. Pillet and T. Murota (Eds), *Environmental Economics: The Analysis of a Major Interface*. Geneva: Leimgruber, pp. 257-276.
- Siche, J.R., Ortega, E., 2006. Emery-based sustainability of the Peruvian economy. In: *Proceedings of the IV Biennial Emery Analysis Conference*, Gainesville, Florida. In press.
- Steinborn, W., Svirezhev, Y., 2000. Entropy as an indicator of sustainability in agro-ecosystems: North Germany case study. *Ecol. Model.* 133, 247-257.
- Stockhammer, E., Hochreiter, H., Obermayr, B., Steiner, K., 1997. The index of sustainable economic welfare (ISEW) as an alternative to GDP in measuring economic welfare. The results of the Austrian (revised) ISEW calculation 1955-1992. *Ecol. Econ.* 21, 19-34.
- Ulgati, S., Brown, M.T., 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecol. Model.* 108, 23-36.
- UNDP, 2005. *Human Development Report 2005*. Washington, USA. In: <http://hdr.undp.org>.
- United Nations, 1992. *Conference on Environment & Development*. Rio de Janeiro, Brazil. In: http://www.sidsnet.org/docshare/other/Agenda21_UNCED.pdf
- Valyi, R., Ortega, E., 2004. Emery simulator, an open source simulation platform dedicated to systems ecology and emery studies. In: E. Ortega and S. Ulgati (Eds). *Proceedings of the IV International Biennial Workshop Advances in Energy Studies*. Brazil, pp. 349-360.
- Wackernagel, M., Rees, W., 1996. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island, BC, and Philadelphia, New Society Publishers.
- Wackernagel, M., Rees, W.E., 1997. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective. *Ecol. Econ.* 20, 3-24.
- Welsch, H. 2004. Corruption, growth, and the environment: a cross-country analysis. *Environment and Development Economics* 9, 663-693
- Wiedmann, T., Minx, J., Barret, J., Wackernagel, M., 2006. Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. *Ecol. Econ.* 56, 28-48.
- World Commission on Environment and Development, 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press.
- WWF - The Global Conservation Organization, 2005. In: http://www.panda.org/news_facts/publications/key_publications/living_planet_report/index.cfm
- Zhao, S.; Li, Z., Li, W. 2005. A modified method of ecological footprint calculation and its application. *Ecol. Model.* 185, 65-75.

*Apêndice 4. Artigo: Contabilidad de la Huella Ecológica basada en la
emergía - caso Peruano.**

* Artigo in press na Revista ECI-Peru (ISSN 1813-0194) v. 3, n° 1.

CONTABILIDAD DE LA HUELLA ECOLÓGICA BASADA EN LA EMERGÍA - CASO PERUANO

ACCOUNTING OF ECOLOGICAL FOOTPRINT BASED ON EMERGY – PERUVIAN CASE

Raúl Benito Siche Jara¹; Enrique Ortega Rodríguez¹; Héctor Rodríguez Galarreta¹.

RESUMEN

En este estudio se analizó el impacto del consumo de la sociedad peruana en su medio ambiente utilizando un índice simplificado de evaluación ecológica llamado Huella Ecológica Emergética. Con base en el año 2004, el consumo de la sociedad peruana (7,17 ha/cap) es de aproximadamente la mitad de su capacidad de carga (14,68 ha/cap), significando un superávit ecológico de 7,51 ha/cap. Una simple lectura de estos datos indican que el Perú es sustentable. En un análisis más riguroso, considerando que gran parte de este superávit es expropiado (exportado) por otros países (principalmente desarrollados), existe el riesgo de convertir el país en insustentable. Estos resultados reflejan que el país está en la condición de soportar su actual consumo, pero que el impacto de este consumo podría incrementarse en los próximos años de mantenerse algunas políticas económicas y ambientales, como el no dar valor agregado a los recursos naturales que son exportados. Este documento podría servir como premisa para reformular las actuales políticas macro del país visando entregar un país más justo para las futuras generaciones.

Palabras clave: Huella ecológica, emergía, energía, sustentabilidad.

ABSTRACT

In this study the impact of the consumption of the Peruvian society in environment was analyzed using a simplified index of ecological evaluation called Emergy Ecological Footprint. With base in 2004, the consumption of the Peruvian society (7.17 ha/cap) is of approximately half of its carrying capacity (14.68 ha/cap), meaning an ecological surplus of 7.51 ha/cap. A simple reading of these data indicates that Peru is sustainable. In a more rigorous analysis, considering that great part of this surplus is being expropriated (exported) by other countries (mainly developed), exists the risk of turning the country not sustainable. These results reflect that the country is in the condition for supporting its present consumption, but that the impact of this consumption could be increased in the next years to stay some economic and environmental policies, like not giving added value to natural resources that are exported. This document could serve like premise to reformulate the present policies macro of the country considering give a righter country for the future generations.

Key words: Ecological footprint, emergy, energy, sustainability.

INTRODUCCIÓN

El peligro de utilizar plaguicidas sintéticos que entran en la cadena alimenticia fue una de las primeras denuncias públicas de preocupación por el medio ambiente (1) publicación considerada como el argumento que marcó el paso del “conservacionismo” al “ecologismo”. Años más tarde se apuntaron graves problemas que la humanidad iba a enfrentar, caso continuase el mismo modelo de desarrollo; se citaron problemas como: el uso intensivo de energéticos fósiles; disminución de los recursos naturales; incremento de la actividad industrial y polución; y, el aumento y colapso de la población (2). Los mismos investigadores revisaron sus datos y verificaron que las cuestiones vitales, levantadas veinte años antes, permanecieron vigentes y, aún más, se agravaron (3).

Esta realidad ambiental llevó a que se busquen formas de medir el impacto de la especie humana en el medio ambiente, medir donde estamos y cuanto podemos avanzar. Así, la idea de desarrollar indicadores e índices de sustentabilidad surgió en la Conferencia Mundial Sobre el Medio Ambiente (Rio-92). La propuesta era definir índices de desarrollo sustentable que considerasen aspectos ambientales, económicos, sociales, éticos y culturales (4). El criterio más aceptado de lo que es “sustentable” esta basado en la identificación de la velocidad de consumo de los recursos comparado con la velocidad con que son producidos o renovados. Cuando las demandas de la humanidad de recursos ecológicos exceden a los que la naturaleza puede continuamente proveer, se presenta el denominado “exceso ecológico”. Consecuentemente, si la economía humana depende del capital natural del planeta que le provee de servicios ecológicos y recursos naturales, y si los humanos tenemos un considerable impacto sobre la tierra, asociada con el incremento poblacional y el desarrollo económico, podemos definir la siguiente máxima ecológica: para que cualquier sistema sea sustentable, los seres humanos que lo habitan precisan vivir dentro su capacidad de carga natural.

Desde Rio-92 se han formulado varios índices e indicadores para evaluar la sustentabilidad de países; mas pocos son los métodos que han tenido aceptación e impacto en la comunidad científica y política de los países. Dos de los métodos que se han convertido en herramientas populares

de evaluación de la sustentabilidad de países son la Huella Ecológica (5) y el Análisis Emergético (6).

La “Huella Ecológica” es definida como el área total de tierra productiva o de mar requerido para producir todas las cosechas, carne, especies del mar, madera y fibra, que son utilizados para sustentar el consumo de energía de una población y para dar el espacio para su infraestructura. El análisis emergético fue desarrollado para hacer estudios de tipo variado, mas su mayor herencia es su aplicabilidad a estudios de impacto y sustentabilidad de sistemas.

En un estudio comparativo de tres índices de sustentabilidad, se concluyó que los índices que permiten explicar mejor la realidad ecológica del sistema nacional son la Huella Ecológica y el Análisis Emergético (7). Paralelamente a este estudio, una nueva metodología basada en estos dos índices fue propuesta: la Huella Ecológica Emergética (8). Esta metodología nace como una propuesta para mejorar el índice conocido como “Huella Ecológica” considerando algunos puntos fuertes del Análisis Emergético, como por ejemplo el cálculo de la capacidad de carga basada en los recursos renovables que posee el sistema.

MÉTODO

Se utilizó la Huella Ecológica Emergética para evaluar la sustentabilidad del Perú utilizando datos del año 2004. El método consiste básicamente en tres pasos:

1. OBTENCIÓN DE DATOS BRUTOS

La capacidad de carga se estimó considerando los principales recursos renovables que tiene un territorio y relaciones que utiliza el análisis emergético (6).

El consumo (huella ecológica) se calculó para seis categorías de áreas productivas ecológicas: suelos cultivables, suelo forestal, suelo con pastos, área acuática, suelo fósil y área construida (5). La mayoría de los datos están disponibles en estadísticas nacionales relacionados a la producción y el comercio. Para la mayoría de recursos se utilizó la fórmula: consumo = producción + importación – exportación.

2. CONVERSIÓN DE LOS DATOS A UNIDADES DE EMERGÍA

Todos los datos de consumo y recursos renovables fueron, primero, convertidos a unidades de energía (J) si era el caso; luego a unidades emergéticas utilizando el factor llamado "transformidad" (seJ/J) del análisis emergético (6). Para obtener datos per cápita, los valores en unidades emergéticas fueron divididos por el tamaño de la población.

3. CÁLCULO LA CAPACIDAD DE CARGA Y LA HUELLA ECOLÓGICA.

Para el cálculo de la capacidad de carga "c" se utilizó la ecuación: $c = r/d$, donde "r" son los recursos renovables en energía per cápita (seJ/cap) y "d" es la densidad emergética terrestre (energía total del planeta / área del planeta = $1,58 \times 10^{25}$ seJ / $5,10 \times 10^{14}$ m² = $3,10 \times 10^{10}$ seJ/m²). La capacidad emergética regional, según los creadores de esta metodología, está dado por el recurso renovable que alcanza mayor valor emergético (8)

La huella ecológica per cápita (ef) es estimada por la ecuación: $ef = \sum a_i = \sum b_i/p$, donde. En esta ecuación "a_i" es el área per cápita correspondiente del i-ésimo recurso (ha); "b_i" es la cantidad de energía per cápita del i-ésimo recurso (seJ); y, "p" es la densidad emergética de la región

(capacidad de carga emergética regional / área de la región = $1,41 \times 10^{23}$ seJ / $1,29 \times 10^{12}$ m² = $1,10 \times 10^{11}$ seJ/m²).

RESULTADOS

La tabla 1 muestra los resultados completos del cálculo de la huella ecológica y la capacidad de carga en el Perú para el año 2004. En la tabla 2 se muestran los resultados agregados del consumo (por categorías) y la capacidad de carga considerando una disminución en su valor del 12% destinada para biodiversidad. Las tablas 1 y 2 están en unidades per cápita. Los resultados mostrados en la figura 1, los valores per cápita de la tabla 2 fueron multiplicados por la población (27 219 264 habitantes) para obtener valores globales del sistema evaluado. Así, en la figura 1, se puede observar que la capacidad de carga de la región es aproximadamente el doble a su consumo (huella ecológica emergética).

La tabla 1 está dividida en dos secciones. En una se detalla el cálculo de la capacidad de carga basado en la cuantificación de los recursos renovables y el otro donde se detalla el cálculo del consumo del país (huella ecológica) en recursos biológicos y energéticos.

Tabla 1. Cálculo de la capacidad de carga y el consumo del Perú (2004)

Ítem	Dato en bruto (J)	Transformidad (seJ/J)	Energía total (seJ)	Energía per cápita (seJ)	Capacidad de carga per cápita (ha/cap)
Población = 27 219 264; área = 1,29E+12 m ² ; d = 3,10E+10 seJ/m ²					
Capacidad de Carga			1,41E+23	5,18E+15	16,6815
Recursos renovables			1,41E+23	5,18E+15	16,6815
Sol	8,28E+21	1	8,28E+21	3,04E+14	0,9800
Pot. Quím. de la lluvia	3,87E+18	15 444	5,98E+22	2,20E+15	7,0741
Geopot. de la lluvia	2,11E+18	8 888	1,88E+22	6,89E+14	2,2197
Viento	4,61E+18	663	3,06E+21	1,12E+14	0,3618
Ciclo terrestre	4,86E+18	29 000	1,41E+23	5,18E+15	16,6815
Ítem	Dato en bruto (J)	Transformidad (seJ/J)	Energía total (seJ)	Energía per cápita (seJ)	Consumo (ha/cap)
Población = 27 219 264; área = 1,29E+12 m ² ; p = 1,10E+11 seJ/m ²					
Huella ecológica			2,14E+23	7,87E+15	7,1739
Recursos biológicos			1,85E+23	6,80E+15	6,2030
Consumo agrícola			3,67E+22	1,36E+15	1,2299 Suelo cultivable
Cereales	4,74E+16	35 900	1,70E+21	6,25E+13	0,0570 Suelo cultivable
Trigo	3,87E+15	68 000	2,63E+20	9,67E+12	0,0088 Suelo cultivable
Maíz	3,54E+16	58 100	2,06E+21	7,56E+13	0,0689 Suelo cultivable
Frijol	4,68E+15	690 000	3,23E+21	1,19E+14	0,1082 Suelo cultivable
Tubérculos	9,49E+16	27 000	2,56E+21	9,41E+13	0,0858 Suelo cultivable
Vegetales aceiteros	5,75E+15	690 000	3,97E+21	1,46E+14	0,1329 Suelo cultivable
Algodón	3,68E+15	1 900 000	6,99E+21	2,57E+14	0,2342 Suelo cultivable
Verduras	1,80E+16	27 000	4,86E+20	1,79E+13	0,0163 Suelo cultivable
Caña de azúcar	1,82E+17	84 900	1,55E+22	5,68E+14	0,5177 Suelo cultivable
Salvicultura			2,75E+22	1,01E+15	0,9213 Plantaciones
Frutas	4,78E+16	530 000	2,53E+22	9,30E+14	0,8479 Plantaciones
Madera	6,29E+16	34 900	2,19E+21	8,05E+13	0,0734 Plantaciones
Pecuaria			1,21E+23	4,44E+15	1,9211 Pastura
Carnes	1,33E+16	3 170 000	4,22E+22	1,55E+15	1,4125 Pastura
Leche	2,99E+15	1 700 000	5,08E+21	1,87E+14	0,1703 Pastura
Huevos	1,53E+15	2 000 000	3,06E+21	1,12E+14	0,1025 Pastura
Lana	1,60E+15	4 400 000	7,04E+21	2,59E+14	0,2359 Pastura
Pesca	3,18E+16	2 000 000	6,36E+22	2,34E+15	2,1307 Área acuosa
Recursos energéticos			2,90E+22	1,06E+15	0,9709
Carbón	2,23E+16	39 800	8,88E+20	3,26E+13	0,0297 Suelo fósil
Petróleo	2,96E+17	53 000	1,57E+22	5,76E+14	0,5256 Suelo fósil
Gas natural	4,28E+16	48 000	2,05E+21	7,55E+13	0,0688 Suelo fósil
Eléctrico	6,51E+16	159 000	1,04E+22	3,80E+14	0,3468 Área construida

DISCUSIÓN

El impacto en el medio ambiente peruano del consumo de recursos biológicos (6,20 ha/cap) es elevado si lo comparamos con el impacto de los recursos energéticos (0,97 ha/cap) (Tabla 1). Este bajo impacto energético podría explicarse por el hecho que esta metodología no contabiliza algunas formas de energía como biomasa (leña), por ejemplo, que en países subdesarrollados es un energético importante. Asimismo, varios de los recursos energéticos que son exportados y tampoco contabilizados por esta metodología (minerales principalmente) indican que el verdadero impacto de consumir estos recursos energéticos estaría siendo exportado a otros países.

Tabla 2. Datos agregados por categorías.

Huella ecológica (ha/cap)		Capacidad de carga (ha/cap)	
Categoría	Total	Categoría	Total
Energía fósil	0,6241	Recursos renovables	16,6815
Área construida	0,3468		
Suelo cultivable	1,2299		
Pastura	1,9211	12% para biodiversidad	2,0018
Plantaciones	0,9213		
Agua	2,1307		
Total	7,1739	Total	14,6798

En la tabla 2, se calculó la capacidad productiva biótica que existe en el Perú (16,68 ha/cap). Con el 12% fijado para protección de la biodiversidad, la capacidad de carga del Perú decae a 14,68 ha/cap para el 2004. Aunque el 12% puede no ser suficiente para asegurar la biodiversidad en el largo plazo (9), mayor conservación en estos tiempos puede no ser factible políticamente. Considerando el valor de la huella ecológica emergética como 195267763 ha y la capacidad de carga local en 399572161 ha (figura1) podemos concluir que existe un superávit ecológico 204304402 ha. Esto significa que el Perú tiene un impacto (huella ecológica) en la mitad de lo que su medio ambiente (capacidad de carga) puede soportar, pudiéndose considerar, todavía, como un país sustentable.

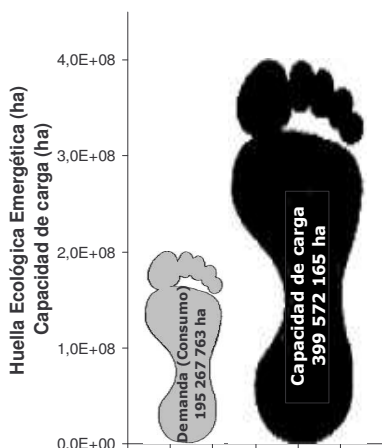


Figura 1. La huella ecológica emergética versus la capacidad de carga.

Este trabajo resulta importante, porque sirve como un material de análisis y discusión de la realidad ambiental del país, de donde estamos y adonde vamos con los niveles actuales de consumo. Si bien este análisis indica que el Perú es aún sustentable, la insustentabilidad del consumo podría incrementarse si es que políticas económicas no consideran criterios de manejo sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Al "Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq" de Brasil por el apoyo material y financiero para la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carson R. Silent Spring. Boston: Houghton Mifflin; 1962.
2. Meadows DH, et al. The Limits to growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Man Kind. New York: Universe Books; 1972.
3. Meadows DH, Meadows DL, Jorgen R. Beyond the Limits: Confronting global collapse, envisioning a sustainable future. USA: Chelsea Green Pub Co; 1993.
4. United Nations. Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro; 1992. En http://www.sidsnet.org/docshare/other/Agenda21_UNCED.pdf
5. Rees W, Wackernagel M. Urban ecological footprint: Why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. Environmental Impact Assessment Review 1995; 16:223-248.
6. Odum HT. Environmental accounting: Emery and environmental decision-making. New York: John Wiley & Sons; 1996.
7. Siche JR, Ortega E, Romeiro A. Sustentabilidade de nações mediante índices: Caso peruano. Cuaderno de Resúmenes del 2° Seminário Internacional de Ciência e Tecnologia na América Latina, p 57. San Pablo: UNICAMP; 2005.
8. Zhao S, Li Z, Li W. A modified method of ecological footprint calculation and its application. Ecological Modelling 2005; 185:65-75.
9. Noss RF, Cooperrider AY. Saving nature's legacy protecting and restoring biodiversity. Washington DC: Island Press; 1994.

E-mail: Siche.J.R@gmail.com

Apêndice 5. Artigo: Aplicativo para estimar el potencial hidroenergético de una región geográfica (PTHYDRO v 2.0).[•]

[•] Trabalho apresentado no VI Encontro Científico Internacional de Inverno, ECI-2007i, 31 Julho – 3 Agosto, 2007. Lima, Peru. Disponível em:
http://www.cienciaperu.org/ECI2007i/LIBRO_RESUMENES_ECI2007i.htm

APLICATIVO PARA ESTIMAR O POTENCIAL HIDRO-ENERGÉTICO DE UM PAÍS (POTHYDRO v 2.0)*

Raúl Benito Siche Jara ¹, Luiz Antonio Rossi ²

¹ Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada – FEA/UNICAMP.

² Conselho Integrado de Infra-estrutura Rural, FEAGRI/UNICAMP.

RESUMO

O presente trabalho teve como principal objetivo desenvolver um programa feito em Excel, que nós batizamos com o nome de POTHYDRO v 2.0, para estimar o potencial hidro-energético de um país. O programa calcula o potencial hidro-energético baseado na identificação de regiões características do país e conhecendo para cada uma delas sua área territorial, temperatura média anual, altitude média e a precipitação média anual, como dados de entrada ao programa. Foram feitos cálculos para o Peru e Brasil para validar o programa. Uma análise estatística dos dados reportados com os dados obtidos pelo POTHYDRO dá como resultado um erro de 3% para o Peru e 13% para o Brasil. A relação entre os valores obtidos pelo programa POTHYDRO e os reportados pela bibliografia são de 1,04 e 1,16 para o Peru e Brasil respectivamente. Estes valores mostram um bom desempenho do programa na estimação do potencial hidro-energético de um país.

Palavras chave: potencial hidro-energético, hidroeletricidade, precipitação, evapotranspiração.

INTRODUÇÃO

Segundo estudos realizados a nível mundial, os recursos energéticos de origem fóssil no ano 2050 praticamente desaparecerão. Para o ano 2025 a demanda energética mundial em cerca de 80% vai ser substituída por energia de origem nuclear e solar. Recomenda-se diminuir o consumo de petróleo e outros recursos não renováveis com a finalidade de alargar o tempo de vida das reservas, substituindo a demanda energética dos países, fundamentalmente, por recursos renováveis como: energia solar, eólica, hidroeletricidade e nuclear.

Atualmente, no gerenciamento de recursos energéticos, no planejamento energético, nas análises de sustentabilidade, etc., é necessário o conhecimento das fontes de energia quantificadas; conhecer sua potencialidade é um primeiro passo e de grande ajuda na tomada de decisões e no planejamento de seu aproveitamento.

Neste trabalho, foi desenvolvido um programa que permite estimar de forma rápida e fácil o potencial hidro-energético de um país, mas com certo rigor científico e precisão.

O potencial hidro-energético é medido de duas formas: (a) o potencial teórico, que estima os

recursos de uma bacia ou sistema fluvial em forma hipotética, tal como se apresentam na natureza e sem calcular as obras que seriam necessárias para seu

aproveitamento; (b) o potencial técnico, que considera o potencial explorável de forma prática, mede os recursos pelos usos existentes e os que são suscetíveis de instalação.

CASOS: PERU E BRASIL

A topografia do Peru, com os Andes que passam por todo o comprimento do país, com muitos rios fluindo, confere ao país um potencial hidroelétrico enorme. Sua potencialidade hídrica é avaliada como um das maiores em toda América do Sul, depois do Brasil, alcançando uma potencialidade economicamente explorável de 260 TWh/ano e um potencial hidroelétrico teórico de 206 107 MW (MINEM et al., 1979). A utilização atual desta potencialidade é muito baixa (aproximadamente 5% em 1999). O recurso hídrico fornece aproximadamente 75% do poder elétrico do Peru.

Para o Brasil, a potência hidroelétrica é um dos recursos principais de energia com uma potencialidade economicamente explorável de 800 TWh/ano. A saída hídrica em 1999 estava sobre 285 TWh. Segundo o MMA (2003), o Brasil dispõe de um potencial hidroelétrico de 258 367 MW. A utilização atual de sua potencialidade é de 28% (ANEEL, 2002). A hidroeletricidade fornece a maioria da eletricidade de Brasil: 88% da geração em 1999.

* Artigo apresentado como trabalho de conclusão de curso da disciplina “PE – 131: Fontes Renováveis de Energia” da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, semestre 2006 –I.

MÉTODO

Foi utilizado o pacote Microsoft Excel 2000 e através de um procedimento lógico (mostrado no algoritmo da figura 1), obtemos o programa batizado com o nome POTHYDRO v 2.0.

A figura 1 pode ser utilizada para obter os mesmos resultados em qualquer linguagem de programação.

Limitações e suposições foram consideradas no cálculo da potência hidro-energética com o programa POTHYDRO. Estas são:

- O aplicativo pode ser utilizado para incluir um máximo de 10 regiões.

- Os valores de eficiência de aproveitamento hídrico (84%) e perdas na condução de água (4%) estão como valores padrão no programa, mas podem ser mudados.
- A equação para calcular “ d_i ” deve ser utilizada para estimar a densidade da água só entre temperaturas de 4 a 36°C. Neste intervalo de temperaturas a equação atinge 99,99% de grau de correlação.
- Supõe-se uma gravidade de referencia, $g_o = 9,78 \text{ m/s}^2$.
- Supõe-se um raio da terra, $R = 6\,378\,000 \text{ m}$.
- Supõe-se um tempo de referencia para os cálculos de $t = 1 \text{ ano} = 365 * 24 * 3600 = 31536000 \text{ s}$.

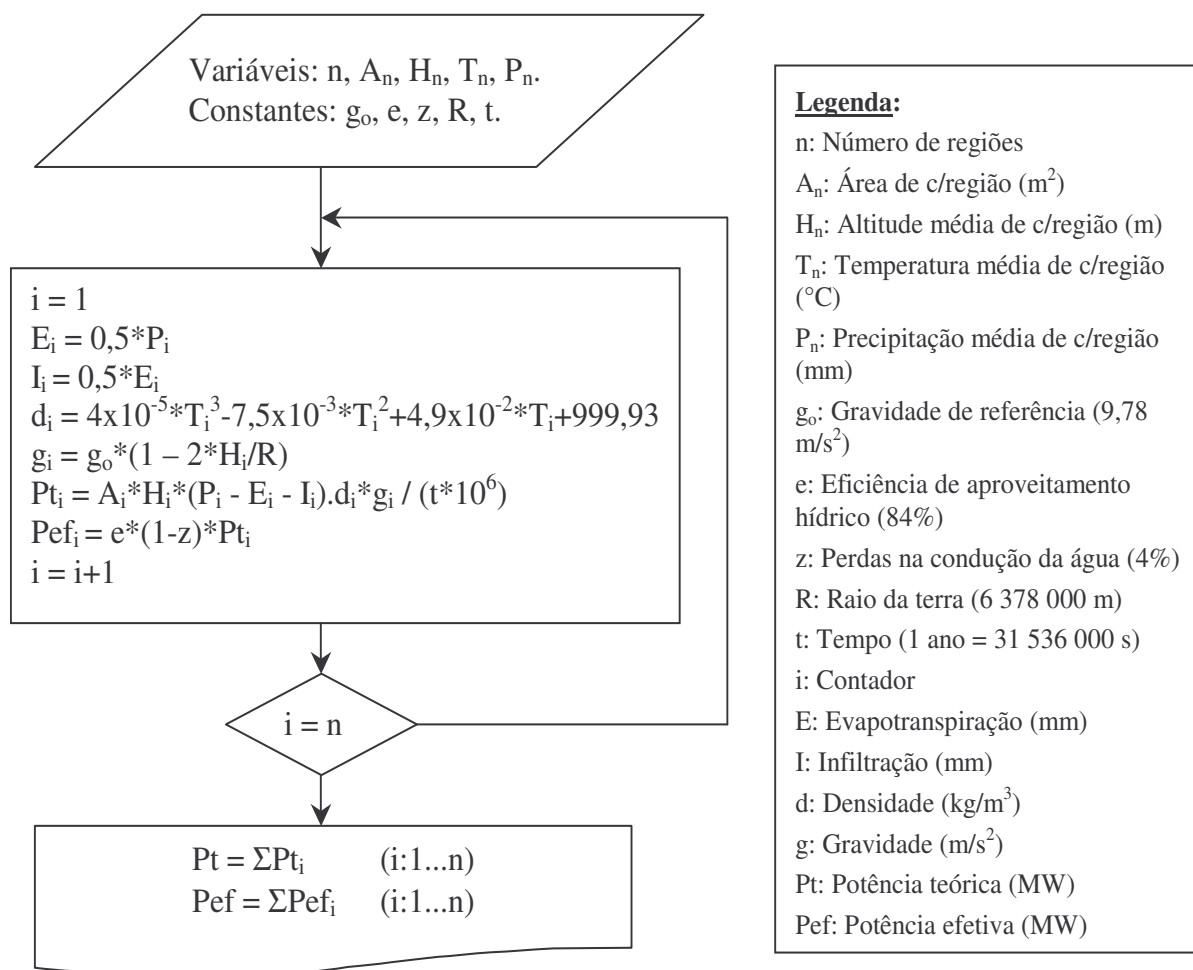


Figura 1. Algoritmo para calcular a Potência hidroelétrica teórica e efetiva de um país.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 2 mostramos a janela de entrada de dados ao programa (input). Note que os espaços em laranja são os únicos onde podem ser inseridos dados. Os resultados sairão nas células em preto.

Para identificar o sistema avaliado, é necessário colocar o nome do País, o número de regiões e o ano base do cálculo.

Finalmente, ingressar os dados de área, altitude, temperatura e precipitação nas unidades indicadas para cada região, como únicos dados de ingresso ao programa. Se o usuário considera necessário, pode mudar a eficiência de aproveitamento hídrico e as perdas na condução da água que estão como dados padrão. A medida que os dados são inseridos o programa irá calculando os resultados. Uma vez colocados todos os dados solicitados, é possível ver os resultados completos (figura 3).

Para validar o programa, foi feito um teste para calcular os potenciais hidroelétricos do Peru e Brasil.

Para o Peru foram identificadas três regiões bem diferenciadas (MINAG, 2005): a região “Costa”, com $1,41 \times 10^{11}$ m² de área, 250 m de altitude média, 19 °C de temperatura média anual e 40 mm de precipitação média anual; a região “Serra”, com $3,34 \times 10^{11}$ m² de área 3640 m de altitude média, 9,5 °C de temperatura média anual e 600 mm de precipitação média anual; e a região “Selva”, com $8,1 \times 10^{11}$ m² de área, 700 m de altitude média, 24 °C de temperatura média anual e 3500 mm de precipitação média anual. Inserindo estes dados ao programa POTHYDRO foi obtida uma potência efetiva de 172 112 MW. Segundo a referência, o Peru dispõe de um potencial hidroelétrico teórico de 206 107 MW e técnico de 58 346 (MINEM et al., 1979). Mas como o potencial técnico foi calculado baseado na tecnologia daquela época, neste trabalho esse valor foi atualizado considerando uma eficiência de aproveitamento hídrico de 84% e perdas na condução da água em 4%, resultando um valor atualizado de 166 205 MW.

Cálculo do Potencial Hidroenergético de um País (POTHYDRO v 1.0)

Nome do País:		Base de cálculo (t) = 1 ano					
Ingresso o Número de Regiões =		1		Ano base = 2005			
Região	Nome da Região	Área da região (m ²)	Altitude média (m)	Temperatura Média anual (°C)	Precipitação média anual (mm)	Evapotranspiração média anual (mm)	Infiltração (mm)
1							
TOTAL		0.0000E+00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
Eficiência de aproveitamento hídrico (n) =		84%					
Perdas na condução da água (z) =		4%					
Legenda =>		Ingresso de dados	Titulos		Saída de dados		

Figura 2. Input de dados do POTHYDRO v 1.0.

Cálculo do Potencial Hidroenergético de um País (POTHYDRO v 1.0)

Nome do País:

Resultados

Região	Nome da Região	Precipitação média anual (mH ₂ O/m ²)	Evapotranspiração média anual (mH ₂ O/m ²)	Infiltração (mH ₂ O/m ²)	Potência Teórica (MW)	Potência Efetiva (MW)	Potência Efetiva (GW)
1							
TOTAL		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 3. Output de dados do POTHYDRO v 1.0.

No caso do Brasil foram identificadas cinco regiões: Norte, com $3,87 \times 10^{12}$ m² de área, 100 m de altitude média, 25 °C de temperatura média anual e 2250 mm de precipitação média anual; Nordeste, com $1,26 \times 10^{12}$ m² de área, 330 m de altitude média, 24 °C de temperatura média anual e 494 mm de precipitação média anual; Sudeste, com $9,25 \times 10^{11}$ m² de área, 200 m de altitude média, 21 °C de temperatura média anual e 2679 mm de precipitação média anual; Sul, com $5,76 \times 10^{11}$ m² de área, 600 m de altitude média, 18 °C de temperatura média anual e 1625 mm de precipitação média anual; e Centro-Oeste, com 161×10^{12} m² de área, 750 m de altitude média, 21 °C de temperatura média anual e 2125 mm de precipitação média anual. Inserindo estes dados ao programa POTHYDRO resulta uma potência efetiva de 295 800 MW para o Brasil. A referência indica que o Brasil tem uma potência efetiva de 258 367 (MMA, 2003).

A Tabela 1 indica os resultados de uma análise estatística e comparativa entre os dados da referência e os resultados obtidos com o programa POTHYDRO.

Desta análise conclui-se que o programa resulta adequado para estimar o potencial hidroelétrico de um país com uma boa aproximação e com baixo erro (3 a 13%). O maior erro e desvio padrão para o Brasil é produto da qualidade dos dados obtidos para ser inseridos no programa POTHYDRO, já que não foi possível obter todos os dados necessários e tiveram que ser presumidos.

Tabela 1. Análise comparativa e estatística dos dados.

	PERU		BRASIL	
	MINEN et al., 1979	POTHYDROv1.0	MMA, 2003	POTHYDROv1.0
Potência efetiva (GW)	166,2	172,11	258,37	295,80
Diferença (GW)		5,91		37,43
Erro		3,43%		12,65%
Relação		1,04		1,14
Desvio padrão		4,18		26,47

REFERÊNCIAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, Brasília.
- MINAG - Ministério de Agricultura do Peru, 2005. Disponível em <http://www.minag.org.pe>. Acesso em 20 Junho 2005.
- MINEM - Ministério de Energia e Minas, República Federal de Alemanha, Sociedade Alemã de Cooperação Técnica GTZ, Banco Internacional de Reconstrução e Fomento, Consorcio Lahmeyer – Salzgitter LIS, 1979. Evaluación del potencial hidroelétrico nacional.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2003. Plano Nacional de Recursos Hídricos – Documento Básico de Referência, MMA/SRH/ANA, Brasília.

*Apêndice 6. Artigo: Method to Estimate biomass production
in natural ecosystems.**

* Artigo apresentado no “V Biennial International Workshop Advances in Energy Studies”, Porto Venere, 12-16 Sept. 2006, Italy.

A METHOD TO ESTIMATE NET PRIMARY PRODUCTIVITY (NPP) IN NATURAL AREAS

Raúl Siche^a, Feni Agostinho^b, Enrique Ortega^{b,*}

^a Escuela de Ingeniería Agroindustrial – Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n. Ciudad Universitaria, Trujillo, Peru.

^b Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada – DEA/FEA. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil CEP: 13083-970.

ABSTRACT

The calculation of the biomass produced by the various types of ecosystems is necessary to assess the natural wealth of a country, a region or an agricultural system. Furthermore, it is very important information for the worldwide trade of carbon credits (payment for the absorption of CO₂ emissions). Millions of people use vegetal biomass as a direct source of energy, mainly in peripheral countries; therefore, the vegetal biomass of an ecosystem needs to be calculated and considered as a renewable energy supply. Until now, energy analysis procedures have not incorporated this calculation, maybe because it has not been included as part of the inputs for the calculation of Gross National Product (GNP) and because there has been little information on the amount of biomass produced by natural regions. The objective of this work was to elaborate a method to estimate the net primary productivity (NPP) for the world's main biomes, so that it can be used as an input in the energy, exergy or ecological footprint evaluation. Linear regressions between the net primary productivity (g/m²/yr) and the actual evapotranspiration (mm/yr) have been elaborated using data from worldwide averages. The spreadsheet prepared in this research contains a model to estimate NPP as a function of temperature and rain precipitation. The spreadsheet output is the NPP produced as: dry mass (g/m²/yr), energy (J/m²/yr), energy (seJ/m²/yr) and monetary value (US\$/m²/yr). These are figures that can be used in environmental evaluations. The method was assessed by using statistical tools, through a comparison between the data obtained from the spreadsheet and the data obtained from scientific publications. Results for the F-test (ANOVA) indicate that there are no significant differences (p-value>0.05) between the two groups. The spreadsheet can be used for rain data from 20 to 2650 mm/yr and temperatures from -15 to 27 °C.

Keywords: NPP estimation, ecosystems, energy, exergy.

1. INTRODUCTION

Net primary productivity (NPP) is defined as the balance between the light energy fixed through photosynthesis and the energy lost through respiration and mortality, representing the net carbon input from the atmosphere to terrestrial vegetation (Mellilo et al., 1993). It is an important index in the evaluation of the dynamics of carbon cycle in forest ecosystems at local, regional and global scales (Luo et al., 2002). The production of biomass for energy consumption was promoted in the 1960s, and again in the first decade of this new century, to become an important component of energy offer in industrial countries. On the other hand, millions of people in developing countries use biomass as main energy source in rural areas (Bhattacharya, 2002).

The quantification of biomass production is important for building databases for carbon sequestration, regional energy balances, evaluation of ecological performance and planning of energy policies using exergy, energy and ecological footprint assessment, etc. Therefore appropriate tools for measuring the NPP value of vegetation covers need to be developed.

Many techniques have been developed to estimate NPP, all of which need to face the issue of variability in datasets. We can classify NPP prediction

techniques in three groups: direct measurement, mathematical models of first and second levels.

The direct method consists of cutting, drying and weighing green plants in a small area, and then extrapolating the results for the total area of interest (Matteucci and Colma, 1982; Santos, 1988). This method has the disadvantage of being destructive. Within this group we have the method of Forest Inventory Data (FID), which obtains information on forest type, volume and stand age at a large spatial scale and a long temporal scale for evaluating forest carbon at landscape, regional and even global scales (Brown et al., 1999; Brown and Schroeder, 1999; Caspersen et al., 2000).

According to Newbould (1967), sampling techniques include the division of the ecosystem in categories (trees, shrubs, grass) that can be considered separately. Inside each main category, further divisions could include other layers, groups of species and sets of age.

The size of the sampling area depends on the available area and its structural complexity. The intensity of the sampling of any component must be in accordance with its importance in the ecosystem, the inherent variability, the difficulty

and cost of sampling. Any of these procedures require time, money and labor to achieve the desired results.

The mathematical methods of first level are those that make use of the data provided by direct methods. With these data, correlations and mathematical models of NPP based on the inventoried parameters of ecosystem or climatic parameters are formulated.

Second-level methods use first-level mathematical models to obtain other forms of prediction and their precision will depend on the deviation degree of the first-level models being used.

The relative importance of the resources and environmental conditions that limit the net primary productivity (NPP) vary with scale and ecosystem.

At the global scale, total NPP varies for each terrestrial biome. This variation strongly correlates with climate. In ecosystems where moisture is favorable, NPP increases exponentially with temperature; where temperature is favorable, NPP increases to a maximum in tropical rainforests with moderately high precipitation (up to 3 m annual precipitation) and declines at extremely high (above 3 m) precipitation, due to anaerobic conditions and/or depletion of soil minerals by leaching (Schuur, 2003) (Figure 1).

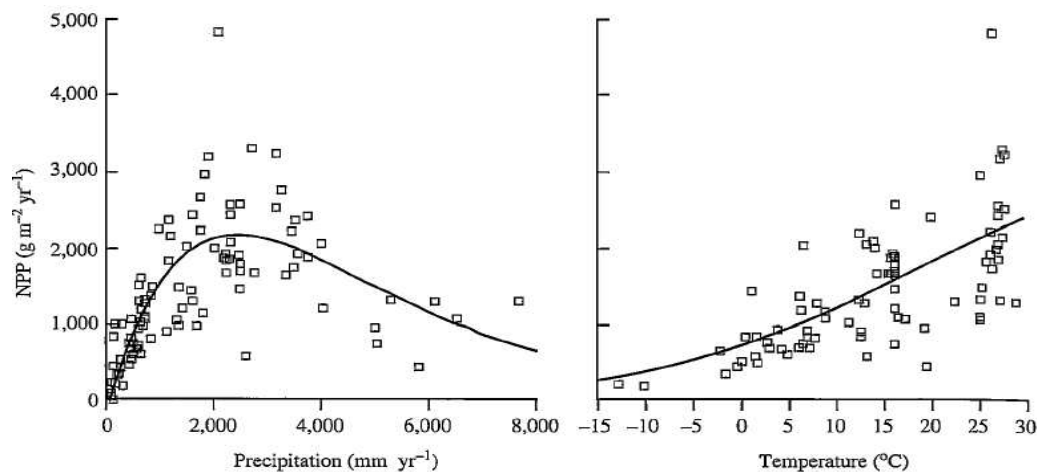


Figure 1. Correlation of NPP with temperature and precipitation (Schuur, 2003)

Min Zhao and Guang-Sheng Zhou (2005) observed and simulated NPP values with climate-based models for five forest types in China. The authors used multiple regression analysis and reported R^2 values between 0.55 and 0.92. The resulting correlation coefficients were very good, but these models need a great amount of input data.

Costanza et al. (2006) developed models to estimate NPP as a function of temperature, precipitation and biodiversity. The models were used to compare the NPP value of previous studies in North America's Eco-regions. Values of R^2 between 0.58 and 0.65 were reported.

The objective of this study is to develop a software program to predict net primary productivity for natural areas, with precipitation levels between 20 and 2650 mm/yr, and temperatures between -15 and 27 °C.

2. METHOD

The method used in this research relies on several first-level mathematical models, all of them published in scientific literature.

They were organized in a logical form to obtain a second-level model able to predict NPP values with a high degree of statistical acceptance.

2.1. NPP for terrestrial ecosystems

The earliest attempt to evaluate NPP at a global scale was made by Lieth and Whittaker (1975), which is still quoted today. These estimates were based on regressions of temperature data of a thousand weather stations, computed to a simple measure of actual evapotranspiration (AET) in millimeters per year per square meter, and then correlated with NPP for several ecosystems (Steven et al., 2004).

The resulting equation (Eq. 1) was used to compute and to find the first global estimations of NPP (in g/m²/yr).

$$NPP = 3000 \{ 1 - \exp [- 0.0009695 (AET - 20)] \} \quad \text{Eq. 1}$$

AET can be calculated from precipitation, temperature, and soil water content. High productivity occurs with high AET, because stomata remain open and photosynthesis can occur when water is available. Rosenzweig (1968) predicted annual aboveground net primary productivity of terrestrial plant communities as a function of actual evapotranspiration, using a single equation with two constants (a, b):

$$\log NPP = [a (\log AET)] + b \quad \text{Eq. 2}$$

In this work experimental data from Barnes et al. (1998) was used to calculate the constants: a = 1.7165 and b = -1.8257. Figure 2 shows the plot of NPP=f(AET) (Eq. 3). The correlation index (R²) of the regression between AET and NPP resulted in 0.91, indicating a good dependence between the variables:

$$\log NPP = [1.7165 (\log AET)] - 1.8257 \quad \text{Eq. 3}$$

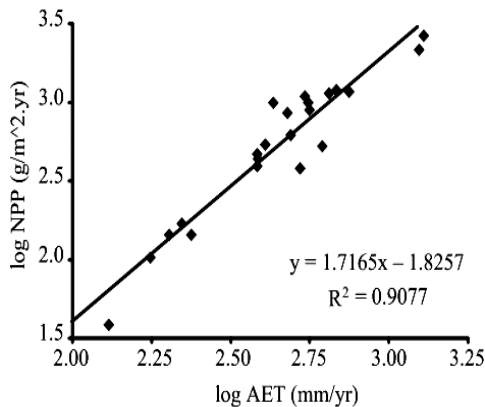


Figure 2. Net primary productivity (NPP) plotted against actual evapotranspiration (AET).

In this paper, it was used the arithmetic mean of NPP values of terrestrial ecosystems (g/m²/yr) obtained with the use of these two models (Equations 1 and 3).

2.2. NPP for marine ecosystems

Data from Table 1 was used for marine ecosystems, considering that 1 gram of dry-mass

biomass is equivalent to 0.5 grams of carbon (Ponce-Hernandez et al., 2004).

Table 1. NPP for marine ecosystems¹

Ecosystem type	NPP (g C/m ² /yr)	NPP (g dry mass/ m ² /yr)
Open ocean	57	114
Upwelling zones	225	450
Continental shelf	162	324
Algal bed and reef	900	1800
Estuaries	810	1620

¹ Source: Whittaker and Likens, 1973

2.3. Actual evapotranspiration calculation

Climate plays a more direct role in explaining spatial patterns of evapotranspiration than photosynthesis, decomposition and nitrogen mineralization. It governs the evapotranspiration rate by determining the soil moisture supply and the radiation and temperature environment, which determine the evaporative demand of the atmosphere.

According to Jensen et al. (1990), evapotranspiration is the process by which water in its liquid state evaporates from plant surfaces to the atmosphere. This term includes evaporation of water stored in the superficial soil layer, water captured by plants and water loss from their surfaces, especially from leaves. In this work, in order to calculate the actual evapotranspiration of all ecosystems, the Turc (1961) model (Eq. 4) was used, which has temperature and rain precipitation as variables.

$$AET = P / [0.9 + (P^2 / L^2)]^{1/2} \quad \text{Eq. 4}$$

Where:

AET = actual evapotranspiration, mm/yr;

P = rain precipitation, mm/yr;

L = 300+25T+0.05T³;

T = annual average temperature, °C.

2.4. BIOMASSv2.0

The software is a spreadsheet developed with Microsoft Excel 2000. It implements the algorithm shown in Figure 3, with the following assumptions: (a) it is limited to ecosystems with evapotranspiration rates between 100 and 1800 mm/yr; (b) actual evapotranspiration calculated

with Eq. 4 applies everywhere; (c) 1 g of biomass (dry mass) is equivalent to 0.5 g of carbon; (d) 1 g of biomass (dry mass) is equivalent to 15069.6 J of energy (Pardo and Brown, 1997).

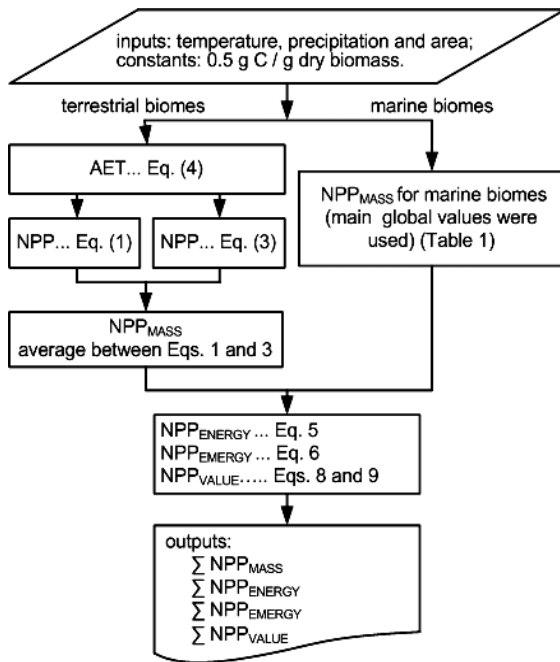


Figure 3. Algorithm used to calculate the net primary productivity of natural areas.

The program user interface is shown in Figure 4. Its inputs are: temperature, °C; precipitation, mm; and, optionally, ecosystem area, m².

Computation of Net Primary Productivity (NPP), Energy, Energy and Value of natural ecosystems

Data INPUT				Data OUTPUT			
Type of Biome	T (°C)	P (m m/yr)	Area (m ²)	NPP Mass	Unit	NPP Energy	Unit
Tundra =							
Boreal forest =							
Temperate grassland =							
Temperate shrubland =							
Tropical grassland =							
Tropical shrubland =							
Temperate deciduous forest =							
Temperate conif. forest =							
Tropical seasonal forest =							
Temperate rain forest =							
Tropical rain forest =							
Temperate evergreen forest =							
Woodland and shrubland =							
Savanna =							
Alpine meadow =							
Desert scrub =							
Rock, ice and sand =							
Swamp and marsh =							
Lake and stream =							
Total area terrestrial =							
<small>Please mark with an "x" any marine biome present in the evaluated system.</small>							
Type of Biome	Mark	Area (m ²)					
Open ocean =							
Upwelling zones =							
Continental shelf =							
Algal bed and reef =							
Estuaries =							
Total area marine =							

TOTAL RESULTS

TOTAL AREA =	NPP MASS =
NPP ENERGY =	NPP EMERGY =
NPP VALUE =	

developed by Raúl Siche

Figure 4. BIOMASSv2.0 interface

And its outputs are: NPP_{MASS} , g/yr; NPP_{ENERGY} , J/yr; NPP_{EMERGY} , seJ/yr; NPP_{VALUE} , US\$/yr.

The output calculation is described below:

$$NPP_{ENERGY} = NPP_{MASS} \times E_{BIOMASS} \times F \quad Eq. 5$$

where:

NPP_{ENERGY} = potential energy produced in a time period, J/yr;

$E_{BIOMASS}$ = energy in each gram of biomass, 3.6 kcal/g (Pardo and Brown, 1997);

F = conversion factor, 4186 J/kcal.

$$NPP_{EMERGY} = NPP_{ENERGY} \times Tr_{NPP} \quad Eq. 6$$

Where:

NPP_{EMERGY} = emery value for NPP_{ENERGY} , seJ/yr;

Tr_{NPP} = transformity value for a specific ecosystem's NPP, se/J (Table 2 and Eq. 7).

Table 2. Transformity values for any ecosystem type used in BIOMASSv2.0

Ecosystem type	Tr_{NPP} , se/J	NPP^c , g/m ² /yr
Terrestrial biomes		
Lake	32385 ^a	450
Tropical dry savanna	9960 ^a	630
Forest ecosystem	1543 ^a	1224 ^d
Marine biomes	1680 ^b	138

^a Brown & Bardi, 2001

^b Odum, 1996 (revised value using 1.68 factor)

^c Whittaker & Likens, 1973

^d Average NPP for tropical rain forest, tropical seasonal forest, temperate evergreen forest, temperate deciduous forest and boreal forest.

With data from Table 2 we obtained an equation (Eq. 7) that issues transformity values for terrestrial biomes' NPP:

$$\ln(T_{rNPP}) = 28.703 - 3.0093 \ln(NPP_{MASS}) \quad (R^2 = 0.99) \quad \text{Eq. 7}$$

For marine biomes, we considered $Tr_{NPP} = 1680 \text{ seJ/J}$.

NPP value

Costanza et al. (1997; 1998) showed that environmental services (climate regulation, water regulation, erosion control, sediment retention, genetic resources maintenance, pollination, soil formation, etc.) are extremely important for humanity. We currently ignore these services because we do not pay anything for them.

The authors used several scientific tools to assess environmental services for biomes; for the entire world, a total value of US\$ 33 trillion per year was obtained. Costanza et al. (1998) made a correlation between a biome's NPP and the monetary value of its environmental services (Table 3).

With data from Table 3 we obtained two equations (Eqs. 8 and 9) that allow assigning an economic value to NPP for the evaluated ecosystems.

For terrestrial biomes:

$$\ln(NPP_{VALUE}) = -15.063 + 3.0291 \ln(NPP_{MASS}) \quad (R^2 = 0.98) \quad \text{Eq. 8}$$

For marine biomes:

$$\ln(NPP_{VALUE}) = -0.607 + 1.3051 \ln(NPP_{MASS}) \quad (R^2 = 0.86) \quad \text{Eq. 9}$$

Table 3. NPP and value of ecosystem services for major biomes¹

Terrestrial biome	NPP g/m ² /yr	Value US\$/ha/yr	Marine biome	NPP g/m ² /yr	Value US\$/ha/yr
Swamps/floodplains	3500	19580	Seagrass /algae beds	2000	19004
Tidal marsh/mangroves	3000	9990	Estuaries	1500	2832
Tropical forest	2000	2007	Coral reefs	1000	6075
Temperate/boreal forest	1000	302	Shelf	360	1610
Grass/rangelands	800	232	Open ocean	125	252

¹ Source: Costanza et al., 1998.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Costanza's et al. (2006) obtained NPP values for 102 ecosystems (mainly from the USA), which were used in this work as a reference for validating the software.

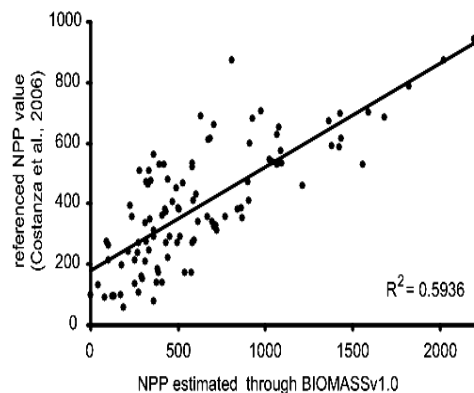


Figure 5. Correlation between estimated versus referenced values of NPP (g/m²/yr).

Statistical analysis was carried out in order to validate BIOMASSv2.0, based on the calculation of the correlation coefficient (R^2) and analysis of variance (ANOVA) between NPP values calculated with the software and those reported by the reference being used (Costanza et al., 2006).

R^2 obtained for the proposed method was 0.59 (Figure 5). This indicates that the values computed by BIOMASSv2.0 would explain in 59 percent the values found in the reference. Comparing this R^2 value with other NPP prediction methods, for example, Zhao & Guang-Sheng Zhou (2005) (R^2 between 0.55 and 0.92) and Costanza et al. (2006) (R^2 between 0.58 and 0.65), we can say that the prediction level of BIOMASSv2.0 is acceptable.

The ANOVA method was applied to determine whether significant differences exist between the two groups (program values and reference data) using a significance level of 5 percent.

In Table 4, it can be observed that $F_{\text{calculated}} = 22.97$ is less than $F_{\text{critical}} = 253.68$; this indicates that the null hypothesis (no significant differences between reference data and BIOMASSv2.0 results) can be accepted.

This conclusion is reinforced by $p\text{-value} = 0.1651$ (with $p > 0.05$), indicating that the averages of the two groups do not show significant differences.

Table 4. Analysis of variance between data from BIOMASSv2.0 and Costanza et al. (2006)

Component	Sum of squares	Mean square	F-calculated	Degrees of freedom	p-value	F-critic
Between groups	24478860	121182	22.97	202	0.1651	253.68
Within groups	2783662	2783662		1		
Total	27262523			203		

4. CONCLUSIONS

The results of statistical tools indicate that BIOMASSv2.0 adequately predicts the NPP value. A value of $R^2=0.59$ indicates that reference data (Costanza et al., 2006) is explained in 59 percent by the BIOMASSv2.0 model. Since the p-value obtained (0.16) was greater than 0.05, the method indicates that the null hypothesis can be accepted, i.e. there are no significant differences between the reference data and our results obtained with the software.

The BIOMASSv2.0 software can be used for two purposes:

- Prediction of NPP for an ecosystem – there are only two inputs: temperature and precipitation. Output is expressed per unit of area: mass ($g/m^2/yr$), energy ($J/m^2/yr$), energy ($seJ/m^2/yr$) and monetary value ($US\$/m^2/yr$);
- Calculation of NPP for a farm, a region or a country – in this case additional information about the subsystems' area is required. Output is expressed as flows of mass (g/yr), energy (J/yr), energy (seJ/yr) and monetary value ($US\$/yr$).

NPP values calculated in different units can be used in emergy evaluation and ecological footprint calculation. These values would be considered as an input flow to calculate the local natural resources (emergy analysis) or as a component of regional biocapacity (ecological footprint), as in a recent publication (Venetoulis & Talberth, 2006). The biomass preserved in ecosystem stocks provides an important renewable flow for national economies.

In future studies, we will use the software for analyzing farms and watersheds considering all vegetation cover of rural systems, including annual cultures.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to Maria Teresa Camarena Gomez (University of Malaga, Spain; trainee at Ecological Engineering Lab, Unicamp) for her help in collecting data and testing the software.

References

- Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R., and Spurr, S.H., 1998. Forest ecology. John Wiley & Sons, New York
- Bhattacharya, S., 2002. Biomass energy and densification: A Global Review with Emphasis on Developing Countries, Proceedings of The First World Conference on Pellets: 1 - 17. Stockholm, September 2-4, 2002.
- Brown, S.L. and Schroeder, P.E. 1999 Spatial patterns of aboveground production and mortality of woody biomass for eastern U.S. forest. *Ecol. Appl.* 9, 968–980.
- Brown, S.L., Schroeder, P. and Kern J.S. 1999 Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA, *For. Ecol. Manage.* 123, 81–90.
- Brown, M.T. and Bardi, E., 2001. 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, 90 p. Available in: <http://www.emergysystems.org/folios.php>. Accessed on June 30, 2006.
- Caspersen, J.P., Pacala, S.W., Jenkins, J.C., Hurtt, G.C., Moorcroft, P.R. and Birdey, R.A. 2000 Contributions of land – use history to carbon accumulation in U.S. forests. *Science* 29, 2301–2309.
- Costanza, R., Fisher, B., Mulder, K., Liu, S. and Christopher, T., 2006. Biodiversity and ecosystem services: a multi-scale empirical study of the relationship between species richness and net primary production. *Ecological Economics*. ARTICLE IN PRESS.
- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and van den Belt, M., 1998. The value of ecosystem services: putting the issues in perspective. *Ecological Economics* (Special section: forum on valuation of ecosystem services). 25: 67-72.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and Van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387: 253-260.
- Jensen, M.E., Burman, R.D. and Allen, R.G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: ASCE. 332 p. (Manual, 70).
- Lieth, H. and Whittaker, R.H., 1975. Primary Productivity of the Biosphere. New York: Springer-Verlag.

- Luo, T.X., Li, W.H. and Zhu, H.Z. 2002 Estimated biomass and productivity of natural vegetation on the Tibetan Plateau. *Ecol. Appl.* 12, 980–997
- Matteucci, S.D. and Colma, A., 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Washington: Secretaria General de la Organización de los Estudios Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 168p.
- Melillo, J.M., McGurie, A.D., Kicklighter, D.W., Moore, B. III, Vorosmarty, C.J. and Schloss, A.L., 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature* 363, 234–240.
- Min Zhao and Guang-Sheng Zhou, 2005. Estimation of biomass and net primary productivity of major planted forests in China based on forest inventory data. *Forest Ecology and Management*, 207: 295–313.
- Newbould, P.J., 1967. Methods for estimation the primary production of forests. 2 ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 62 p.
- Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting, EMERGY and Decision Making. John Wiley, New York, 370 pp.
- Pardo, M.A. and Brown, M.T., 1997. Interface Ecosystems with an Oil Spill in a Venezuelan Tropical Savannah. *Ecological Engineering*, 8: 49-78.
- Ponce-Hernandez, R., Koohafkan, P. and Antoine, J., 2004. Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Rosenzweig, M.L., 1968. Net primary productivity of terrestrial communities: prediction from climatological data. *The American Naturalist* 102: 67-74.
- Santos, J.R., 1988. Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor “Thematic Mapper” do satélite LANDSAT. Curitiba. 156 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná.
- Schuur, E.A.G., 2003. Productivity and global climate revisited: the sensitivity of tropical forest growth to precipitation. *Ecology* 84, 1165- 1170.
- Turc, L., 1961. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Ann. Agron.* 12, 13 – 49.
- Venetoulis, J. & Talberth, J. 2006. Ecological footprint of nations, 2005 update. *Redefining Progress*. In: [http://www.rprogress.org/newpubs/2006/Footprint of Nations 2005.pdf](http://www.rprogress.org/newpubs/2006/Footprint%20of%20Nations%202005.pdf).
- Whittaker, R. H., and Likens, G.E., 1973. Carbon in the biota. In G. M. Woodwell and E. V. Pecan, editors. Carbon and the biosphere. Technical Information Center, Office of Information Services, U.S. Atomic Energy Commission, Springfield, Virginia, USA. 281-302.

*Apêndice 7. Artigo: Emergy-based Sustainability of the
Peruvian economy.**

* Artigo apresentado no Fourth biennial emergy research conference. In: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL, USA, Capitulo 11: 1-12 (in press).

Emergy-based Sustainability of the Peruvian economy

Raúl Siche and Enrique Ortega

ABSTRACT

In this study, emergy evaluation was used to analyze the Peruvian ecological – economic system. The material and energy flows were evaluated in units of solar emergy. The performance of the Peruvian system was assessed through emergy-based indices. The main calculated indicators are the following: (a) Emergy/USD ratio = $1.01 E+13$ sej/dollar; (b) Emergy Yield Ratio (EYR) = 9.69; and (c) Environmental Loading Ratio (ELR) = 2.17; which, when combined give the Emergy Sustainability Index (ESI) = 4.47. In order to obtain a general measure of ecological sustainability, the renewability was also calculated: %R = 32%. These values, as well as other data shown in the paper, indicate that the Peruvian system benefits from a great contribution of natural renewable energies to its economy with low environmental loading, but the country contributes with high release of natural resources, metals primarily, to other economic systems.

INTRODUCTION

Usually, economic analyses do not take into consideration the origin and quality of the energy used by an economic system and often ignore the interconnections between present and past ecosystems. As a result, sustainability is not calculated and is ignored. This is evident in the inadequacy of the national development project, social organization, and cultural values in relation to the use of renewable resources.

The concept of emergy allows expression of all the factors that contribute in the production of goods and services in the same numeraire: the energy of the solar radiation equivalent necessary for the whole production process (Odum 1996). Thus, the emergy methodology accounts for the solar energy “memory” of all the flows of energy and materials necessary to the processes, products, and services that characterize a region.

The objective of this paper is to analyze the resource basis of the economy of Peru with 2004 statistical data using emergy-based indices to describe the environmental performance of the system.

MATERIALS AND METHODS

Peru is the third country in extension in South America, after Brazil and Argentina, with an area of $1.29 E+9$ km². Peru is confined by the Pacific Ocean to the west and Brazil to the east. Its neighbor countries are Ecuador and Colombia to the north and Chile and Bolivia to the south. Peru, by its geographic location should be a tropical country, of warm and rainy climate; nevertheless, it is a country of varied subtropical and tropical climates due to the existence of two factors that modify its climatic conditions completely: the Andes mountain range and the sea currents of Humboldt and El Niño. According to these determining factors, Peru has almost all the climates that appear in the world.

Peru is a rich country in terms of water, but it transfers 98 percent of the water that falls on its surface to the Amazon jungle towards the Atlantic Ocean. Peru lives with only two percent of the rainfall water, which is also not easily accessible because it is far away from the cities.

The rainfall in the North Mountains is 900 mm/m²/year, in the South Mountains is 300 mm/m²/year. On the coast it is 58 mm/m²/year and in the Peruvian Amazon it is 2,451 mm/m²/year (MINAG 2005).

The Republic of Peru developed an economy based on agriculture, mining, and fishing. According to Banco Central de Reserva del Peru, the Gross National Product (GNP) in 2004 was 6.84E+10 USD, equivalent to \$2,450 per person per year (BCRP 2005).

The first step in the emergy analysis was collection of quantitative data from various sources including scientific, economic, and technical literature, as well as national statistical yearbooks and digital databases of the country. After that, the basic data about resources used by the Peruvian system in 2004 were listed in terms of energy (J), mass (kg), or money (USD) flows in order to calculate the respective emergy flows (sej/year). The emergy analysis table allows multiplying all the items listed by their respective transformity in order to obtain the emergy flow. Transformities from previous studies were used for the calculations. The aggregated emergy flows are used to calculate several emergy indices, the most important for this work are: Environmental Loading Ratio (ELR), Emergy Yield Ratio (EYR), Emergy Sustainability Index (ESI), and % Renewability (%R).

RESULTS

Table 1 gives detailed values of the emergy evaluation of Peru's economy. The most important indigenous production sectors are agricultural production and fisheries (Table 1, items 9 and 11) representing 42 and 38 percent, respectively, of the indigenous renewable emergy base of the country.

The most important indigenous non-renewable resource is soil loss (mineral + organic = 2519.7 E+20 sej/y; Table 1, items 19 and 20) representing 88 percent of the non-renewable resources. The emergy of imported fuels (Table 1, item 21) represents an important fraction of the emergy imported to the country (30%). Regarding exports, metals (copper, zinc, and gold were the principal metals) represent almost 82 percent of the total exported emergy (Table 1, item 36).

A summary of flows supporting Peru's economy is given in Table 2. The diagram shown in Figure 1 further summarizes Peru's economy by aggregating emergy flows from indigenous sources ($R + N_0 + N_1 + N_2$), imports ($F + G + P_2I$), and exports ($N_2 + B + P_1E$).

Total emergy use (U) is 6.88 E+23 sej/year (Table 3, item 5), representing 63 percent of the total emergy inflows to the country (Table 3, item 4).

The flow of imported emergy $F + G + P_2I$ (Table 3, item 3) represents 10 percent of the total emergy used. On the other hand, the flow of exported emergy without use (N_2 in Table 2) represents 85 percent of the exported total emergy. There is a deficit in the emergy trade (imports – exports) (Table 3, item 8). In addition, the ratio of exported emergy to imported emergy shows a relation of 6.6/1 (Table 3, item 9).

Exports from the economy are composed of three flows: direct export of non-renewable resources (N_2), exports of products transformed within Peru (B), and emergy value of the dollar income from exported goods and services (P_1E). P_1E (169 E+20 sej/yr; Table 2) is defined as emergy to-money ratio for Peru ($P_1 = 1.01 \text{ E+13 sej/USD}$, this paper; Table 3, item 19) multiplied by dollars received for exports ($E = 1.68 \text{ E+09 USD}$; Table 2, item 10). P_2I is defined as the World Emergy-to-Money ratio ($P_2 = 1.85 \text{ E+12 sej/USD}$; Brown 2003) multiplied by dollars paid for imported services and tourism ($I = 3.69 \text{ E+09 USD}$, Table 2, item 8).

Table 1. Emery evaluation of the resources base for Peru (2004).

Item (*)	Flows	Raw	Units	Transformity (sej/unit)	Solar Emery (E20 sej)
RENEWABLE RESOURCES:					
1	Sunlight	8.28E+21	J	1	82.8
2	Rain, chemical	3.87E+18	J	30500	1178.8
3	Rain, geopotential	2.11E+18	J	47000	993.3
4	Wind, kinetic energy	4.61E+18	J	2450	112.8
5	Waves	6.09E+17	J	51000	310.8
6	Tide	2.93E+18	J	73900	2163.0
7	Earth Cycle	1.48E+18	J	58000	857.9
INDIGENOUS RENEWABLE ENERGY:					
8	Hydroelectricity	6.51E+16	J	2.67E+05	173.9
9	Agriculture Production	3.59E+17	J	3.36E+05	1206.1
10	Livestock Production	1.03E+16	J	3.36E+06	346.5
11	Fisheries Production	3.28E+16	J	3.36E+06	1101.6
12	Fuelwood Production	6.50E+16	J	2.21E+04	14.4
13	Forest Extraction	6.78E+16	J	2.21E+04	15.0
NONRENEWABLE SOURCES FROM WITHIN SYSTEM:					
14	Natural Gas	4.28E+16	J	5.88E+04	25.1
15	Oil	2.96E+17	J	8.90E+04	263.9
16	Coal	2.23E+16	J	6.69E+04	14.9
17	Limestone and fertilizers	2.74E+11	g	1.35E+10	37.0
18	Metals	7.35E+11	g	1.28E+09	9.4
19	Soil losses	1.46E+14	g	1.68E+09	2444.4
20	Topsoil losses	1.02E+17	J	7.40E+04	75.3
IMPORTS AND OUTSIDE SOURCES:					
21	Fuels	2.02E+17	J	1.05E+05	212.4
22	Metals	6.53E+11	g	3.67E+09	24.0
23	Minerals	7.99E+11	g	1.10E+10	88.1
24	Food & ag. products	4.92E+16	J	3.36E+05	165.3
25	Livestock, meat, fish	4.15E+14	J	3.36E+06	14.0
26	Plastics & rubber	1.70E+16	J	1.11E+05	18.9
27	Chemicals	5.30E+11	g	1.48E+10	78.5
28	Finished materials	5.52E+11	g	3.91E+09	21.6
29	Mach. & trans equip.	2.86E+11	g	6.70E+09	19.2
30	Service in imports	2.61E+09	\$	1.66E+12	43.3
31	Tourism	1.08E+09	\$	1.85E+12	19.9
EXPORTS:					
32	Food & ag. products	1.21E+16	J	3.36E+05	40.5
33	Livestock, meat, fish	1.38E+16	J	3.36E+06	464.2
34	Finished materials	2.34E+11	g	3.17E+09	7.4
35	Fuels	3.52E+16	J	1.11E+05	39.1
36	Metals	1.12E+13	g	3.46E+10	3879.8
37	Minerals	1.43E+12	g	1.00E+09	14.3
38	Chemicals	6.15E+11	g	1.48E+10	91.0
39	Mach. & trans equip.	3.80E+10	g	6.70E+09	2.5
40	Plastics & rubber	5.50E+14	J	1.11E+05	0.6
41	Service in exports	1.68E+09	\$	1.01E+13	169.0

(*) Footnotes to Table 1 are found at end of chapter.

Table 2. Summary of Flows in Peru (2004).

Item	Aggregated Flows	Unit	Solar Emergy (E+20 sej/unit)	Dollars
1	R, Renewable sources (rain, tide, earth cycle)	yr	2172,18	
2	N, Nonrenewable resources	yr	8024,99	
3	N ₀ , Dispersed Rural Source	yr	3650,59	
4	N ₁ , Concentrated Use	yr	350,36	
5	N ₂ , Exported without Use	yr	4423,58	
6	F, Imported Fuels and Minerals	yr	324,43	
7	G, Imported Goods	yr	317,39	
8	I, Dollars Paid for Imports	USD		3,69E+09
9	P ₂ I, Emergy of Services in Imported Goods & Fuels	yr	68,21	
10	E, Dollars Received for Exports	USD		1,68E+09
11	P ₁ E, Emergy Value of Goods and Service Exports	yr	168,97	
12	B, Exported products transformed within Peru	yr	115.80	
13	X, Gross National Product	USD		6,84E+10
1	R: Items 2, 3, Table 1			
2	N = N ₀ + N ₁ + N ₂			
3	N ₀ : Items 11, 12, 13, 19, 20, Table 1			
4	N ₁ : Items 14 through 18, Table 1			
5	N ₂ : Items 32, 33, 35, 36, Table 1			
6	F: Items 21, 22, 23, Table 1			
7	G: Items 24 through 29, Table 1			
8	I: Items 30, 31, Table 1			
9	P ₂ I: where P ₂ is World Emergy/dollar ratio used in imports (1,85 E+12 sej/USD; Brown, 2003)			
10	E: Item 41, Table 1			
11	P ₁ E: where P ₁ is Peru Emergy/dollar ratio used in exports, Index 19, Table 3			
12	B: Items, 34, 37 through 40			
13	BCRP (2005)			

A significant percentage (32%) of the emergy used in Peru's economy is derived from renewable sources within the country (Table 3, item 10). Almost 10 percent of the emergy basis of Peru's economy is purchased (Table 3, item 11). One percent of the country's emergy came from imported service (Table 3, item 12). Eighty-five percent of the emergy used in the country has no economic cost (Table 3, item 13).

Peru's emergy resource use per unit area (Table 3, item 15) is 5.36 E+15 sej/ha/year, while resource use per person (Table 3, item 16) is 2.46 E+16 sej/year. The renewable carrying capacity of the country (Table 3, item 17) is 8.81 million people, or around 32 percent of today's population of 28 million inhabitants. The developed carrying capacity (Table 3, item 18) is 17.6 million people (around 63% of today's population).

DISCUSSION

The ratio of internal to rural resources used (Table 3, item 14) is a ratio that relates the percent of emergy use that flows through urbanized areas to the renewable emergy that is derived primarily from the rural landscape (Brown & McClanahan 1996). In Peru, this ratio is 18 percent, suggesting that only about one fifth of the country's emergy use is derived from internal sources that flow through urban centers. This is a low value when compared to countries like Thailand where 85 percent of their emergy use is derived from internal sources (Brown & McClanahan 1996).

Table 3. Indices using emergy for overview of Peru (2004).

Item	Name of Index	Expression	Quantity
1	Renewable emergy flow	R	2,17E+23
2	Flow from indigenous nonrenewable reserves	N	8,42E+23
3	Flow of imported emergy	F+G+P ₂ I	7,10E+22
4	Total emergy inflows	R+N+F+G+P ₂ I	1,13E+24
5	Total emergy used, U	N ₀ +N ₁ +R+F+G+P ₂ I	6,88E+23
6	Total exported emergy	P ₁ E	4,71E+23
7	Fraction emergy use derived from home sources	(N ₀ +N ₁ +R)/U	0,90
8	Imports minus exports	(F+G+P ₂ I)-(N ₂ +B+P ₁ E)	-4,00E+23
9	Export to Imports	(N ₂ +P ₁ E)/(F+G+P ₂ I)	6,63
10	Fraction used, locally renewable	R/U	0,32
11	Fraction of use purchased	(F+G+P ₂ I)/U	0,10
12	Fraction imported service	P ₂ I/U	0,01
13	Fraction of use that is free	(R+N ₀)/U	0,85
14	Ratio of concentrated to rural	(F+G+P ₂ I+N ₁)/(R+N ₀)	0,18
15	Use per unit area, Empower Density	U/(area ha)	5,36E+15
16	Use per person	U/population	2,46E+16
17	Renewable carrying capacity at present living standard	Country population (R/U) (population)	2,79E+07 8,81E+06
18	Developed carrying capacity at same living standard	2(R/U)(population)	1,76E+07
19	Peru Emergy/dollar ratio	P ₁ =U/GNP	1,01E+13
20	Ratio of electricity to use	(el)/U	2,97%
21	Fuel use per person	fuel/population	7,61E+14
22	Environmental Loading Ratio (ELR)	(F+G+P ₂ I+N)/R	2,17
23	Emergy Yield Raio (EYR)	U/(F+G+P ₂ I)	9,69
24	Environmental Sustainability Index (ESI)	NYR/ELR	4,47

(*) We found that the total emergy was two times larger than renewable emergy available.

The renewable carrying capacity of Peru (Table 3, item 17) is around 32 percent of today's population of 27 million inhabitants, representing the number of people that could be supported on renewable sources alone, if the present living standard is maintained. This is a measure of the long term sustainable carrying capacity for humans of a country's landscape (Brown & McClanahan 1996).

Around 94 percent (44.2 E+22 sej/yr, Table 2) of the exported total emergy (47.1 E+22 sej/yr, Table 3, item 6) is exported without use. This is very high compared to countries like United States (Odum 1996), Nicaragua (Cuadra and Rydberg 2000), Sweden (Lagerberg 1999), Thailand (Brown & McClanahan 1996), and Italy (Ulgiati et al. 1994), which export 24, 16, seven, two, and one percent, respectively, of emergy without local use. It means there is a high release of natural resources without processing within the country. The ratio of exported emergy to imported emergy is 6.63, suggesting that Peru is exporting more emergy than it is importing and that it is losing emergy in international trade. This is reinforced with the fact of having a negative result of imports-exports (Table 3, item 8). When observing Table 1, the export of emergy in metals (Au, Cu, Zn, Fe, etc), alone represents approximately 5.5 times the total of imported emergy. These results indicate that Peru could be classified as a raw-material exporter country, because the country's exports are composed mainly of unprocessed resources (metals, livestock, meat, and fish).

Peru's Energy Yield Ratio (EYR) is 9.69 (Table 3, item 24) indicating a high ability of the economy to make use of the local resources. The Environmental Loading Ratio (ELR) for Peru is 2.17 (Table 3, item 23), indicating a moderate technological level, as well as moderate level of environmental stress.

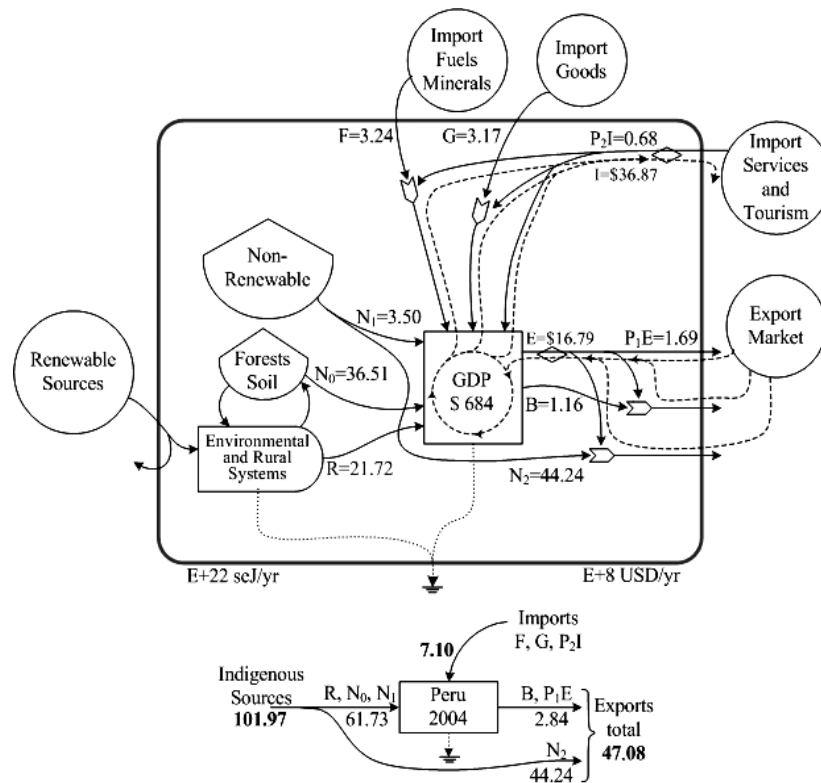


Figure 1. Systems overview diagram summarizing all resource flows for the Peruvian economy for 2004.

When combined (EYR/ELR) in the Energy Sustainability Index (ESI) the result is 4.47 (Table 3, item 27), which according to Ulgiati & Brown (1998), indicates that Peru has an undeveloped economy, but low environmental stress and environmental loading. This is opposite to what was found for countries like the United States (ESI = 0.48), Sweden (ESI = 0.19), Italy (ESI = 0.17), and Denmark (ESI = 0.14), which have more developed economies (Ulgiati & Brown 1998; Lagerberg 1999; and Haden 2003).

Brown (2003) argues that values higher than four indicate countries with “sustaining” economies. Thus, Peru could be classified as a sustaining economy, but with a latent danger to become unsustainable if private management policies and public policy continue to ignore environmental and social aspects of country development.

CONCLUSIONS

Because of its rich availability of natural resources, Peru has become a producer of raw materials for other countries. As a consequence, the economy has remained undeveloped and the standard of living low compared with other Latin American countries. We think that in order to develop its economy, many resources should be processed within the country before exporting. In that direction, we consider it is very important to recognize the high economic value of natural resources and minerals.

The national economy of Peru has to establish industries to process raw materials and export finished products. To support this strategy it will be necessary to process local and imported

oil and upgrade industrial infrastructure. The Peruvian national economy needs of a reconstruction of its industry that importing little oil and promoting the use of renewable energy resources. These political may improve the standard of living and quality of life in Peru, without depredeating the environment and to develop an economy based in the exportation of resources with aggregate value.

Some benefit of mineral extraction should go to indigenous populations who live in the mountains near the mines. This support should take into consideration the local ecological culture.

ACKNOWLEDEGMENTS

We acknowledge the “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq” of Brazil for providing financial support for the development of the present study.

REFERENCES

- BCRP - Banco Central de Reserva del Perú. 2005. Internet Home Page: www.bcrp.gob.pe.
- Brandt-Williams, S.L. 2001. Folio #4: Emergy of ecosystems. Handbook of Emergy Evaluation: A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Gainesville, FL., Center for Environmental Policy, University of Florida.
- Brown, M.T., Arding, J. 1991. Transformities, working paper. Center for Wetlands, University of Florida.
- Brown, M.T., Bardi, E. 2001. Folio #3: Emergy of ecosystems. Handbook of Emergy Evaluation: A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Gainesville, FL., Center for Environmental Policy, University of Florida.
- Brown, M.T., Brandt-Williams, S.L. et al. 2000. Emergy synthesis: an introduction. Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Gainesville, FL. M. T. Brown. The Center for Environmental Policy, University of Florida: 1-14.
- Brown, M.T., Buranakarn, V. 2000. Emergy evaluation of material cycles and recycle options. Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology. M. T. Brown. Gainesville, FL., The Center for Environmental Policy, University of Florida: 141-154.
- Brown, M.T., McClanahan, T.R. 1996. Emergy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. *Ecol. Model.* 91: 105-130.
- Brown, M.T. 2003. Resource imperialism: Emergy perspectives on sustainability, international trade, and balancing the welfare of nations. In: *Advances in Energy Studies Reconsidering the Importance of Energy*. Third Biennial International Workshop. S. Ulgiati, M.T. Brown, M. Giampietro, R. A. Herendeen & K. Mayumi (Eds). Porto Venere, Italy. September 24/28 2002. p. 135-149.
- CIA - Central Intelligence Agency. 2005. Internet Home Page: <http://www.odci.gov/cia/publications/factbook/geos/pe.html>
- Cuadra, M., Rydberg, T. 2000. Emergy evaluation of the environmental and economy of Nicaragua. Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology. M. T. Brown. Gainesville, FL., The Center for Environmental Policy, University of Florida: 289- 301.
- FAOSTAT. 2004. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online database: <http://faostat.fao.org/>
- Haden, A. 2003. Emergy Evaluation of Denmark and Danish Agriculture – Assessing the Limits of Agricultural Systems to Power Society. *Ecological Agriculture* 37. Centre for Sustainable Agriculture Sciences S-750 07 Uppsala.
- Henry, S.G., Pollack, H.N. 1988. Terrestrial Heat Flow Above the Andean Subduction Zone in Bolivia and Peru. *J. of Geophysical Research* 93: 15153-15162.
- INEI - Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2005. Avance coyuntural de la actividad económica. Enero 2004. Internet Home Page: www.inei.gob.pe
- Lagerberg, C. 1999. Emergy analysis of the resource use in greenhouse crop production and of the resource basis of the Swedish economy. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Science, 1999. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria* 191.
- Luchi, F., Ulgiati, S. 2000. Energy and emergy assessment of municipal waste collection. A case study. Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology. M.T. Brown. Gainesville, FL., The Center for Environmental Policy, University of Florida: 303-316.
- Odum, H.T. 1996. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making* New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Odum, H.T. 2000. Folio #2: Emergy of global processes. Handbook of Emergy Evaluation: A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Gainesville, FL., Center for Environmental Policy, University of Florida.

- Odum, H.T., Arding, J.E. 1991. Emery Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador. Gainesville, Fl., Center for Wetlands, University of Florida.
- Odum, H.T., Brown, M.T. et al. 2000. Folio #1: Introduction and global budget. Handbook of Emery Evaluation: A compendium of data for emery computation issued in a series of folios. Gainesville, Fl., Center for Environmental Policy, University of Florida.
- OSOMARINE. 2005. Internet Home Page: www.osomarine.com/indexspa.htm
- MEF - Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. 2005. Estadísticas Económicas 2004. Internet Home Page: www.mef.gob.pe.
- MINAG - Ministerio de agricultura del Perú. 2005. Internet Home Page: www.minag.gob.pe.
- MINCETUR - Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú. 2005. Internet Home Page: www.mincetur.gob.pe.
- MINEM - Ministerio de Energía y Minas del Peru. 2005. Balance Nacional de Energía 2004. Internet Home Page: www.minem.gob.pe.
- OSINERG - Organismo Supervisor de la Inversión en Energía en el Perú. 2005. Anuario Estadístico 2004. Internet Home Page: www.osinerg.gob.pe.
- Romitelli, M.S. 2000. Emery analysis of the new Bolivia - Brazil gas pipeline. Emery Synthesis: Theory and Applications of the Emery Methodology. M. T. Brown. Gainesville, Fl. The Center for Environmental Policy, University of Florida: 53-59.
- Rueda, R., Williamson, G.B. 1992. Radial and vertical wood specific gravity in Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb. (Bombacaceae). Biotropica 24, 512-518.
- SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. 2004. Internet Home Page: www.senamhi.gob.pe
- Scott, H.J. 1999. Characteristics of soils in the tropical rainforest biome of Biosphere 2 after 3 years. Ecol. Eng. 13: 95-106.
- Ulgianti, S., Brown, M.T. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. Ecol. Model. 108: 23-26.
- Ulgianti, S., Odum, H.T. et al. 1993. Emery analysis of Italian agricultural 1 system. The role of energy quality and environmental inputs. II International Workshop on Ecological Physical Chemistry, Milan.
- Ulgianti, S., Odum, H.T., Bastianoni, S. 1994. Emery use, environmental loading and sustainability an emery analysis of Italy. Ecol. Model. 73: 215-268.
- Valdivia, R.O. 2002. The Economics of Terraces in the Peruvian Andes: An Application of Sensitivity Analysis in an Integrated Assessment Model. Thesis, Master of Sciences in Applied Economics, Montana State University-Bozeman, USA.

NOTES: FOOTNOTES TO TABLE 1

(Transformities before year 2000 were multiplied per 1.68)

1. SOLAR ENERGY: Cont shelf area=9.23E+11m² (at 200 m depth.); Land area = 1.29E+12m² (CIA, 2005); Insolation=1.28E+02kcal/cm²/year; Albedo=0.30 (% given as decimal) (estimate); Energy(J)=(area incl. shelf in m²) x (avg insolation in cal/cm²/year) x (1-albedo) x (E+04 cm²/m²) x (1-albedo) x (4186 J/kcal)=8.28E+21J/year; Transformity=1sej/J by definition (Odum 1996).
2. RAIN, CHEMICAL POTENTIAL ENERGY: Land area=1.29E+12m²; Cont shelf area = 9.23E+11m² (at 200 m depth.); Rain (land)=0.54 m/year (Minag 2005); Rain (shelf) = 0.24m/year (est. as 45% of tot. rain); Evapotrans. Rate =0.43m/year (est. as 80% of tot. rain); Energy (land) (J) = (area in m²) x (evapotrans. in m)x(1000kg/m³)x(Gibbs no. 4.94E+03J/kg)=2.75E+18J/year; Energy (shelf) (J) = (area of shelf) x (rainfall) x (Gibbs no.) = 1.11E+18 J/year; Total Energy (J)=3.87E+18J/year; Transformity=3.05E+04sej/J (Odum et al. 2000; Folio #1).
3. RAIN, GEOPOTENTIAL ENERGY: Area=1.29E+12m²; Rainfall=0.54m; Avg. elevation=1548m (Average elev. Coast, Andean mountain ranges and Amazon); Runoff rate=0.20% (percent. given as a decimal); Energy(J)=(area in m²)x(rainfall in m) x (% runoff) x (avg elevation in m) x (gravity in m/s²) x (1000kg/m³)= 2.11E+18 J/year; Transformity = 4.70E+04 sej/J (Odum et al. 2000; Folio #1).
4. WIND ENERGY: Area=1.29E+12m²; Density of air=1.30kg/m³; Avg. annual wind velocity=4.00m/s (Senamhi 2004); Geostrophic wind=4.44m/s (estimate avg. annual wind velocity/0.9); Drag coeff.=0.001; Energy (J)=(area in m²)x(air density. 1.3 kg/m³) x (drag coefficient) x (velocity in m/s)³ x (3.14E+07 s/year); Energy (J) = 4.61E+18 J/year; Transformity = 2.45E+03 sej/J (Odum et al. 2000; Folio #1).
5. WAVE ENERGY: Shore length=2.41E+06m (CIA, 2005); Wave height= 1.20m; Energy(J)=(shore length in m) x (1/8) x (density, 1.025E+03kg/m³) x (gravity, 9.8 m/s²) x (wave height in m)² x (velocity in m/s) x (3.14E+07s/year); Energy(J) = 6.09E+17 J/year; Transformity = 5.10E+04 sej/J (Odum et al. 2000; Folio #1).
6. TIDAL ENERGY: Cont shelf area=9.23E+11m²; Avg tide range=0,93m (average of ten main ports; Osomarine, 2005); Density=1.03E+03kg/m³; Tides/year= 7.30E+02 (estim. of 2 tides/day in 365 days); Energy(J)=(shelf in m²)x(0.5)x (tides/year)x(mean tidal range)² x (density of seawater in kg/m³) x (gravity, 9.8m/s²) = 2.93E+18 J/year; Transformity=7.39E+04sej/J (Odum et al. 2000; Folio #1).

7. EARTH CYCLE: Land area = $1.29E+12m^2$; Heat flow = $1.15E+06J/m^2 = 0.37W/m^2$ (average value, Henry & Pollack, 1988); Energy (J) = (area in m^2) x (heat flow in J/m^2) = $1.48E+18 J/year$; Transformity = $5.80E+04 sej/J$ (Odum 2000; Folio #2).
8. HYDROELECTRICITY: Kilowatt hr/year= $1.81E+10 kwh/year$ (Osiner, 2005); Energy (J) = (Energy production in $kwh/year$)x(Energy content, $3.6E+06J/kwh$) = $6.51E+16J/year$; Transformity= $2.67E+05sej/J$ (Odum, 1996).
9. AGRICULTURAL PRODUCTION: Production = $2.68E+07 t$ (Dry mass, 20% humidity) (Minag 2005); Energy (J) = (total production in t) x (Energy content, $1E+06g/t$) x (80%) x ($4.0kcal/g$) x ($4186 J/kcal$) = $3.59E+17J/year$; Transformity= $3.36E+05sej/J$ (Brown & MacClanaham 1996).
10. LIVESTOCK PRODUCTION: Livestock production = $2.46E+06t$ (80% humidity) (Faostat 2004); Energy (J) = (total production in t)x(Energy content, $1E+06g/t$)x (20%) x ($5.0kcal/g$) x ($4186J/kcal$)= $1.03E+16J/year$; Transformity= $3.36E+06sej/J$ (Brown & MacClanaham 1996).
11. FISHERIES PRODUCTION: Fish catch= $7.83E+06t$ (80% humidity) (Inei, 2005); Energy(J)=(total production in t)x(Energy content, $1E+06g/t$)x($5.0 kcal/g$)x(20%) x ($4186 J/kcal$) = $3.28E+16 J/year$; Transformity = $3.36E+06 sej/J$ (Brown & MacClanaham 1996).
12. FUELWOOD PRODUCTION: Fuelwood prod = $9.29E+06 m^3$ (Faostat 2004); Energy(J)=(total production in m^3)x(Energy content, $0.58E+06g/m^3$)x($3.6kcal/g$)x (80%)x($4186J/kcal$)= $6.50E+16J/year$ (Energy content, $0.58E+06g/m^3$ of Rueda & Williamson, 1992); Transformity= $2.21E+04sej/J$ (Romitelli 2000).
13. FOREST EXTRACTION: Harvest = $1.13E+07 m^3$ (Faostat, 2004); Energy (J) = (total production in m^3) x (Energy content, $0.58E+06 g/m^3$) x (80%) x ($3.6 kcal/g$) x ($4186 J/kcal$)= $6.78E+16J/year$; Transformity= $2.21E+04sej/J$ (Romitelli 2000).
14. NATURAL GAS: Consumption= $1.14E+09m^3/year$ (Minem, 2005); Energy(J)= (cons. in $m^3/year$) x (Energy content, $8966kcal/m^3$) x ($4186J/kcal$) = $4.28E+16J/year$; Transformity = $5.88E+04sej/J$ (Romitelli 2000).
15. OIL: Consumption = $2.96E+17 J/year$ (Minem 2005); Transformity = $8.90E+04 sej/J$ (Odum 1996).
16. COAL: Consumption= $2.23E+16J/year$ (Minem 2005); Transformity= $6.69E+04 sej/J$ (Odum 1996).
17. MINERALS (including limestone and fertilizers): Consumption= $2.74E+05 t/year$; (MEF, 2005); Mass (g) = (cons. in t/year) x ($1E+06 g/t$) = $2.74E+11 g/year$; Transformity = $1.35E+10 sej/g$ (weighed $2.99E+10 sej/g P$; $2.92E+09 sej/g K$; $7.73E+09 sej/g N$, Odum 1996).
18. METALS: Zinc= $1.74E+05t/year$ (Mef 2005); Transformity= $1.43E+09sej/g$ (Odum 1996); Iron= $4.38E+05t/year$ (Mef 2005); Transformity= $1.44E+09sej/g$ (Odum 1996); Copper= $9.55E+04t/year$ (Mef 2005); Transformity= $1.61E+08 sej/g$ (Odum & Arding 1991); Gold = $2.14 t/year$ (Mef 2005); Transformity = $4.22E+08 sej/g$ (Odum & Arding 1991); Others = $2.84E+04 t/year$ (Mef 2005); Transformity= $1.68E+09sej/g$ (Odum 1996); Total consumption= $7.35E+05t/year$; Mass(g)=(cons. in t/year)x($1E+06g/t$)= $7.35E+11g/year$; Transformity (weighed) = $1.28E+09sej/g$.
19. SOIL, MINERAL FRACTION: Harvested cropland= $1.375E+08m^2$; Soil loss= $4.00E+05 g/m^2/year$ (Valdivia 2002); Mass (g) = (soil loss in $g/m^2/year$) x (harvested cropland in m^2)= $1.46E+14 g/year$; Transformity (world sedimentary cycle) = $1.68E+09 sej/g$ (Odum 1996).
20. SOIL, ORGANIC FRACTION: Average organic content (%) = 3% (Scott 1999); Energy (J) = (soil loss in $g/m^2/year$) x (harvested cropland in m^2) x (% organic) x ($5.4kcal/g$) x ($4186 J/kcal$) = $1.02E+17 J/year$; Transformity = $7.40E+04 sej/J$ (Brown & Bardi 2001).
21. FUELS: Oil derived fuels = $1.76E+17 J/year$ (Minem, 2005); Transformity = $1.11E+05 sej/J$ (Odum 1996); Coal = $2.67E+16 J/year$ (Minem 2005); Transformity = $6.69E+04 sej/J$ (Odum 1996); Transformity (weighed)= $1.05E+05 sej/J$.
22. METALS: Aluminum= $7.63E+03t/year$ (MEF 2005); Transformity= $1.25E+10 sej/g$ (Brown & Buranakan 2000); Iron and steel= $6.37E+05t/year$ (Mef 2005); Transformity = $2.78E+09 sej/g$ (Brown & Buranakan 2000); Copper wire = $3.12E+03 t/year$ (Mef 2005); Transformity = $1.66E+11 sej/g$ (Odum 1996); Others = $4.78E+03 t/year$ (Mef 2005); Transformity = $1.68E+09 sej/g$ (Odum 1996); Mass (g) = (total imported in t/year)x($1E+06g/t$)= $6.53E+11g/year$; Transformity (weighed) = $3.67E+09 sej/g$.
23. MINERALS: Cement= $5.80E+03t/year$ (Mef 2005); Transformity= $1.97E+09sej/g$ (Brown & Buranakan 2000); Phosphorus= $1.65E+05t/year$ (Mef 2005); Transformity= $2.99E+10sej/g$ (Odum 1996); Potash= $8.43E+04t/year$ (Mef 2005); Transformity= $2.92E+09sej/g$ (Odum 1996); Nitrogen= $4.47E+05 t/year$ (Mef 2005); Transformity= $7.73E+09sej/g$ (Odum 1996); Others= $9.70E+04t/year$ (Mef, 2005); Transformity= $1.68E+09sej/g$ (Odum 1996); Mass(g)=(total import. in t/year)x($1E+06g/t$)= $7.99E+11g/year$; Transformity(weighed)= $1.10E+10 sej/g$.
24. FOOD AND AGRICULTURAL PRODUCTS: Imports= $4.20E+06t/year$ (Mef 2005); Energy(J) = (import. in t/year) x ($1E+06g/t$) x ($3.5kcal/g$) x ($4186 J/kcal$) x (80%) = $4.92E+16J/year$; Transformity= $3.36E+05sej/J$ (Brown & MacClanaham 1996).
25. LIVESTOCK, MEAT, FISH: Imports= $9.02E+04 t/year$ (Mef 2005); Energy (J) = (import. in t/year)x($1E+06 g/t$)x($5 kcal/g$)x($4186 J/kcal$)x(0.22 protein)= $4.15E+14 J/year$; Transformity= $3.36E+06 sej/J$ (Brown & MacClanaham 1996).

26. PLASTICS & RUBBER: Imports = $5.68E+05$ t/year (Mef 2005); Energy (J) = (import. in t/year) $\times(1000\text{kg/t})\times(30.0E+06\text{J/kg})=1.70E+16\text{J/year}$; Transformity = $1.11E+05\text{sej/J}$ (Odum 1996).
27. CHEMICALS: Imports= $5.30E+05\text{t/year}$ (Mef 2005); Mass(g)=(import. in t/year) $\times (1E+06 \text{ g/t})=5.30E+11 \text{ g/year}$; Transformity= $1.48E+10 \text{ sej/g}$ (Brown & Arding 1991).
28. FINISHED MATERIALS: Lumber= $8.82E+04\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $8.80E+08\text{sej/g}$ (Brown & Buranakan 2000); Paper= $2.92E+05\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $3.69E+09\text{sej/g}$ (Luchi & Ulgiati 2000); Others= $1.71E+05\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $5.85E+09\text{sej/g}$ (Brown & Buranakan 2000); Mass (g) = (import. in t/year) $\times (1 E+06 \text{ g/t}) = 5.52E+11 \text{ g/year}$; Transformity (weighed) = $3.91E+09 \text{ sej/g}$.
29. MACHINERY, TRANSPORTATION, EQUIPMENT: Imports = $2.86E+05\text{t/year}$ (Mef 2005); Mass (g) = (import in t/year) $\times (1 E+06 \text{ g/t}) = 2.86E+11 \text{ g/year}$; Transformity = $6.70E+09\text{sej/g}$ (Brown & Bardi 2001).
30. IMPORTED SERVICES: Dollar value = $2.61E+09$ USD (FAO 2003); World emergy/USD ratio= $1.85E+12\text{sej/USD}$ (Brown 2003).
31. TOURISM: Dollar value= $1.08E+09$ USD (Mincetur 2005).
32. FOOD AND AGRICULTURAL PRODUCTS: Exports= $1.03E+06\text{t/year}$ (Mef 2005); Energy(J) = (export in t) $\times (1E+06 \text{ g/t}) \times (80\%) \times (3.5\text{cal/g}) \times (4186 \text{ J/cal})= 1.21E+16\text{J/year}$; Transformity= $3.36E+05\text{sej/J}$ (Brown & MacClanahan 1996).
33. LIVESTOCK, MEAT, FISH: Exports= $3.00E+06 \text{ t/year}$ (Mef 2005); Energy (J)= (export in t) $\times (1E+06 \text{ g/t}) \times (5 \text{ cal/g}) \times (4187 \text{ J/cal}) \times (0.22 \text{ prot})=1.38E+16\text{J/year}$; Transformity= $3.36E+06\text{sej/J}$ (Brown & MacClanahan 1996).
34. FINISHED MATERIALS: Exported lumber = $1.18E+05 \text{ t/year}$ (Mef 2005); Transformity = $8.80E+08 \text{ sej/g}$ (Brown & Buranakan 2000); Exported paper = $1.85E+04 \text{ t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $3.69E+09\text{sej/g}$ (Luchi & Ulgiati 2000); Others= $9.75E+04\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $5.85E+09\text{sej/g}$ (as pvc) (Brown & Buranakan 2000); Mass (g) = (export in t) $\times (1 E+06 \text{ g/t}) = 2.34E+11\text{g/year}$; Transformity(weighed)= $3.17E+09\text{sej/g}$.
35. FUELS: Oil derived fuels= $3.52E+16\text{J/year}$ (Minem 2005); Transformity= $1.11E+05\text{sej/J}$ (Odum 1996).
36. METALS: Iron ore= $8.88E+04\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $1.44E+09\text{sej/g}$ (Odum 1996); Cinc= $2.08E+06\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $1.68E+09\text{sej/g}$ (Odum 1996); Copper wire= $2.24E+06\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $1.66E+11\text{sej/g}$ (Odum 1996); Gold= $4.35E+02\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $4.22E+08\text{sej/g}$ (Odum & Arding 1991); Others= $6.81E+06\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $1.68E+09\text{sej/g}$ (Odum, 1996); Mass(g)=(export in t) $\times(1E+06\text{g/t})= 1.12E+13\text{g/year}$; Transformity (weighed)= $3.46E+10\text{sej/g}$.
37. MINERALS: Cement= $6.98E+05\text{t/year}$ (Mef, 2005); Transformity= $1.97E+09\text{sej/g}$ (Brown & Buranakan 2000); Phosphorus= $6.75E+04\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity = $2.99E+10 \text{ sej/g}$ (Odum 1996); Nitrogen = $1.03E+04 \text{ t/year}$ (Mef 2005); Transformity= $7.73E+09\text{sej/g}$ (Odum 1996); Others = $6.51E+05\text{t/year}$ (Mef 2005); Transformity = $1.68E+09\text{sej/g}$ (Odum 1996); Mass(g) = (export in t) $\times (1E+06\text{g/t})=1.43E+12\text{g/year}$; Transformity (weighed) = $3.20E+09\text{sej/g}$.
38. CHEMICALS: Exports= $6.15E+05\text{t/year}$ (Mef 2005); Mass(g) = (export in t) $\times (1E+06\text{g/t}) = 6.15E+11\text{g/year}$; Transformity= $1.48E+10\text{sej/g}$ (as pesticides) (Brown & Arding 1991).
39. MACHINERY, TRANSPORTATION, EQUIPMENT: Exports = $3.80E+04 \text{ t/year}$ (Mef 2005); Mass (g) = (export in t/year) $\times (1 E+06 \text{ g/t}) = 3.80E+10 \text{ g/year}$; Transformity= $6.70E+09\text{sej/g}$ (Brown & Bardi 2001).
40. PLASTICS & RUBBER: Exports = $1.83 E+04 \text{ t/year}$ (Mef 2005); Energy (J)= (export in t/year) $\times(1000 \text{ kg/t})\times(30E+06 \text{ J/kg})=5.50E+14$; Transformity= $1.11E+05 \text{ sej/J}$ (Odum 1996).
41. SERVICES IN EXPORTS: Dollar value = $1.68 E+09$ USD (Faostat 2004).

Apêndice 8. Cálculo dos Fatores de Rendimento (YF) para o Peru, 2004*.

Tabela A.8.1. Fator de Rendimento de Cultivos, Peru 2004

Item	Mundo ⁽ⁱ⁾	Peru ⁽ⁱⁱ⁾
Rendimento (t/ha)	4,7525	7,6470
YF cultivo		1,6090

Fonte: FAOSTAT (2006)

⁽ⁱ⁾ Inclui a média dos rendimentos de cultivos de 176 países e 100 cultivos (produtos primários).

⁽ⁱⁱ⁾ Inclui a média dos rendimentos dos mesmos 100 cultivos de ⁽ⁱ⁾.

Tabela A.8.2. Fator de Rendimento de Pastos, Peru 2004

Item	Produção Global (t)	Produção no Peru (t)
Fibras, origem animal	2 585 339	11 237
Carne	259 285 911	963 122
Leite	625 779 621	1 290 081
Total	887 650 871	2 264 440
Área para produção (ha)	1 716 231 973 ⁽ⁱ⁾	17 916 000 ⁽ⁱⁱ⁾
Produtividade (t/ha)	0,5172	0,1264
YF pastos		0,2444

Fonte: FAOSTAT (2006)

⁽ⁱ⁾ Suposição: o 49,5% de 3,47 milhões de ha (Área bioprodutiva de pastos, Tabela 4.4.) são as áreas que foram utilizadas para a produção de fibras, carne e leite.

⁽ⁱⁱ⁾ Representa o 49,5% da área total de pastos (Tabela 2.7).

* Para todos os casos foi aplicado a Equação 4.2 desta tese.

.... (continua)

Tabela A.8.3. Fator de Rendimento de Florestas

Item	Produção Global	Produção no Peru
	m ³	m ³
Papel e cartão	611 779 519	156 552
Pulpa para papel	327 372 912	29 310
Madeira em tora	3 423 037 038	8 921 000
Total	4 362 189 469	9 106 862
Produtividade Madeira (m ³ /ha)	4,0482	1,2076
Lenha	17 767 733 689	7 300 000
Produtividade lenha (m ³ /ha)	1,6405	0,9680
Área para produção	1 077 570 000 ⁽ⁱ⁾	7 541 210 ⁽ⁱⁱ⁾
Produtividade total (m ³ /ha)	5,6887	2,1756
YF Floresta		0,3825

Fonte: FAOSTAT (2006)

⁽ⁱ⁾ Suposição: o 30% de 3,59 milhões de ha (Área bioprodutiva, Tabela 4.4.) são as áreas que foram utilizadas para a produção de produtos florestais e lenha.

⁽ⁱⁱ⁾ Representa o 30% da área total de floresta (Tabela 2.7).

Tabela A.8.4. Fator de Rendimento da Pesca, Peru 2004

Item	Global	Peru
Captura total (t)	132 989 225 ⁽ⁱ⁾	582 492 ⁽ⁱ⁾
Área para produção (ha)	2 457 600 000 ⁽ⁱⁱ⁾	65 100 000 ⁽ⁱⁱⁱ⁾
Produtividade (t/ha)	0,0541	0,1478
YF Pesca		2,7310

⁽ⁱ⁾ OLDEPESCA (2006).

⁽ⁱⁱ⁾ Tabela 4.4.

⁽ⁱⁱⁱ⁾ Área equivalente a 200 milhas marinhas do mar peruano.

*Apêndice 9. Artigo: Proposta: Índices termodinâmicos (Emergia e Exergia)
para avaliar a sustentabilidade de Economias Nacionais.**

* Artigo apresentado no 3o Seminário Internacional Ciência e Tecnologia na América Latina, 14 - 15 Setembro 2006. Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil. 11p. Anais do evento. Disponível em:
http://www.cori.unicamp.br/CT2006/trabalhos/Siche_Emergy_Exergy.doc

PROPOSTA: ÍNDICES TERMODINÂMICOS (EMERGIA E EXERGIA) PARA AVALIAR A SUSTENTABILIDADE DE ECONOMIAS NACIONAIS

Raúl Benito Siche Jara

Siche.J.R@gmail.com

Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo.
Av. Juan Pablo II s/n. La Libertad, Peru.

Enrique Ortega Rodríguez

ortega@fea.unicamp.br

Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada – DEA/FEA -Universidade Estadual de Campinas. CEP: 13083-862, Campinas/SP, Brasil.

Jorge Isaías Llagostera Beltran

llagost@fem.unicamp.br

Departamento de Energia – DE/FEM – Universidade Estadual de Campinas.
Caixa Postal 6122 CEP: 13.083-970 – Campinas/SP , Brasil.

Sustentabilidade Econômica

Objetivos:

Propor dois indicadores termodinâmicos: um baseado na emergia e outro baseado na exergia; para avaliar a sustentabilidade de sistemas econômicos.

Resumo

Neste estudo, os conceitos termodinâmicos (emergia e exergia) foram usados para propor dois indicadores que permitem analisar a sustentabilidade de um sistema econômico: a Renovabilidade Emergética (RENEM) e a Renovabilidade Exergética (RENEX). Esta proposta foi baseada na premissa que somente sistemas ou processos com alto uso de recursos renováveis são sustentáveis. Para validar nossa proposta foram utilizados dados da economia do Peru do ano 2004. O primeiro passo nestas análises é considerar o sistema econômico do país sob análise como um sistema termodinâmico aberto. Os seguintes passos consistem em diagnosticar o sistema e contabilizar todos os fluxos que ingressam e saem. Todo fluxo foi convertido a unidades de energia (J), primeiro, e logo a emergia (seJ) e exergia (eJ). Para isto, se utilizaram o fator “transformidade” e o fator “exergético”, respectivamente. Finalmente, índices emergéticos e exergéticos foram calculados que dão uma leitura da situação ambiental do país. Estes índices, segundo nosso enfoque, indicam que o sistema econômico peruano está dentro dos lineamentos para ser considerado sustentável, com stress e carga ambiental baixos. Estas metodologias termodinâmicas resultam em boas opções para analisar a sustentabilidade de um sistema econômico sob ponto de vista do uso de seus recursos naturais.

Palavras chave: Emergia, exergia, sustentabilidade, renovabilidade, Peru.

Introdução

Todos os processos na natureza podem ser convertidos em energia equivalente, pois a energia constitui o principal substrato para as operações e modificações de todos os ecossistemas. É possível assumir que a medição apropriada dos fluxos energéticos em ecossistemas poderia permitir-nos analisar qualquer sistema ecológico ou econômico (Odum, 1996).

Análise emergética é uma forma de fazer a contabilidade de sistemas produtivos agrícolas, pesqueiros, florestais, agro-industriais ou de qualquer tipo de sistema, levando-se em consideração quanto a natureza gasta para produzir os insumos que o sistema produtivo usa. A emergia é toda a energia utilizada para a produção de um recurso. Para fazer a análise emergética de um sistema, todas as energias envolvidas na produção são transformadas em um mesmo tipo de energia, a emergia.

A exergia através de uma sociedade pode ser descrita segundo a classificação seguinte: fluxos exergéticos naturais (principalmente insolação), fluxos exergéticos importados e exergia dos estoques locais (ver Fig. 1). A maior parte dos requerimentos exergéticos vem dos estoques de exergia terrestre (fundos e Depósitos). A sociedade industrial só usa uma muita pequena parte do

fluxo de exergia direta do sol, por exemplo, na agricultura e floresta. A limitada quantidade de estoques de exergia sobre um país esta indicada por um tanque, que contem os fundos e os depósitos. Segundo Wall e Gong (2001) os estoques podem se dividir em depósitos (combustíveis fósseis, metais e minerais) e fundos (florestas, represas de água, etc.).

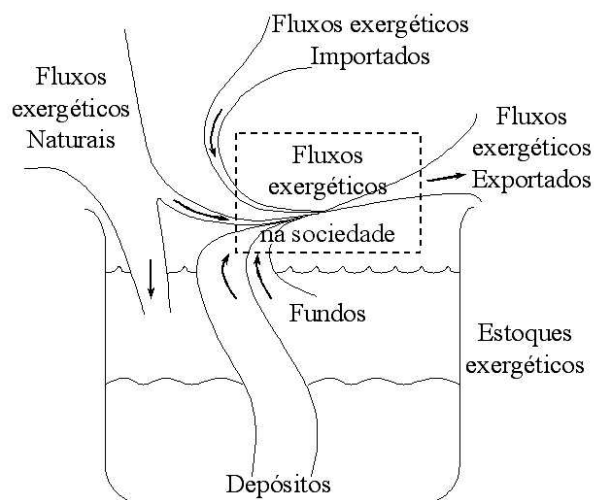


Figura 1. Fluxos exergéticos sobre um país (adaptado de Wall e Gong, 2001)

Metodologia

Para validar nossa proposta, foram pegos dados da economia do Peru, ano 2004. Neste trabalho se escolheu a fronteira do Peru como o volume de controle do sistema sob análise. Sendo que, para uma melhor análise dos dados, o sistema foi dividido em dois sob volumes de controle: econômico e ecossistêmico. O econômico (com linhas a traço, figura 2) nós permite avaliar a eficiência e sustentabilidade econômica. O ecossistêmico (com linha completa, figura 2) nós permite avaliar a eficiência ecossistêmica. As entradas à economia estão dadas pelos recursos renováveis (R) e não renováveis (N), bens e serviços que são importados (I) e os fluxos monetários produto das exportações (\$E). Os fluxos de saída da economia correspondem aos produtos e serviços que são exportados (E) e o dinheiro pago pelas importações (\$I). As entradas ao ecossistema estão dadas pelos recursos naturais renováveis (RN), bens e serviços importados (I) e os fluxos monetários produto das exportações (\$E).

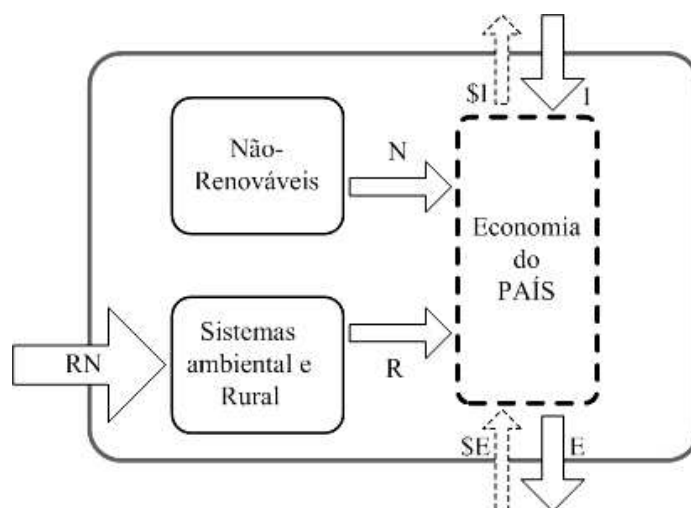


Figura 2. Fluxos das entradas e saídas num sistema nacional.

O consumo de qualquer recurso foi calculado pela seguinte fórmula:

Eq. 1

$$\text{Consumo} = \text{Produção} + \text{Importação} - \text{Exportação}$$

Os seguintes passos consistem em diagnosticar o sistema e contabilizar todos os fluxos que ingressam e saem. Todo fluxo foi convertido a unidades de energia (J), primeiro, e logo a energia (seJ) e exergia (eJ). Estes passos são explicados a continuação.

Analise emergética

Na aplicação da análise emergética à uma economia nacional, consideraram-se três principais etapas:

Primeiro, o sistema foi definido, as fronteiras delimitadas e, um diagrama sistêmico foi elaborado representando os principais componentes, fluxos e recursos energéticos.

Segundo, se identificou cada fluxo no sistema, classificá-los em renováveis, não renováveis, materiais e serviços que utiliza a economia. Eles são quantificados em termos de energia.

Terceiro, a energia solar de cada fluxo foi calculado por multiplicação de energia em Joules (ou diretamente de sua massa) pelas transformidades. Estas transformidades são derivadas de estudos prévios que tem avaliado os fluxos energéticos e eficiências de conversão envolvidas na produção de recursos naturais, produto ou serviços.

Finalmente, indicadores e/ou índices emergéticos são calculados para avaliar ao sistema.

Analise exergética

Exergia para um sistema dado é definido como a máxima quantidade de trabalho que pode ser extraído de um sistema no processo de atingir o equilíbrio com seu ambiente local, escolhendo ter um rolamento direto sobre o comportamento do sistema com respeito a escalas de tempo e cumprimento, dependendo dos objetivos e conhecimentos observados (Wall, 1977) isto é,

$$E_x = T_0 (S_{eq}^{tot} - S^{tot}) \quad \text{Eq. 2}$$

onde T_0 é a temperatura do meio ambiente, S_{eq}^{tot} e S^{tot} são as entropias em equilíbrio termodinâmico e a um dado desvio do equilíbrio, respectivamente, do sistema local como uma combinação do sistema específico e seu ambiente local.

O conteúdo exergético dos diferentes recursos materiais e energéticos foi representado em detalhe por Wall (1977). A exergia química, de substâncias e materiais, está dada pela seguinte equação:

$$E_x = \sum_i n_i (\mu_i - \mu_{i0}) + RT_0 \sum_i n_i \ln \frac{c_i}{c_{i0}} \quad \text{Eq. 3}$$

onde n_i é o i-ésimo número de moles μ_i é o potencial químico da substância i no seu estado atual, μ_{i0} é o potencial químico da substância i no seu estado meio ambiental, c_i é a concentração química da substância i no seu estado atual e c_{i0} é a concentração química da substância i no seu estado meio ambiental. Assim, as magnitudes da exergia de um sistema dependem dos estados do sistema e o meio ambiente.

No caso de recursos da economia, exergia representa o trabalho físico máximo que pode ser extraído quando eles se interligam com seu meio ambiente. O trabalho de Hermann (2006) serviu de referência para quantificar os recursos renováveis e não renováveis no sistema avaliado. Foi usada a

proposta de Sciubba (2001) para determinar o valor exergético dos fluxos monetários (serviços em importações ou exportações, turismo, etc.):

$$E_C = C * \frac{E_{IN}}{C_{REF}} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde C é o fluxo monetário (dólares ou moeda significativa), E_{IN} é o fluxo exergético total de entrada e C_{REF} é a quantidade monetária de referencia. Neste trabalho se adotou o a liquidez do sistema econômico analisado para o ano 2004 foi de 22706 milhões de dólares (MEF, 2005).

Finalmente, propuseram-se indicadores exergéticos que permite avaliar o desempenho do sistema.

Resultados e Discussão

As energias do nuclear, vento, das ondas, das marés e geotérmica têm contribuições ínfimas e não são contabilizadas nas estatísticas nacionais. A mesma situação ocorre com aquecimento solar ativo.

Ponto de vista emergético

A figura 3 mostra os resultados do calculo com a análise emergética. As mais importantes emergias renováveis locais foram a produção agrícola e produção pesqueira representando 42 % e 38 %, respectivamente, da emergia renovável local do país (R). O recurso não - renovável mais importante no país foi a perda do solo que representa 88% do total de recursos não – renováveis (N).

O fluxo de emergia importada (Tabela 1, item 4) representa 10% da emergia total usada no sistema. 94% da emergia total exportado (47,1 E+22 seJ/yr, figura 3) é exportada sem uso (44,24 E+22 seJ/ano, figura 3). Isto é muito elevado comparado com países como Estados Unidos (Odum, 1996), Nicarágua (Cuadra e Rydberg, 2000), Suécia (Lagerberg, 1999), Tailândia (Brown e McClanahan, 1996) e Itália (Ulgiate et al., 1994), que exportam 24%, 16%, 7%, 2% e 1%, respectivamente, de emergia sem uso local. Significa uma elevada liberação de recursos naturais sem processar dentro do país. A relação de emergia exportada a emergia importada foi 6,63 (Tabela 1, item 2), sugerindo que Peru está exportando mais emergia do que está importando, que significa perder emergia no comércio internacional. A exportação de emergia em metais (Au, Cu, Zn, Fe, etc.) representa aproximadamente 5,5 vezes o total de emergia importada. Estes resultados indicam que Peru poderia ser classificado como um país do exportador de recursos brutos, já que as exportações do país são compostas principalmente de recursos não processados (metais e pecuários, carne e peixes). Uma porcentagem relativamente alta (32%) da emergia total usada na economia do Peru é derivada das fontes renováveis do país (Tabela 1, item 3). A densidade emergética no Peru (Tabela 1, item 5) foi calculada em 5,36 E+15 seJ/ha e a emergia usada per capita (Tabela 1, item 6) em 2,46 E+16 seJ/pessoa.

Tabela 1. Indicadores emergéticos para o Peru (2004).

Item	Nome do indicador	Expressão	Quantidade
1	Emergia total usada, U	$N0+N1+R+F+G+P2I$	6,88E+23
2	Relação exportações importações	$(N2+P1E)/(F+G+P2I)$	6,63
3	Renovabilidade	$100*(R/U)$	32%
4	Ração de emergia importada	$(F+G+P2I)/U$	0,10
5	Emergia usada por unidade área	U/ha	5,36E+15
6	Uso por pessoa	U/população	2,46E+16
7	Taxa emergia/dólar	$P1=U/GNP$	1,01E+13
8	Racao de carga ambiental (ELR)	$(F+G+P2I+N)/R$	2,17
9	Ração de Rendimento Emergético (EYR)	$U/(F+G+P2I)$	9,69
10	Índice de Sustentabilidade (EmSI)	NYR/ELR	4,47

Finalmente, foram calculados alguns indicadores de desempenho ambiental da economia do Peru: a razão do rendimento emergético - EYR = 9,69, que indica uma habilidade elevada da economia de empregar os recursos locais; e, a razão de carga ambiental - ELR = 2,17, que indica um moderado nível tecnológico como também um moderado de estresse ambiental; os quais, quando combinados resultam no índice de sustentabilidade emergético - EmSI = 4,47, como uma medida geral da sustentabilidade ecológica, que de acordo com Ulgiati e Brown (1998), indica que Peru tem uma economia subdesenvolvida, mas o estresse e carga ambiental baixos. Este resultado é oposto a o que foi encontrado para países como os Estados Unidos (EmSI = 0,48), Suécia (EmSI = 0,19), Itália (EmSI = 0,17) e Dinamarca (EmSI = 0,14) (Ulgiati e Brown, 1998; Lagerberg, 1999; Haden, 2003) que são economias desenvolvidas.

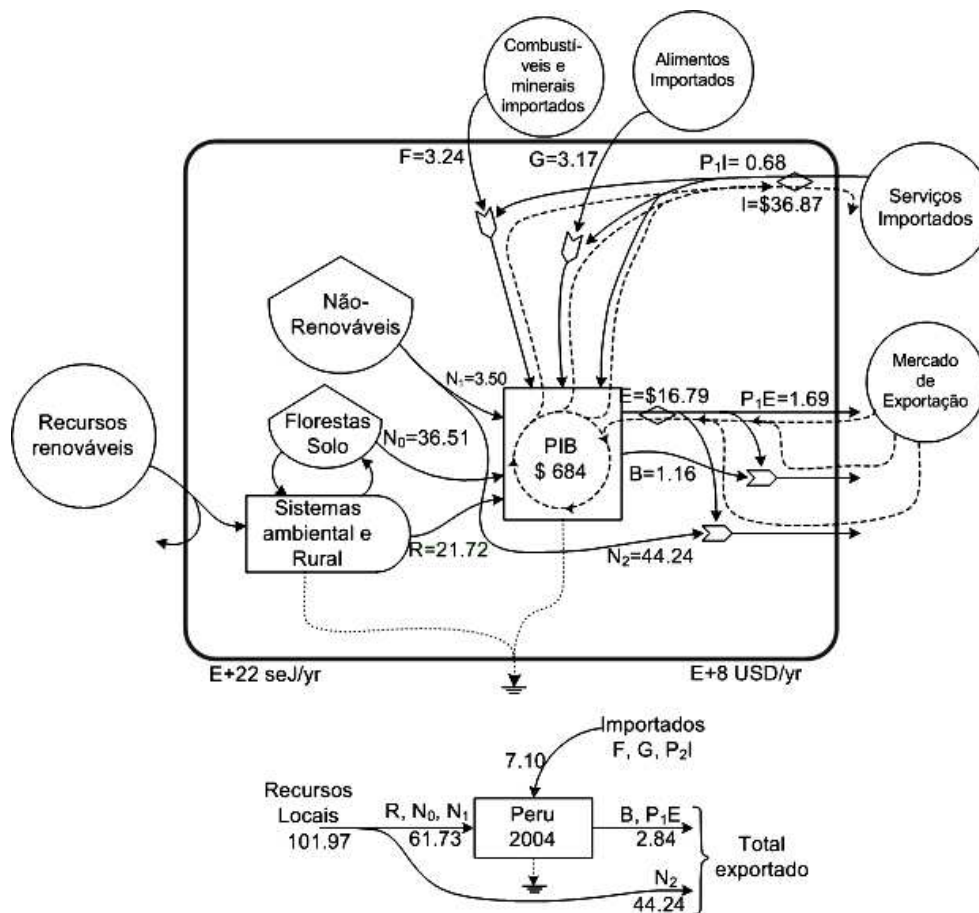


Figura 3. Balanço emergético do Peru, ano 2004 (em E+22 seJ/ano)

Ponto de vista exergético

O único recurso renovável energético que está sendo aproveitado significativamente no sistema é a chuva, cujo valor exergético alcança 7978 PJ ($5,87 \times 10^{18}$ J + $2,11 \times 10^{18}$ J). A da chuva representa aproximadamente 0,1% da exergia total calculada para o sistema (7728 EJ). A energia solar (7703 EJ de exergia) é o recurso com maior exergia que entra ao sistema (99,7% do total), mas que só uma quantidade muito pequena é usada na produção agrícola e florestal. Isto significa que aproximadamente 99% da exergia potencialmente utilizável (sol, vento, chuva, ondas, marés e geotérmica) não estão sendo aproveitados no sistema ou se perdeu.

O fornecimento doméstico de petróleo, carvão e gás natural usados na economia nacional contribui com 382 PJ de exergia, isto significa que 73% da exergia que entra ao sistema econômico peruano são fornecidas por recursos não renováveis. O petróleo resulta sendo o recurso não renovável mais importante utilizado na economia do Peru (54% do total). Isto visualiza ao sistema Peruano como uma economia dependente de recursos fósseis, que a falta destes no seu sistema local os importa de outros países, mostrando assim, uma falta de políticas certas de aproveitamento de seu grande potencial em recursos naturais renováveis (principalmente hidroelétrica). A importação dos combustíveis fósseis (186 PJ) e os serviços em importações (139 PJ) são os fluxos que mais exergia carregam com um 38% e 29% do total importado, respectivamente.

Para o ano 2004 o Peru pagou pelas suas importações um valor CIF de 10.111.473.833 dólares (MEF, 2005) equivalente a 537 PJ de exergia (com equação 4). Este valor exergético é uma quantidade de exergia que saiu do sistema na forma de dinheiro. Entanto, o valor exergético calculado para o total das importações (486 PJ) equivale à exergia que entrou ao sistema embutida nas mercancias e serviços importados. Comparando exergéticamente estes dois valores, pode-se afirmar que se pagou 11% a mais pelas mercancias e serviços importados de seu verdadeiro valor. O valor exergético de metais importados é pequeno (1,5 PJ) comparado com a quantidade de exergia nos metais que são exportados (26,2 PJ), significando um déficit no comercio dos metais. Mais exergia sai do sistema pela exportação de metais que da que entra por importação. No caso das exportações, Peru recebeu um valor FOB de 12.370.096.578 dólares (MEF, 2005) que equivale a 657 PJ de exergia que ingressou ao sistema em forma de dinheiro. Entanto, o valor exergético calculado para o total das exportações (235 PJ) equivale à exergia que saiu do sistema embutida nas mercancias e serviços exportados. Comparando exergéticamente estes dois valores, se recebeu 180% a mais de seu verdadeiro valor, pelas mercancias e serviços exportados.

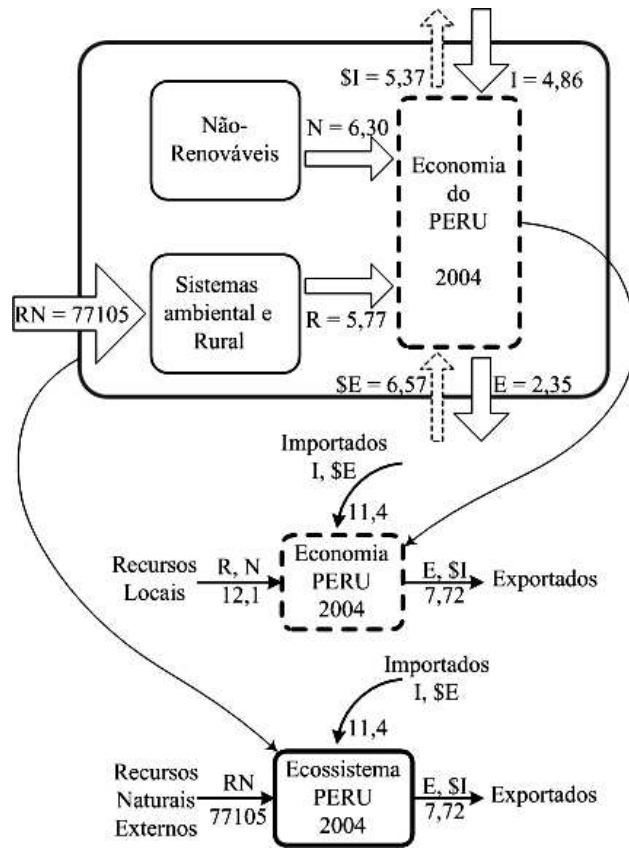


Figura 4. Balanço exergético do Peru, ano 2004 (em E+17 J/ano)

Algo importante de ressaltar em relação às exportações do sistema analisado é o fato de o país ser um exportador de matérias primas e não exportador de materiais finais. Em unidades exergéticas, 37% de suas exportações são matérias primas (produtos agrícolas, pecuários e metais) e somente 2% correspondem a materiais finais.

Na figura 4, pode-se observar o balanço exergético da sociedade analisada. À economia do Peru ingressam 1210 PJ nos seus recursos locais e 1140 PJ são importados de outros países. Em total ingressam 2350 PJ (ou 84 GJ per capita). Com os produtos, serviços e dinheiro que são exportados saem 772 PJ (ou 28 GJ per capita). Isso da uma eficiência exergética da economia do Peru (ϵ_p) de aproximadamente 33%, indicando um bom aproveitamento da energia disponível que ingressa. Com isto, demonstrou-se que na sociedade peruana há em sua totalidade, uma perda de exergia de aproximadamente 67%. Embora, o aproveitamento ecossistêmico (considerando o sol e a chuva como entradas ao sistema) resulta ser de 0,01%, indicando uma perda muito alta de energia disponível, principalmente solar. Sendo que ingressam ao ecossistema 7712 EJ (RN+I+\$E) e saem 772 PJ, existe uma perda exergética de 99,99%. A maior quantidade de exergia perdida é a que provêm do sol (aproximadamente 91%).

Tabela 2. Indicadores exergéticos para o PERU (2004)

Indicador	Fórmula ^(*)	Valor
Eficiência do sistema econômico (ϵ_p)	$\epsilon_p = \frac{E+I}{R+N+I+\$E} \times 100$	32,9
Eficiência ecossistêmica (ϵ_T)	$\epsilon_T = \frac{E+I}{RN+I+\$E} \times 100$	0,01
Índice de renovabilidade exergética (RENEX)	$RENEX = \frac{R}{R+N+I+\$E} \times 100$	26,8

(*) Tomando como referencia a nomenclatura da figura 2.

Todos os trabalhos revisados que avaliam a economia de um país do ponto de vista exergético, desde Reistad (1975) até Chen e Chen (2006), têm utilizado a eficiência exergética como um indicador do nível de degradação da energia. Mas este indicador, segundo nosso ponto de vista, não é suficiente para dizer se o sistema é sustentável ou não. Para complementar este valor, nós propomos neste trabalho o cálculo da Renovabilidade Exergética (RENEX), com base na seguinte premissa emergética: “a sustentabilidade de uma economia é uma função da dependência dessa economia em energia renovável local, o grau de dependência da economia de energia importada, e a carga total da atividade econômica no ambiente” (Brown e Ulgiati, 1997). Como a emergia e a exergia são teorias compatíveis e não excludentes (Sciudda e Ulgiati, 2005) fazemos uso daquela premissa para propor o cálculo da Renovabilidade Exergética (RENEX). Para o Peru, se calculou uma RENEX igual a 27% (Tabela 2), que indica que do total de exergia que se aproveita no sistema econômico o 27% pertence a recursos renováveis locais.

A leitura em conjunto de dois indicadores, a renovabilidade exergética (RENEX) e a eficiência exergética da economia (ϵ_p) colocam ao Peru dentro dos países sustentáveis do planeta segundo nosso argumento. Consideramos que uma eficiência exergética maior a 20% é necessária para o sistema ser considerado de alta eficiência. Por outro lado, uma renovabilidade exergética maior a 20% é necessária para considerar o sistema como sustentável. O fato de o Peru estar na zona limite significa que se as políticas de gestão e manejo de recursos, seu exploração e consumo não são bem dirigidas, considerando aspectos de desenvolvimento sustentável a situação de sustentabilidade para o ano 2004 pode se converter em uma situação de insustentabilidade para anos subsequentes.

Conclusões

Estas metodologias termodinâmicas resultam em boas opções para analisar a sustentabilidade de um sistema econômico sob ponto de vista do uso de seus recursos naturais. Uma RENEM de 32% e

RENEX de 27%, segundo nosso enfoque, indicam que o sistema econômico peruano está dentro dos lineamentos para ser considerado sustentável. Por causa de sua rica disponibilidade de recursos naturais, Peru assentou bem como um produtor de recursos brutos para outros países, porém a sua economia permanece subdesenvolvida e o padrão de vida baixo comparado com alguns países latino-americanos. A economia nacional do Peru precisa de uma mudança com uma reconstrução da sua indústria que exporte principalmente produtos finais e processados. Isto poderia ser conseguido importando menos petróleo, potenciando o uso de recursos energéticos renováveis e desenvolver a economia baseados na promoção e exportação de recursos com valor agregado. Esta estratégia poderia realçar o padrão e a qualidade de vida no Peru sem depredar o meio ambiente.

Referências

- BROWN, M.T., McCLANAHAN, T.R. Emergy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. *Ecol. Model.* 91: 105 – 130, 1996.
- CUADRA, M., RYDBERG, T. Emergy evaluation of the environmental and economy of Nicaragua. *Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology*. M. T. Brown. Gainesville, Fl., The Center for Environmental Policy, University of Florida: 289 – 301, 2000.
- HADEN, A. Emergy Evaluation of Denmark and Danish Agriculture – Assessing the Limits of Agricultural Systems to Power Society. *Ecological Agriculture* 37. Centre for Sustainable Agriculture Sciences S-750 07 Uppsala, 2003.
- LAGERBERG, C. Emergy analysis of the resource use in greenhouse crop production and of the resource basis of the Swedish economy. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Science. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria* 191, 1999.
- ODUM, H.T. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making* New York, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- ULGIATI, S., BROWN, M.T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling* 108: 23 – 26, 1998.
- BROWN, M.T., ULGIATI, S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecol. Eng.* 9, 51–69, 1997.
- CHEN, B., CHEN, G.Q. Exergy analysis for resource conversion of the Chinese Society 1993 under the material product system. *Energy*, 31: 1115-1150, 2006.
- HERMANN. Quantifying global exergy resources. *Energy*, 31(12): 1349-1366, 2006.
- MEF, 2005. Estadísticas Econômicas. Ministério de economia e Finanças. Disponível em <http://www.mef.gov.pe/propuesta/OFINE/estadistica_economica.php>. Acesso em: 20, jul 2005.
- REISTAD, G.M. Available energy conversion and utilization in the United States. *ASME J Eng Power*, 97: 429 – 434, 1975.
- SCIUBBA, E. Beyond thermoeconomics? The concept of Extended Exergy Accounting and its application to the analysis and design of thermal systems. *Exergy Int J*, 1(2):68-84, 2001.
- SCIUBBA, E., ULGIATI, S. Emergy and exergy analyses: Complementary methods or irreducible ideological options?. *Energy*, 30:1953-1988, 2005.
- ULGIATI, S., ODUM, H.T., BaASTIANONI, S. Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy. *Ecol. Model.* 73: 215-268, 1994.
- WALL, G. Exergy – a useful concept within resource accounting. Report No. 77-42, Institute of Theoretical Physics, Chalmers University of Technology and University of Goteborg, Sweden, 1977.
- WALL, G., GONG, M. On exergy and sustainable development – Part 1: conditions and concepts. *Exergy Int J.*, 1(3): 128-145, 2001.

*Apêndice 10. Artigo: Ecological Footprint based on Emergy (EEF):
Peru as case study.**

-
- * Artigo apresentado no International Footprint Conference: New Developments in Ecological Footprinting Methodology, Policy and Practice. 8-10 May 2007. City Hall, Cardiff, Reino Unido. In: http://www.brass.cf.ac.uk/uploads/Ortega_Siche_A53.pdf. Submetido para publicação no Jornal Ecological Modelling.

Ecological Footprint based on Emergy (EEF): Peru as case study

Raúl Siche ^{a,*}, Feni Agostinho ^b, Enrique Ortega ^b

^aEscuela de Ingeniería Agroindustrial – Facultad de Ciencias Agropecuarias.
Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n. C. Universitaria, Trujillo, Perú.

^bEcological Engineering Laboratory, Food Eng. School, State University of Campinas
(Unicamp). Cx. Postal 6121, CEP 13083-862, Campinas, SP, Brazil.

ABSTRACT

In recent years, two scientific tools for measuring human impact on nature appeared: Ecological Footprint (EF) and Emergy Analysis (EMA). Their methods are different, but they aim to solve the same problem: estimate the gap between natural resources production and human demand. Our hypothesis is that it is possible to combine them; thus, in this study the impact of Peruvian society on environment was analyzed using Ecological Footprint based on Emergy (EEF). The biocapacity was estimated as a function of primary renewable resources available for Biosphere (Solar radiation, Earth deep heat and Moon gravity force). The consumption was calculated as Production plus Imports minus Exports. The consumption was grouped in categories: cropland (including cultivation and soil loss), grazing, forest, fishing, built-up, fossil energy, hydroelectricity and domestic water. All the exergy flows of Peruvian Economy were calculated in joules and transformed into solar emergy (seJ/year) using the conversion factor called “Transformity” (seJ/J). The emergy flows were divided by the “global emergy density” (seJ/gha) to obtain “equivalent global area”. Biocapacity was estimated as being 58.8 gha/capita and footprint as 20.5 gha/capita, with data of 2004. According to EEF, Peru can support a population 2.87 times bigger (present life style maintained), in opposition to the value of 4.26 obtained with conventional EF, therefore the result reveals a worse situation. EEF is easy to calculate if data is available. The limitations of new method are: (a) the values of transformity and renewability need to consider production model and show variation with time; (b) comparison of ecological gap within categories should be made possible by research effort.

Abbreviations

BC: Biocapacity

EF: Ecological footprint

EF-GAEZ: Ecological footprint based on GAEZ suitability indices

EF-NPP: Ecological footprint approach that employs net primary productivity

EEF: Ecological footprint approach based on emergy

EMA: Emergy Analysis

ENPP: Emergy net primary productivity

EQF: Equivalence factor

GAEZ: Global agricultural ecological zone

GDP: Gross domestic product

gha: Global hectare

Gt C: 109 ton of carbon

NPP: Net primary productivity

1. Introduction

A standard for the world scientific community concerning a methodology to evaluate the sustainability of a national economy don't exist (Siche et al., 2007a), but two methodologies are considered as good alternatives: Ecological Footprint (EF) and Emergy Analysis (EMA). The first one is able to transmit its results in a language that people can understand easily, while the strong point for the second one is the capacity to account all the work done by nature in the production of resources used by the economy.

The EF is a tool very used by world community, stimulated by its didactic way to show the impact of society on the nature as the area needed to support consumption. Even so the

* Tel.: +51 44 294778; Fax: +51 44 294778; E-mail: raul_siche@hotmail.com

EF received very criticisms, as it happens with all the tools that evaluate the sustainability (Levett, 1998; van den Bergh and Verbruggen, 1999; Ayres 2000; Moffatt 2000; Opschoor 2000; Rapport 2000; van Kooten and Bulte 2000; Pearce, 2000; Venetoulis and Talberth, 2007; Wiedmann and Lenzen, 2007; Lenzen et al., 2007).

The Ecological Footprint also known as EF-GAEZ because it uses indices from Global Agricultural Ecological Zones prepared by FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations Organization). The GAEZ indices are used to calculate the Equivalence Factor. But, this factor underestimates important processes that increase footprint and reduce biocapacity. The EF authors recognize these faults (Wackernagel et al., 2002). EF-GAEZ deficiencies are described in the following lines:

- (a) The method accounts each area only one time, even if the area supplies two or more ecosystem services (except for forest areas that are accounted two times: one as bioproductive area to supply forest products and as available area to absorb CO₂ emissions (Monfreda et al., 2004)). Even so the forest areas supply other ecosystems services that aren't accounted in biocapacity as: maintenance of hydrologic cycle; top soil conservation; filtration of solid and atmospheric pollutants; etc. The ocean, the crop lands and the pasture areas also absorb CO₂ from atmosphere and need be accounted, even in low proportion confronted to forest areas. The ecosystems areas that have low productivity (mountain; desert; tundra; ice land; etc.) aren't accounted in EFGAEZ (Venetoulis and Talberth, 2007), but must be considered in the biocapacity calculation because they produce ecosystems services. Thus, the EF-GAEZ uses to make a conservative estimative;
- (b) The EF-GAEZ accounts fossil fuel through CO₂ emissions even it is possible to evaluate this footprint by the area demanded to sustain the alternative production of bio-fuel (fuel from biomass). This methodology assume a carbon sequester ratio of the 0.95 t C/ha/year (Wackernagel et al., 2005). This ratio is based in the quantify of CO₂ absorbed by forests from 1980 to 1990, not considering the CO₂ absorbed by others ecosystems and assuming that the ratios did not change at that time period;
- (c) The EF-GAEZ tool does not consider the embodied energy in materials and services. Some studies about embodied energy suggested that current footprint could be approximately 30% larger (Loh, 2002). This author recognizes the importance of improving the methodology in this sense. This will result in more accurate indices;
- (d) The EF-GAEZ doesn't account the footprint derived from water use. Water capture can be considered a secondary function in some places of the world, but in others as arid zones (where water is a limited factor) the human use competes with primary functions of ecosystem. Besides that, today, half of the water supplied by rivers and lakes is used in human processes (Hassan et al., 2005);
- (e) The EF-GAEZ doesn't considers some important aspects of sustainability as top soil loss, production of solid residues, liquid effluents and gas emissions (nowadays, it only considers CO₂ emission). The soil erosion and excessive production of garbage can damage primary functions of ecosystems, thus, it's very important to know the impact about these processes. However is hard to find data about these impact and the results underestimate the true impact on the environment due to human activities.

Emergy Analysis (EMA) is a more robust tool than EF because it accounts other flows that influence sustainability as wastes, soil loss, deforestation, etc. Even so, the EMA presents deficiencies related to criteria and accuracy that are discussed in the following lines:

- (a) EMA don't define which one is its sustainability indicator, it could be the Renewability (REN) (Brown and Ulgiati, 2004) or Emergy Sustainability Index (EmSI) (Ulgiati and Brown, 1998);
- (b) Nowadays, EMA don't possess standards. For example, some authors indicates that in a long time perspective systems with high values of REN are sustainable (Brown and Ulgiati, 2004), but what is the minimum value of REN to be considered sustainable? For process and products the use of EmSI index is more enlightening. Brown and Ulgiati (2002) indicate that for EmSI below 1, the products and processes aren't sustainable at a long time period, while they are rather sustainable if EmSI attains 1, and clearly sustainable for EmSI above 5;
- (c) Until this moment, for country evaluation, EMA doesn't have a satisfactory method to determine the volume of renewable flows. EMA considers only the biggest renewable flow among the renewable flows to avoid double account (Odum, 1996). This may be a temporary solution to estimate the extern renewable inflows used by systems, but right now the methodology does not consider the flows from natural capital stocks (environmental services) that contribute for the health of economic systems without monetary payments;
- (d) One limitation of EMA is scarcity of information on emergy indicators (mainly transformity and renewability) for many resources and processes. Moreover, transformity changes with time and, because of that, when studying the system dynamics through time, the results could lack accuracy.

By far, strong points overcome weakness of these two methodologies but to know their limitations and advantages allow their mutual improvement. The objective of this work is a proposal for a convergent methodology between EF-GAEZ and EMA that we call Ecological Footprint Based on Emergy (EEF).

2. Proposed method

A new methodology based on EF-GAEZ and EMA was originally proposed by Zhao et al. (2005) and used by Siche et al. (2007b) to make a diagnosis of Peru national system using 2004 data. The method proposed by Zhao et al. (2005) is very interesting because introduces EMA on EF, but maintains the problems detected in the original methodologies. The work of these researchers presents many conceptual deficiencies as to consider the biocapacity as the biggest renewable emergy flow. From the point of view of Emergy Methodology (Odum, 1996) this procedure could be valid only to calculate the quantity of the renewable resources that the systems consume, but not to calculate the total quantity of natural capital (biocapacity). In other words, the proposal of Zhao et al. (2005) considers a biocapacity based on the renewable external flows and does not include the flows derived from available internal stocks.

In this paper, it was used the Zhao et al. (2005) proposal with some conceptual ideas from EF-GAEZ (Wackernagel et al., 2005). The Zhao et al. (2005) proposal is simple and consist in calculating biocapacity as renewable resources and the footprint as the system consumption. All the flows were calculated as energy flows, in Joules (J) and after that converted to solar Emjoules (seJ) using the transformity as conversion factor. Finally, using emergy density (seJ/ha – global for biocapacity and local for consumption), the flows were converted into area (ha). It is necessary to point out that the EF-GAEZ and EMA deficiencies still remain. We introduce in the present work only four changes to improve the proposal of Zhao et al. (2005):

- (a) Calculation of biocapacity as function of renewable resources available, considering solar energy, geothermal energy, gravitational energy and biomass stock energy. We propose here a standard procedure to calculate the biocapacity of a system. This procedure is the basis of the biocapacity calculation in the present paper;
- (b) To consider the total area of evaluated systems. The EF-GAEZ considers only a fraction of the total area;
- (c) A percentage of 14.2% in biocapacity area to cover other species needs. It corresponds to the size of protected territories in Peru for biodiversity preservation (INRENA, 2006). It could be more, for instance 25% or 50%;
- (d) To include two important categories concerning natural resources use: top soil loss and water consumption. These categories aren't accounted by EF-GAEZ but are very important to obtain more accurate results.

2.1. Biocapacity (BC) calculation

The biocapacity should be calculated as function of available renewable resources. The quantity of renewable resources for Peru was calculated accounting the following sources: solar; gravitational; geothermal and biomass. EF-GAEZ accounts the sum of bioproductive areas of a national system. The calculation for Peru can be observed in Appendix 1.

The conversion of energy to emergy flows is realized using the transformity:

$$Energy (seJ) = Energy\ of\ resource\ (J) \times Transformity\ of\ resource\ (seJ/J).$$

After that, the emergy per capita is calculated through the division of the each emergy flow by population of the country. To obtain the biocapacity per capita (BCp) in units of area, we divide the emergy of biocapacity per capita (EMBp) of each flow by global emergy density (GED) which is $3.1E+14$ seJ/gha (Zhao et al., 2005).

$$BCp\ (gha/people) = EMBp\ (seJ/people) / GED\ (seJ/gha)$$

Finally, the flows in global hectares per capita are added to subtract the 14.2% destined to preservation of other species. The value obtained represents the biocapacity available in global hectares per capita of the evaluated system.

2.2. Footprint (EF) calculation

The consumption was divided in seven categories: agricultural (food and soil loss); pasture; fishing; wood and firewood; nonrenewable energy resources; hydroelectricity; water for human use. The consumption of each category (except for soil loss and water) was calculated through the following expression:

$$Consumption = Production + Importation - Exportation.$$

The soil loss category (SL) in Joule was obtained using the following equation where organic matter is estimated as 3%:

$$SL\ (J) = SL\ (g/m^2/year) \times area\ of\ crop\ (m^2) \times organic\ matter \times 22604.4\ (J/g)$$

Water category was accounted as treated water (1.68 billion m^3 or $8.30E+15$ J) that supplies domestic consumption. Water is used also by industries, agriculture and cattle production, but we assumed that this quantity was small when compared with the domestic use. This hypothesis should be confirmed in future studies.

The procedure to convert each flow in global hectares is similar to that used to calculate BC in this paper. Each consumption category was expressed in Joules and converted into emergy through transformity. The emergy per capita was obtained dividing by the number of Peruvian population. The global emergy density (GED) was used to convert each category to global hectares.

The use of GED is different than the use of local emergy density (LED) as proposed by Zhao et al. (2005). In other words, to use LED (in seJ/ha, where ha is equivalent to local

hectares) correspond to obtain a footprint in local hectares and to use GED (in seJ/ha, where ha is equivalent to global hectares) corresponds to obtain a footprint in global hectares. The footprint obtained using GED has the same basis used for biocapacity, so they can be compared.

3. Results and Discussion

As mentioned before, the objective of this work was to introduce new issues in the conventional EF calculation and reduce some deficiencies criticized in papers, but always looking for the convergence between EF-GAEZ and EMA. In the EEF methodology, EMA has more importance than EF-GAEZ because all flows are used in emergy units, but the result is expressed in global hectares. The biocapacity is the biosphere regenerative capacity (WWF, 2005). In a different way than conventional footprint calculation, the biocapacity can be calculated as function of renewable resources. Table 1 shows the biocapacity calculation and the Figure 1 shows the emergy diagram for Peru. In terms of energy (Joule) the sun supplies the biggest quantity of energy (96.1%) but in terms of solar emergy (solar Emjoules) it supplies only 1.3%. The renewable emergy flows, that define biocapacity, are: biomass, gravitational and geothermic sources (48, 30 and 20%, respectively).

{TABLE 1 COULD BE HERE}

Peru Biocapacity obtained using EEF method is 58.8 gha/Peruvian. As it can't be separated in the same categories used in footprint calculation, they can't be compared that way. Biocapacity calculated through the EF-GAEZ resulted in 3.6 gha/Peruvian in 2004 (Siche, 2007). Venetoulis and Talberth (2007) obtained a biocapacity of the 30.1 gha/Peruvian considering the EF-NPP methodology with data for 2001. We believe that the biocapacity calculated through EF-GAEZ underestimates Peruvian resources, because some ecosystems weren't accounted.

{FIGURE 1 COULD BE HERE}

A controvertible element is the ratio considered for biodiversity protection. Many papers suggest a ratio of in accordance with biologic diversity conservation, cultural and landscape maintenance and ecosystems services (Rojstaczer et al., 2001; Levin and Levin, 2002; Rodrigues, et al., 2003; Mittermeier et al., 2005). The natural areas protected In Peru corresponds to 14.2% of the total territory (INRENA, 2006) and we decided to subtract this ratio on the biocapacity calculation (9.73 gha/person – Table 1). Venetoulis and Talberth (2007) used a ratio of 13.4%. Even so we believe that this ratio is low to warrant maintenance of ecologic well-being.

Table 2 shows the footprint results of Peru consumption using EEF and data for 2004. The most important category is food from agriculture (9.7 gha/Peruvian) that corresponds to 47.4% of total footprint; the second one is non-renewable energy resources (3.6 gha/Peruvian) that correspond to 17.5% of total footprint. These results are in accordance with some papers published that indicate the crop category as the most important in total footprint of nations (41% of total footprint: Loh and Wackernagel, 2004; 45% of total footprint: Hails et al., 2006). It is important to point out that in EEF it was accounted the subcategory soil loss (inside the crop category) as one element that has large influence in sustainability. Even small, the soil loss footprint has almost the same value (0.92gha/person) than the water consumption footprint (1.1 gha/person) and the fishing products footprint (0.97 gha/person). Moreover, it is larger than some fossil fuel footprint (0.18 gha/person by coal; 0.3 gha/person by natural gas).

{TABLE 2 COULD BE HERE}

One result that needs attention is the small value obtained by fishing footprint (0.97 gha/person or 4.7% of total footprint). It is recognized that this activity in Peru became unsustainable (Pascó-Font, 1999; Talberth et al., 2006) but in accordance with the results obtained in this paper, the impact of this activity isn't alarming as those authors claim. A possible answer for this contradiction is that those authors considered fishing production and not the fishing consumption as is made by EEF and EF-GAEZ that consider exported footprint (consumption = production + imports - exports). For INEI (2006) approximately 95% of fishing extraction by Peru is exported or, in other words, 95% of the Peru fishing footprint is exported.

The forest resources consumption footprint possess the minor value between the categories analyzed (1.1% of total footprint). This result is in accordance with other papers (Loh and Wackernagel, 2004; Hails et al., 2006). The petroleum consumption is the most important category of the energy resources (87% of total energy resources footprint) and shows that Peru depends on this resource. This fact will not change soon because politics adopted by governments do not consider the long range period. Many researches believe that the "Camisea" gas project will change the energy base in next years (CAN, 2004) but the Peruvian economy will continue dependent from nonrenewable energy resources.

The hydroelectricity footprint (0.86 gha/person) represents 4.2% of total footprint. This value is different from value found by Loh and Wackernagel (2004) and by Venetoulis and Talberth (2007) (1.1% by EF-GAEZ; 1.6% by EF-NPP). We believe that exist a distortion element in the calculation of these category and that could be the transformity used ($1.11E+05$ seJ/J, Brown and Ulgiati, 2004). These authors calculated the hydroelectric power transformity accounting labor and other services for produce it. Odum (1996) used for USA system in 1983 a electric power transformity of the $1.59E+05$ seJ/J, that actualized by 1.68 factor is equivalent to $2.67E+05$ seJ/J. The development countries possess biggest Transformity than countries more poor, so the hydroelectric energy Transformity used in the footprint calculation for Peru would have to be lesser. We can affirm that each country needs to have its Transformity because its characteristics (technology; labor; energetic base; etc.) has influence on the emergy used and consequently in its Transformity.

A new category accounting in EEF is water for domestic consumption that includes collection, treatment, transport and supply. Water for industrial and agricultural consumption wasn't accounted because its footprint is small (Jenkin and Stentiford, 2005). The footprint for water consumed by Peru population was 1.1 gha/person (5.4% of total footprint). This value is similar to fishing footprint (0.97 gha/person or 4.7% of total footprint).

Through the same criteria used in traditional Ecological Footprint assessment (ecologic balance = biocapacity – footprint), the EEF shows that Peru has a positive ecologic balance: $58.8 - 20.5 = 38.3$ gha/person (Figure 2). This means 38.3 gha/person of ecological surplus. This value is very greater than the values published using traditional Ecological Footprint (3.4 gha/person in 2001, Loh and Wackernagel, 2004; 3.0 gha/person in 2003, Hails et al., 2006).

{FIGURE 2 COULD BE HERE}

We can't conclude that the results are best through the EEF than traditional Ecological Footprint. Venetoulis and Talberth (2007) obtained an ecologic balance of the 23.1 gha/person for Peru using the EF-NPP method, while Hails et al. (2006) obtained 3.0 gha/person using the EF-GAEZ method. In the present paper the value obtained was 38.3

gha/person. One better analysis is realized through the division of biocapacity values by footprint values (BC/EF) called the load capacity factor.

BC/EF answers: The territory can support its population with its present life style?

BC/EF > 1 means that the system is sustainable.

BC/EF < 1 means that it is unsustainable.

Analyzing BC/EF ratio obtained with different methodologies (Figure 3) it is possible to observe that Peru ecological situation shows best performance through the EF-NPP (BC/EF = 4.26). This means that in 2001 the Peruvian territory had the capacity to support 4.26 times its population without causing damage to the environment and considering the life style of that year. The Emergy Analysis (EMA) where biocapacity is accounted as renewable resources flow (seJ) and footprint as emergy used by the country (seJ), showed the worst value because the load capacity factor was 1.21 (Siche, 2007), close to the borderline of sustainability.

Ferguson (2003) calculated the load capacity for 147 countries around the world through data obtained from Living Planet Report 2002 (Loh, 2002). The author found the value of 4.35 gha/citizen for the Peru biocapacity so, we can estimate that the load capacity factor obtained by Ferguson is close to 4.05 as was calculated by Hails et al. (2006) using the EF-GAEZ method.

{FIGURE 3 COULD BE HERE}

The EFF method proposed in this paper shows an intermediary value for load capacity factor (2.87), a value between EF-GAEZ and EMA, maybe as result of the convergence of these two methodologies, but more close to EMA than to EF-GAEZ.

4. Conclusions

The ecologic balance results obtained with Ecological Footprint Based on Emergy (EEF) for Peru show a worst performance than EF-GAEZ and EF-NPP. The EEF have some limitations that demand future discussion. Mainly the impossibility to do comparisons between the categories, as is common in EF-GAEZ and EF-NPP. Other limitation is transformity values used to calculate the footprint, that need to represent the complete process of product transformation and its variation on time. On the other hand, a strong positive point is its easiness of application in global scale because the data on renewable resources and consumption is available. Using EEF for Peru with 2004 data, the load capacity factor is 2.87. This means that Peru territory had capacity to support almost three times its population without causing damage on environment, considering the population life style in that year

REFERENCES

- Ayres R.U., 2000. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 32, 347-349.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecol. Eng.* 9, 51-69.
- Brown, M., Ulgiati, S., 2004. Emergy Analysis and Environmental Accounting. *Encyclopedia of Energy*, 2:329-353.
- CAN – Comunidad Andina de Naciones, 2004. Bases de la Alianza Energética Andina – Antecedentes para su formulación. Available at http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/DTrabajo/SGdt256_R1.doc

- FAO, 2005. Global Forest Resources Assessment. Extent of forest and other wooded land 2005.
- Ferguson, A., 2003. Sustainable populations by country. Optimum Population Trust. Available at <http://www.optimumpopulation.org/opt.sustainable.numbers.html>
- GFN – Global Footprint Network, 2006. Humanity's Footprint 1961 - 2003. Available at http://www.footprintnetwork.org/gfn_sub.php?content=global_footprint
- Hails, C., Loh, J., Goldfinger, S. (Eds), 2006. Living planet report 2006. World Wide Fund for Nature International (WWF), Zoological Society of London (ZSL), Global Footprint Network, Gland, Switzerland.
- Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (Eds), 2005. The Millennium Ecosystem Assessment. ISLAND PRESS. NW, Washington, DC. Available at <http://www.millenniumassessment.org/>
- Haden, A., 2003. Emergy evaluation of Denmark and Danish Agriculture – Assessing the limits of agricultural systems to power society. Centre of Sustainable Agriculture Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. Ecological Agriculture 37.
- Henry, S. G., Pollack, H. N. (1988): Terrestrial Heat Flow Above the Andean Subduction Zone in Bolivia and Peru. *Journal of Geophysical Research*, 93:15153–15162.
- INEI – Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2006. Peru: Compendio Estadístico 2005. Available at <http://www.inei.gob.pe/biblioinei.asp>
- INRENA – Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2006. Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. Lima, Peru. Available at http://www.inrena.gob.pe/index_inicio.htm
- Jenkin, N., Stentiford, C. (Eds), 2005. Stepping Forward: A resource flow and ecological footprint analysis of the South West of England. Technical report. Best Foot Forward Ltd, The Future Centre, Oxford, United Kingdom. Available at <http://www.stepsforward.org.uk/ef/index.htm>.
- Lassen, K., Friis-Christensen, E., 1995. Variability of the solar cycle length during the past 1ve centuries and the apparent association with terrestrial climate. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 57, 835–845.
- Laut, P., 2003. Solar activity and terrestrial climate: an analysis of some purported correlations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 65, 801– 812.
- Lenzen, M., Borgstrom, C., Bond, S., 2007. On the bioproductivity and land-disturbance metrics of the Ecological Footprint. *Ecological Economic* 61, 6 - 10.
- Levett R., 1998. Footprinting: a great step forward, but tread carefully. *Local Environment* 3(1), 67-74.
- Levin, P., Levin, D., 2002. The real biodiversity crisis. *American Scientist* 90, 6-6.
- Loh, J. (Ed), 2002. Living planet report 2002. World Wide Fund for Nature International (WWF), UNEP World Conservation Monitoring Centre, Redefining Progress, Center for Sustainability Studies, Gland, Switzerland.
- Loh, J., Wackernagel, M. (Ed), 2004. Living planet report 2004. World Wide Fund for Nature International (WWF), UNEP World Conservation Monitoring Centre, Global Footprint Network, Gland, Switzerland.
- Mittermeier, R., Robles, P., Hoffman, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C.G., Lamoreux, J., da Fonseca, G., e Seligmann, P., 2005, Hotspots Revisited : Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions, Conservation International, Washington, D.C.

- Moffatt, I., 2000. Ecological footprints and sustainable development. *Ecological Economics* 32, 359-362.
- Monfreda, C., Wackernagel, M., Deumling, D., 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts. *Land Use Policy* 21, 231 – 246.
- Odum, H.T., 1996. *Environmental Accounting, Emergy and Decision Making*. J. Wiley, NY.
- Odum, H.T., Brown, M.T., Brandt-Williams, S., 2000. *Handbook of Emergy Evaluation Folio 1: Introduction and Global Budget*. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. 16p
- Opschoor, H., 2000. The ecological footprint: measuring rod or metaphor? *Ecological Economics* 32, 363- 365.
- OSO MARINE, 2005. Available at <http://www.osomarine.com/indexspa.htm>.
- Pascó-Font, A., 1999. *Desarrollo Sustentable del Perú*. Editorial Valenzuela. Agenda: Peru. 118pp.
- Pearce, D., 2000. *Public Policy and Natural Resources Management*, Draft paper for DGXI, European Commission.
- Produce et al., 2006. *Lineamientos estratégicos para impulsar el desarrollo forestal en el Peru*. Lima - Perú. 75 p.
- Rapport, D.J., 2000. Ecological footprints and ecosystem health: complementary approaches to a sustainable future. *Ecological Economics* 32, 381-383.
- Rodrigues, A.S.L., Andelman, S.J., Bakarr, M., Boitani, L., Brooks, T., Cowling, S.A., Fishpool, L., da Fonseca, G.A.B., Gaston, K.J., Hoffmann, M., Long, J., Marquet, P.A., Pilgrim, J.D., Pressey, R., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S., Underhill, L.G., Waller, R.W., Watts, M.E.J., Yan, X., 2003. Global Gap Analysis: Towards a representative network of protected areas. *Advances in Applied Biodiversity Science* 5, 73-74.
- Rojstaczer, S., Sterling, S., Moore, N., 2001. Human appropriation of photosynthesis products. *Science* 294, 2549-2552.
- Siche, J.R., Ortega, E., Romeiro, A., Agostinho, F.D.R., 2007a. Sustainability of nations: comparative study between the Environmental Sustainability Index, Ecological Footprint and the Emergy Performance Indices. *Ecological Economics* (in press).
- Siche, J.R., 2007. *Avaliação ecológica-termodinâmica e econômica de nações: o Peru como estudo de caso*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil.
- Siche, J.R., Ortega, E., Rodríguez, H., 2007b. Contabilidad de la huella ecológica basada en la emergía - caso Peruano. *Revista ECI-Peru*. ISSN 1813-0194 (in press).
- Talberth, J., Venetoulis, J., Wolowicz, K., 2006. *Recasting Marine Ecological Fishprint Accounts*. Technical Report, Redefining Progress. Available at <http://www.rprogress.org/newprograms/sustIndi/fishprint/index.shtml>
- Ulgianti, S., Brown, M.T., 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling* 108, 23-26.
- Van den Bergh, J.C.J.M., Verbruggen, H., 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economics* 29(1), 61- 72.
- Van Kooten G.C., Bulte E.H., 2000. The ecological footprint: useful science or politics? *Ecological Economics* 32, 385-389
- Venetoulis, J., Talberth, J., 2007. Refining the Ecological footprint. *Environment Development and Sustainability* DOI 10.1007/s10668-006-9074-z.
- Wackernagel, M., Schulz, N., Deumling, D., Callejas, A., Jenkins, M., Kapos, V., Monfreda, C., Loh, J., Myers, N., Norgaard, R., Randers, J., 2002. Tracking the

ecological overshoot of the human economy. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 99 (14): 9266-9271.

Wackernagel, M., Monfreda, C., Moran, D., Wermer, P., Goldfinger, S., Deumling, D., Murray, M., 2005. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method. Global Footprint Network. 33pp.

Wiedmann, T., Lenzen, M., 2007. On the conversion between local and global hectares in Ecological Footprint analysis. Ecological Economic. In press.

WWF - World Wide Fund, 2005. Europe2005 The Ecological Footprint. World Wide Fund for Nature European Policy Office, Brussels, Belgium.

Zhao, S.; Li, Z.; Li, W., 2005. A modified method of ecological footprint calculation and its application. Ecol. Model. 185, 65–75.

Appendix 1. Renewable flow of Peru.

1 Solar energy:

Area = $1,94E+12m^2$ (sum of land and marine area)

Insolation = $1,28E+02Kcal/cm^2/yr$

Albedo = 30 (% of insolation)

$$\begin{aligned} \text{Energy(J)} &= (\text{area incl shelf}) * (\text{avg insolation}) * (1 - \text{albedo}) \\ &= (\text{---}m^2)(\text{---}cal/cm^2/y)(E+04cm^2/m^2)(1-0.30)(4186J/kcal) \\ &= 7,26E+21 J/yr \end{aligned}$$

Transformity = 1 seJ/J (Odum, 1996)

2 Tidal energy:

Marine area = $6,52E+11m^2$

Avg Tide Range = 1,00m (Average) (OSO MARINE, 2005)

Density = $1,03E+03 kg/m^3$

Tides/year = $7,30E+02$ (estimated in 2 tides/day in 365 days)

$$\begin{aligned} \text{Energy(J)} &= (\text{shelf})(0.5)(\text{tides/yr})(\text{mean tidal range})^2 (\text{density of seawater})(\text{gravity}) \\ &= (\text{---}m^2)(0.5)(\text{---}/yr)(\text{---}m)^2(\text{---}kg/m^3)(9.8m/s^2) \\ &= 2,39E+18 J/yr \end{aligned}$$

Transformity = 16 842 seJ/J (Odum, 1996)

3 Earth cycle:

Area = $1,94E+12 m^2$

Heat flow = $5,00E+06 J/m^2$ (Henry & Pollack, 1988).

$$\begin{aligned} \text{Energy (J)} &= (\text{area})(\text{heat flow}) \\ &= 9,68E+18 J/yr \end{aligned}$$

Transformity = 34 377 seJ/J (Odum, 1996)

4 Natural capital

Forest area = 68742000 ha (FAO, 2005)

Biomass = 336.69ton/ha (Produce et al., 2006)

$$= (\text{---}ha) * (\text{---}ton/ha) * (2879185kcal/ton) * (4187 J/kcal)$$

Energy = $2.79E+20 J/yr$

Transformity = 1000 seJ/J (Odum, 1996)

List of Tables

Table 1. Biocapacity calculation for Peru through EEF methodology, 2004.

Table 2. Footprint categories for Peru through EEF methodology, 2004.

List of Figures

Figure 1. Simplified emergy diagram for Peru country.

Figure 2. Ecologic balance for Peru in 2004, using EEF.

Figure 3. Load capacity factor (biocapacity/footprint) obtained with different Footprint methodologies.

Table 1. Biocapacity calculation for Peru through EEF methodology, 2004.

Note ⁽ⁱ⁾	Item	Quantity ⁽ⁱⁱ⁾ (J)	Transformity (seJ/J) ⁽ⁱ⁾	Total emergy (seJ)	Emergy per capita (seJ/person) ⁽ⁱⁱⁱ⁾	Biocapacity (gha/person) ⁽ⁱⁱⁱ⁾
Renewable resources						
1	Solar	7.26E+21	1	7.26E+21	2.67E+14	0.86
2	Gravitational	2.39E+18	73 700	1.16E+23	6.47E+15	20.84
3	Geothermic	9.68E+18	12 000	1.76E+23	4.27E+15	13.75
4	Biomass	2.79E+20	1000	2.79E+23	1.02E+16	33.07
Total of renewable resources						68.52
Other species (14.2%) ^(iv)						9.73
Total						58.79

⁽ⁱ⁾The additional information and Transformity are presented in Appendix 1;

⁽ⁱⁱ⁾ Quantity of resource available for the system;

⁽ⁱⁱⁱ⁾ Population for Peru in 2004: 27 219 264 people (INEI, 2006);

^(iv) This ratio corresponds to territory protected for biodiversity preservation (INRENA, 2006).

Table 2. Footprint categories for Peru through EEF methodology, 2004.

Item	Raw data (J)	Transformity ^a (seJ/J)	Total emergy (seJ)	Emergy by person (seJ/person)	Footprint (gha/person)
1. Agriculture			8.99E+22	3.30E+15	10.6401
1.1. Food	2.44E+17	336 000	8.21E+22	3.02E+15	9.7194
1.2. Soil loss	6.26E+16	124 320	7.78E+21	2.86E+14	0.9207
2. Cattle production	7.91E+15	3 360 000	2.66E+22	9.77E+14	3.1461
3. Fishing	2.44E+15	3 360 000	8.19E+21	3.01E+14	0.9697
4. Wood and firewood	8.36E+16	22 100	1.85E+21	6.79E+13	0.2187
5. Energy resources			3.04E+22	1.12E+15	3.5926
5.1. Coal	2.23E+16	66 900	1.49E+21	5.48E+13	0.1766
5.2. Petroleum	2.96E+17	89 000	2.63E+22	9.68E+14	3.1181
5.3. Natural gas	4.28E+16	58 800	2.52E+21	9.25E+13	0.2979
6. Hydroelectricity	6.51E+16	111 000	7.23E+21	2.65E+14	0.8553
7. Water ^b	8.30E+15	1 118 880	9.29E+21	3.41E+14	1.0991
Total			1.56E+23	5.74E+15	20.5215

^aTransformity sources: Brown and MacClanaham (1996); Odum (1996); Romitelli (2000); Brown and Ulgiati (2004); Ortega (2002);

^bWater for domestic use.

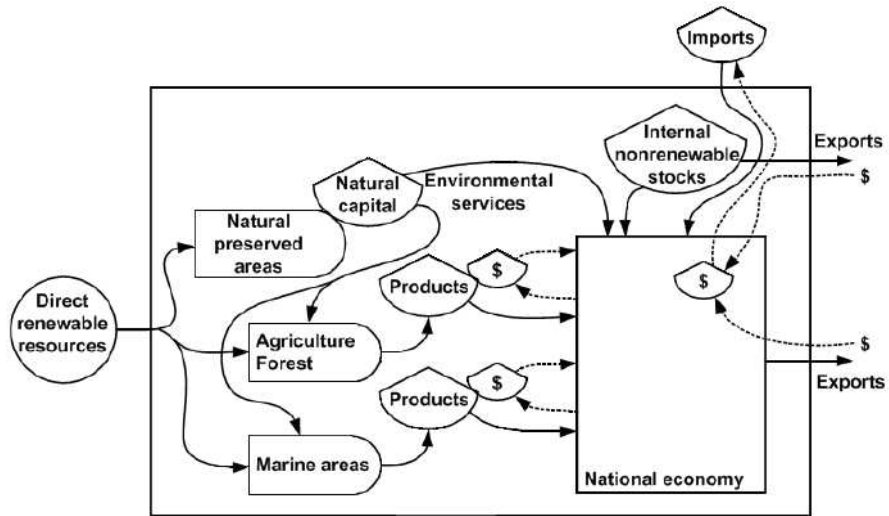


Figure 1. Simplified emergy diagram for Peru country.

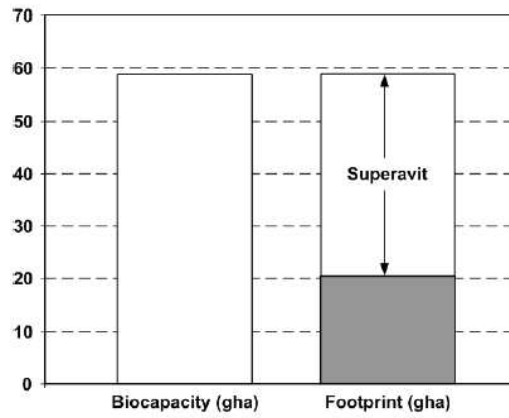


Figure 2. Ecologic balance for Peru in 2004, using EEF.

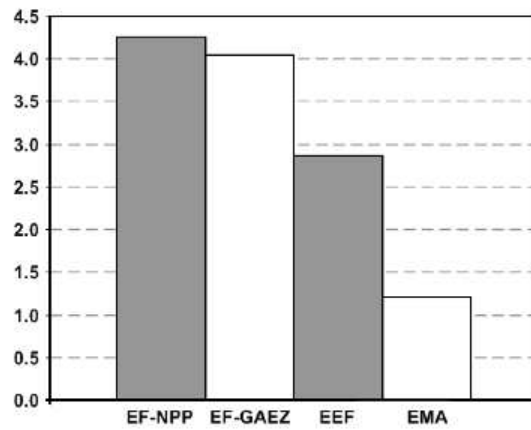


Figure 3. Load capacity factor (biocapacity/footprint) obtained with different Footprint methodologies.

*Apêndice 11. Artigo: Emergy Net Primary Production (ENPP) as basis for calculation of Ecological Footprint.**

-
- Artigo apresentado no International Footprint Conference: New Developments in Ecological Footprinting Methodology, Policy and Practice. 8-10 May 2007. City Hall, Cardiff, Reino Unido. In: http://www.brass.cf.ac.uk/uploads/Ortega_Siche_M54.pdf. Submetido para publicação no *Jornal Ecological Economics*.

Emergy Net Primary Production (ENPP) as basis for calculation of Ecological Footprint

Raúl Siche^{a,*}, Feni Agostinho^b and Enrique Ortega^b

^a Escuela de Ingeniería Agroindustrial – Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n. C. Universitaria, Trujillo, Peru.

^b Ecological Engineering Laboratory, Food Eng. School, State University of Campinas (Unicamp). Cx. Postal 6121, CEP 13083-862, Campinas, SP, Brazil.

ABSTRACT

Society needs urgently good tools to understand the biosphere mechanisms, get conscious of Earth's biophysical limits and make appraisals of environmental performance of human dominated systems. In this context, the Ecological Footprint (EF) appears as one of the most important tools. But, according to calculations based on emergy analysis, the indicators of EF could underestimate the problem of human carrying support. EF does not consider the work of untouched nature in productivity and ecosystems services. To improve this, we propos: (a) to include the ecosystems non considered in EF: tundra, deserts and zones covered by ice; (b) to consider the value of NPP (in emergy units: seJ/m²/yr) as the base for calculation of Equivalent Factors (EQF); because several publications argue that NPP is particularly relevant in sustainability analyses, because human beings appropriate NPP to fuel production and consumption activities and because these activities, in turn, will affect NPP in the future; (c) to include in EF, as carbon emissions (in ton C/m³ of water), the consumption of fossil energy used in collection, treatment and distribution of water for domestic use. Introducing these changes to conventional EF and taking as reference the Peruvian economy (during 2004) the Biocapacity was 14.6 gha/capita and the Footprint 6.6 gha/capita. It means that Peru can support 2.2 times its population if present life style is maintained, in opposition to the 4 times ratio obtained with conventional EF. The results obtained with improved approach show a worse situation of than that revealed by conventional EF.

1. Introduction

The Ecological Footprint (EF) is a tool that is being used for world-wide scientific community, stimulated for its didactic form to transmit the impact of the society on the nature through a measure of easy understanding.

They are two the main reasons for which the EF has become very popular: (a) It uses a mathematical formula to consider the effect of the consumption of the society (footprint) in its natural environmental (biocapacity); (b) It incorporates a vast amount of information in a simple quantitative measure (land area in global hectares) to express its results.

The EF-GAEZ calculates “biocapacity” as the availability in bioproductive land area and “footprint” as the consumption of the evaluated system, both in global hectares. Details of the calculations can be obtained in Monfreda et al. (2004). This method has serious deficiencies and as result EF-GAEZ values underestimate human impact.

As the majority of the existing methods that evaluate the sustainability of systems and processes, the EF-GAEZ (called thus because it uses the Global model Agro-Ecological Zones of FAO) has been extensively criticized (Levett, 1998; van den Bergh and Verbruggen, 1999; Ayres 2000; Moffatt, 2000; Opschoor, 2000; Rapport, 2000; van Kooten and Bulte, 2000; Pearce, 2000; Venetoulis and Talberth, 2007; Wiedmann and Lenzen, 2007; Lenzen et al., 2007). Main critics on EF-GAEZ are commented below:

a) It accounts for carbon emissions as area of forest necessary to absorb CO₂, but the carbon sequestering occurs also in areas of agriculture, pasture, ocean, etc. (Venetoulis and Talberth, 2007). The forests not only have the function to absorb CO₂, but also the ocean, vegetable cultures, grazing lands, etc. Even these areas absorb CO₂ in lesser ratio that forests, they need to be accounted. Areas considered nonproductive or with low

* Tel.: +51 44 294778; Fax: +51 44 294778; E-mail: raul_siche@hotmail.com

productivity (mountains, deserts, tundra, zones covered by ice) are not accounted in EF-GAEZ (Venetoulis and Talberth, 2007), but they produce environmental services that must be accounted in the biocapacity. Nevertheless, the EF-GAEZ makes conservative estimates when calculations do not have sufficient data;

b) EF-GAEZ only accounts once for an area, although the area may be supplying two or more ecological services, with exception of the forests that are accounted two times, one as bioproductive area to supply forest products and another as available area to absorb CO₂ emissions (Monfreda et al., 2004). Even so, the forests also supply other ecological services that are not accounted, as the maintenance of the hydrologic cycle, soil formation and conservation, filtering of solid, liquid and gaseous pollutants, etc;

c) In EF-GAEZ approach, the use of energy is accounted as fossil fuel by means of carbon dioxide emission, even it is also possible to evaluate EF from the use of the required land area to support the biofuel production. The EF-GAEZ assumes a carbon sequestration of 0.95 t C/ha/year (Wackernagel et al., 2005). Thus, for each ton of emitted carbon the EF-GAEZ assumes a footprint of 1.05 hectares (diminishing the quantity caught by the oceans - 65%). The carbon sequestration ratio is based on the forests absorbed amount of CO₂ during the period between 1980 and 1990, disrespecting CO₂ absorbed by other ecosystems and assuming that the sequestration rate does not changed with time;

d) As EF-GAEZ doesn't include the contribution of important ecosystems (as ocean, 2/3 of the planet) in the calculation of the biocapacity. Therefore, it underestimates the ecosystem work that has specific functions in the global and local biological cycles (Venetoulis and Talberth, 2007). For example, the EF-GAEZ does not include the open ocean, an important ecosystem that absorbs great amounts of CO₂. It also doesn't include non productive areas, as deserts and ice covered lands, even these ecosystems produce environment services essential to the welfare of the humanity;

e) It does not include fresh water in footprint accounting; even this is a consumption that influences greatly the sustainability (Chambers et al., 2000). Collection of fresh water can to be a secondary function in some places of planet, but in other places (arid zones where water is a limiting factor), the use of the water competes directly with other primary functions of the ecosystem. Moreover, currently half of the water that supplies rivers and lakes is used in anthropic processes (Hassan et al., 2005);

f) It doesn't include other species, besides human, in the calculation of biocapacity (Chambers et al., 2000). Part of biocapacity should provide other species needs;

g) EF-GAEZ doesn't incorporate the work made by nature in the production of natural and human resources. EQF' s should incorporate this work, but they are based on the potential of land to supply resources to humans, without considering the quality of energy nor the work made by nature to generate resources.

Emergy Analysis (EMA) is a more robust tool than EF, because it allows accounting other flows that influence sustainability (as wastes, soil loss, deforestation, etc.). Even so, EMA still has deficiencies. Main critics on ENA are commented in the following items:

a) EMA not yet has defined clearly which it is the sustainability indicator; it could be Renewability (REN) (Brown and Ulgiati, 2004) or Emergy Sustainability Index (EmSI) (Ulgiati and Brown, 1998);

b) EMA does not possess a standard of what is sustainable or unsustainable. For example, some authors indicate that in a long period of time, systems or processes with high values of REN are sustainable (Brown and Ulgiati, 2004), but which is the minimum value of REN to be considered sustainable? Similar situation occurs with the EmSI;

c) One main limitation of EMA is the lack of information on values of transformities of many resources. Besides that, transformities change with the time, and there is no significant research on that subject, excepting emergy/money ratio in national economies.

After discussing methodologies limitations, we propose a method to improve the precision of EF-GAEZ final indicators, redefining its equivalence factors (EQF). For this, the EMA and some suggestions of Venetoulis and Talberth (2007) were used.

2. Previous and proposed method based on NPP

Previous to this work a method to calculate EF-GAEZ based on NPP was proposed by Venetoulis and Talbert (2007). The authors called it Ecological Footprint based on Net Primary Production (EF-NPP) and use scientific criteria and solve some weak points of conventional EF.

In order to improve it, we propose a new method that we call Ecological Footprint based Emergy Net Primary Production or EF-ENPP, since its main novelty in is the calculation of new EQF's based on NPP in emergy units. Thus, EF-ENPP uses ideas from three methods EF-GAEZ (Wackernagel et al., 2005), EF-NPP (Venetoulis and Talberth, 2007) and EMA (Odum, 1996).

We suggest five changes in the calculations of EF-GAEZ. These changes allow to solution in part the deficiencies cited before:

- a) To calculate EQF's as function of the Emergy Net Primary Production (ENPP). NPP in emergy units ($\text{seJ}/\text{m}^2/\text{year}$) is calculated through the use of Transformity (seJ/g) using the software BIOMASSv1.0 (Siche et al., 2006);
- b) To consider the total area of the evaluated system, including open ocean and areas of low biological productivity (desert, tundra, land covered with ice);
- c) To include the consumption of fresh water for domestic consumption as collected, treated and transported water;
- c) To consider 14.2% of the total biocapacity, for the necessities of other species. This percentage was chosen because 14.2% of the Peruvian territory is protected for the preservation of biodiversity (INRENA, 2006);
- d) To update carbon sequester rate with the data published for the IPCC (2004).

2.1. New Equivalence Factors (EQF)

The EF-GAEZ used NPP data to calculate Equivalence Factors in some studies, but didn't prosper due to the low quality of available data at that time (BRASS, 2006). EFGAEZ method intends to retake this procedure in the future; as NPP is being esteemed through satellite images, it could facilitate future work.

On the other hand, the Biomassv1.0 model (Siche et al., 2006) appears as an option to esteem the NPP. For calculation of EQF's in EF-ENPP method, diverse models were used to calculate the transformity of biomass produced in ecosystems (Table 1).

Table 1 shows biomass (NPP in $\text{g}/\text{m}^2/\text{year}$) and transformities (seJ/J) for each ecosystem, and the calculated EQF's. In this work the EQF indicates the relation between the net primary production of a terrestrial or marine ecosystem (average global value expressed in emergy) and the net primary production correspondent the sum of all terrestrial and marine ecosystems NPP (in emergy).

In the EF-ENPP the pasture zones include: chaparral ($\text{NPP} = 360 \text{ g C}/\text{m}^2/\text{year}$), tropical savanna ($\text{NPP} = 790 \text{ g C}/\text{m}^2/\text{year}$), temperate grassland ($\text{NPP} = 350 \text{ g C}/\text{m}^2/\text{year}$). The forest zones include: tropical forest ($\text{NPP} = 925 \text{ g C}/\text{m}^2/\text{year}$), temperate and plantation forest ($\text{NPP} = 670 \text{ g C}/\text{m}^2/\text{year}$), boreal forest ($\text{NPP} = 355 \text{ g C}/\text{m}^2/\text{year}$) and temperate woodland ($\text{NPP} = 700 \text{ g C}/\text{m}^2/\text{year}$).

{TABLE 1 COULD BE HERE}

The low productivity zones include: arctic and alpine tundra (NPP = 105 g C/m²/year), semi-desert (NPP = 67 g C/m²/year) and extreme desert (NPP = 11 g C/m²/year).

The NPP of terrestrial systems was obtained from the work of Amthor et al. (1998). It is interesting to observe the highly productivity of wetlands (NPP = 1180 g C/m²/year).

Wetland is an environment at the interface between truly terrestrial ecosystems and truly aquatic systems making them different from each yet highly dependent on both (Mitsch and Gosselink, 1986). Wetlands host considerable biodiversity and endemism. For these reasons wetland was separated of other biomes to evaluate its biocapacity.

The biomes “lakes and streams” and “perpetual ice” were joined and considered in the same category, since for Peru great part of the freshwater consumption in the coast comes of the thawing of the glaciers of the high Andean zones.

Marine biomes considered in this analysis were the continental platform (zones of intense fishing) and open ocean. The continental platform has relatively high productivity when compared with open ocean (NPP = 111 g C/m²/year). The open ocean presents a small net productivity (NPP = 46 g C/m²/year), however fulfills an important ecosystem function: to absorb 77% of the CO₂ emissions (IPCC, 2004). NPP data of marine systems was taken from Thom et al. (2001).

The EQF for the built zones was calculated through the difference between cropland NPP (944.44 g/m²/year) and cities NPP (222.22 g/m²/year) (Table 1), differently of Venetoulis and Talberth (2007). The result (722.22 g/m²/year) represents the impact of cities occupying productive area (cropland). If cities occupy areas different to cropland, this information would have that to be considered in the calculation of the built NPP.

Table 2 shows the Yield Factors (YF) and Global Average Productivity (GAP) for Peru, 2004 year, used in BC and EF calculation for the EF-ENPP method.

{TABLE 2 COULD BE HERE}

2.3. Calculation of the biocapacity

For the calculation of biocapacity of Peru, all biomes were considered because all of them fulfill functions that must be accounted. It was considered: tundra, deserts, zones covered with ice and Open Ocean (Table 3). The value of built land was obtained from EF-GAEZ report (Hails et al., 2006) for year 2003.

In the EF-ENPP approach, the CO₂ absorption zone include all the areas (terrestrial and oceanic), except built land. In accordance with the models of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2004), annually the oceans sequester 2.3 Gt C and continental zones 0.7 Gt C. For each ton of emitted carbon, the EF-ENPP supplies a footprint of 17.97 ha, in other terms: 0.0556 t C/ha versus 0.95 t C/ha of the EF-GAEZ.

This work accounts separately of lakes, stream and glaciers for CO₂ absorption, with the objective to compare with footprint of fresh water consumption. The BC of fresh water was calculated in the following form: $BC_{\text{FRESH_WATER}} = \text{Area} \times EQF_{\text{FRESH_WATER}} \times YF_{\text{FRESH_WATER}} + \text{Area for CO}_2 \text{ absorption}$.

The CO₂ absorption area is the same that of fresh water (2.90E+06 ha). Thus, the first part of this equation corresponds to the function to produce foods and second part to its function to absorb CO₂. All the values are divided by the population of Peru for year 2004 (27.22E+06 inhabitants). Finally, the areas per capita (gha/person) are added and deducted

14.2% of the total. The obtained value represents the available biocapacity (in gha/person) of the evaluated system.

{TABLE 3 COULD BE HERE}

The Biocapacity (BC) of each ecosystem “i” is calculated with the following equation: $BC_i = A_i * YF_i * EQF_i$, where: A_i : Area of biome (s) under study, ha; YF_i : Yield Factor of each area, dimensionless (Table 2) ; EQF_i : Equivalence Factor of each area, gha/ha (Table 2).

2.4. Calculation of the footprint

The consumption, in this work, was divided in seven categories: (1) agriculture, (2) grazing, (3) fishing, (4) wood and fuel wood, (5) fossil energy resources, (6) built and (7) fresh water. The consumption of each category, with exception of energy, built and fresh water, was calculated with the following expression: Consumption = production + importation – exportation.

The following relation was used to calculate the EF of each category (EF_i) in gha: $EF_i = (Consumption)_i * (EQF_i / GAP_i)$, where: $Consumption_i =$ The consumption of each category in ton or m³ per year; $EQF_i =$ Equivalence Factor of each category, gha/ha (Table 2); $GAP_i =$ Global Average Productivity of each category, t/ha or m³/ha (Table 2).

The footprint of fossil energy use (EF_f) was calculated of the following form: $EF_f = Emissions\ of\ C\ (t\ C) * Global\ Area\ for\ emissions\ (gha/t\ C)$. The global area (land and sea) responsible for C emissions was considered as 17.97 gha/t of C (IPCC, 2004). To convert values of CO₂ to C it was used the factor 12/44. To calculate the footprint of built land was applied same equation that served to calculate its biocapacity.

The footprint of the category fresh water (EF_{FW}) was calculated as follows:

- a) The volume of consumed domestic water (DW) was identified as being of 1.68E+09 m³ for year 2004 (Aquastat database, 2004);
- b) The following equation to determine the footprint of fresh water supply (EF_{FW}): $EF_{FW} = DW * (EMCS + EMCT) * (1 - CES) * (EQF_{WATER} / CAT)$, where: EMC = Emissions of C (tons of C per m³ of domestic water) due to the use of fossil fuel in the collection and distribution (EMCS) and in the treatment (EMCT) of domestic water for final consumers. The value used was of 0.1 ton of C for each mega-liter of supplied water (0.0001 t C/m³) and 0.08 tons of C for each mega-liter of treated water (0.00008 t C/m³) (Jenkin and Stentiford, 2005); $CES =$ Percentage of CO₂ emissions sequestered by ocean (77%) (IPCC, 2004); $CAT =$ CO₂ absorption in terrestrial systems (0.049 tons of C per hectare).

3. Results and Discussion

The zone for CO₂ absorption shows to be the biggest bio-productive area of Peru in the EF-ENPP approach with a value of 6.9 gha/person (Table 4). This value is 5 times bigger that 1.3 gha/person (Siche, 2007) for zones for CO₂ absorption calculated with EFGAEZ.

In the EF-GAEZ, forests area is used to calculate the biocapacity for CO₂ absorption (Monfreda et al., 2004). In EF-ENPP for CO₂ absorption it is considered all the country areas able to do photosynthesis (forest, ocean, desert, continental waters, etc.).

The open ocean constitutes the second component in importance for the biocapacity of Peru (4.7 gha/person, Table 4). This area and others of low productivity (tundra, glacial waters and wetlands) aren't considered in the EF-GAEZ method, but they are taken into account by the EF-NPP method of Venetoulis and Talberth (2007) and supply a more a better value for biocapacity, but not complete. Considering all ecosystem services in the BC

calculation will result in better value of load capacity of the country under evaluation. The fishing and forest zones appear with 1.7 and 0.7 gha/person, respectively. Continental and glacial waters appear as another important contribution to the BC of Peru (0.5 gha/person). It is necessary to note that it is very important to include the biocapacity of fresh water zones, a key element in the sustainability of a country (WWAP, 2006).

These results contradict the reported values for Loh and Wackernagel (2004) and Hails et al. (2006); according with them, forest, pasture and fishing zones possess greater biocapacity. According with Hails et al. (2006) the forest zones possess 64% of Peru's biocapacity, followed by pasture (14%) and fishing (10%), due to double function that forest and fishing zones possess (supplying raw material and absorbing CO₂).

{TABLE 4 COULD BE HERE}

In this work, the biocapacity of these areas was separated in accordance with function. Thus, the forest and fishing zones of Table 4 are accounted as raw material supply zone. All areas are accounted as CO₂ absorption zone, (including forest and ocean). We believe that this consideration is important to differentiate and to account the ecosystem services that each one of these areas supplies to the country.

Built land, low productivity zones and wetland zones possess minor biocapacity: 0.1, 0.08 and 0.05 gha/person, respectively. Although the wetlands possess a small amount of biocapacity (0.05 gha/person) are important due to hosting of a considerable biodiversity and endemism and that it would have to be considered in the EF analyses.

From a total available biocapacity of the Peruvian system (15.8 gha/person), 14.2% (INRENA, 2006) is reserved for the necessities of other species (1.2 gha/person). This value was deducted from total resulting in a net biocapacity of 14.6 gha/person for human use.

The report of Hails et al. (2006) obtained with 2003 data, reveals, for Peru, a biocapacity of 3.8 gha/person. The report of Venetoulis and Talberth (2007) presents a biocapacity of 30.11 gha/person. In the first case, we believe that authors underestimate BC, because they didn't include ocean, desert, zones covered of ice, lakes and streams, etc. In the second case, these important areas are considered, but the conceptual differences in the calculation of equivalence factors (EQF) produce distortion of results in comparison with the present work. Venetoulis and Talberth (2007) used as base in their calculations the NPP in mass units (g/m²/year), while this work use NPP in units of embodied energy or solar energy (seJ/m²/year).

Currently, energy resources are the key factor in the discussion on social-economic well-being. Fossil fuel energy allows mobility and development, but they contribute with an enormous pressure on environment: climate change, resources exhaustion and adverse effects for the human health.

Instead of using available energy, embodied energy (or emergy) offers a better measure of energy involved in resources production. Emergy considers all the available energy (exergy) used in the processes of production of resources. Incorporating the emergy concept in the NPP, we include all the energies that made possible the formation of biomass in ecosystems. Therefore, the new EQF's depends on energy quality and not only in mass. The energy quality is measured by transformity, defined as the emergy used in the production of certain energy (Jorgensen et al., 2004).

Table 5 shows footprint of Peru calculation using categories with EF-ENPP method. The CO₂ emission shows the biggest footprint (4.9 gha/person), almost 75% of total FP.

This percentage makes evident a dramatic situation of Peru concerning the use of energy that liberates CO₂. This high value results from carbon sequestering rate assumptions.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2004) considers that oceans sequester 2.3 Gt C and continental zones 0.7 Gt C annually. This means that for each ton of emitted carbon the EF-ENPP shows a footprint of 17.97 ha (17.97 ha/t C) or 0.0556 t C/ha, differently of the 0.95 t C/ha of the EF-GAEZ method.

{TABLE 5 COULD BE HERE}

The fishing consumption footprint is the category most important (0.80 gha/person or 12.2% of the total footprint) after the CO₂ emissions. With lesser values appear the categories: agriculture (0.28 gha/person or 4.2% of the total footprint), grazing (0.23 gha/person or 3.5% of the total footprint) and fresh water (0.15 gha/person or 2.3% of the total footprint).

Venetoulis and Talberth (2007) calculated CO₂, fish, agriculture and grazing footprints as being 52.5% (3.71 gha/person), 21.0% (1.48 gha/person), 6.1% (0.43 gha/person) and 17.0% (1.20 gha/person) of total footprint of Peru with 2001 data.

As noted, a new category was included in the approach presented here: fresh water. Up to now, the supply of water for human consumption is not identified nor measured in the national accounting of footprint. In this study, the water footprint was calculated measuring the energy used to supply, collect and treat the water, as well as the treatment of waste-water as suggested by Jenkin and Stentiford (2005). The footprint of consumed water for the Peru's population was 0.15 gha/person, a value 15 times bigger than the value found by Jenkin and Stentiford (2005) for England Southeast with 2001 data (0.01 gha/person). These results suggest two interpretations: the use of domestic water in England (Southeastern) has minor impact on the environment than the use of domestic water in Peru; or, footprint calculated by Jenkin and Stentiford (2005) is underestimated.

According to our interpretation, the footprint for the England Southeast is underestimated. The EF-ENPP approach accounts for the work of nature in recycling resources, beyond collecting and water treatment. The area of capture of water must be included in the water footprint, but the inclusion of this area would result in a double counting of the existing areas (arable, energy, pasture, forest and sea), since all these lands have the function of water collecting (Chambers et al., 2000). Calculation of the fresh water footprint considered here is questionable due to the possibility of double counting²¹, but it is important to consider this category in future evaluations of sustainability (WWAP, 2006).

The consumption of forest resources has the lesser footprint (0.09 gha/person or 1.3% of the total footprint). The two methodologies (EF-GAEZ and EF-NPP) indicate low footprints for Peru in the case of forests (0.04 gha/person in EF-GAEZ for 2003). This does not necessarily mean that Peru is taking advantage of sustainability of forest resources. It will be necessary to analyze BC and EF for this category (or ecological balance, Figure 1).

{FIGURE 1 COULD BE HERE}

In the analysis made for categories (Figure 1) it is possible to observe that almost all of them possess a favorable balance, with exception of built zones (- 0.02 gha/person) and cropland (- 0.005 gha/person). This indicates that although Peru still has a favorable

¹ To account the used energy in the collection, treatment and supply of water for domestic use, could be already computed in the CO₂ emission accounting supplied by FAO.

ecological balance, its cities (or built zones) are unsustainable and agriculture is exceeding its limits.

The EF-GAEZ approach calculates equal values of biocapacity and footprint for built zones (Loh, 2002; Loh and Wackernagel, 2004; Hails et al., 2006). In the EF-ENPP, as well as proposed for EF-NPP of Venetoulis and Talberth (2007), the ecological balance of built zones gives negative values due to 14.2% (13.4% in the EF-NPP) deducted for the preservation from the biodiversity of the cities. The cities appropriate of the area where they are seated and, also, of the areas that would serve to preserve biodiversity.

The biggest ecological balance is represented by the open ocean (4.1 gha/person) due its great extension and inexistence of footprint. The available biocapacity of open ocean for human use is 4.1 gha/person, but this data can be overestimated, since part of Peruvian fishing is located outside the continental platform, 50 and 600 marine miles away (Mamani, 2005), but in this approach only continental platform was considered.

The fish category in our calculations presents an ecological balance (0.7 gha/person) bigger of what the balance calculated with EF-GAEZ (0.27 gha/person; Loh and Wackernagel, 2004; Hails et al., 2006).

There are several studies on sustainability of Peru and worldwide fishing (Pascó-Font, 1999; Talbert et al., 2006; OCEANA, 2006; Worm et al., 2006). For year 2003, Talberth et al. (2006) calculated for fishing of Peru a BC of 48.1 gha/person and a footprint 6.5 times bigger (311.1 gha/person), that represents a negative ecological balance of 263 gha/person. Talberth et al. (2006) calculations are based on the fishing production, differently of the calculations of the present work and EF-GAEZ, where the footprint is calculated in function of consumption. Thus, being consumption our calculation basis and, as in Peru almost 95% of the fishing extraction is exported (INEI, 2006), it is possible to say that approximately 95% of the Peru fishing footprint is exported to other countries.

Of fishing analysis we can conclude that a sector (region or country) could be sustainable if we use the consumption to calculate the footprint, and unsustainable if we use the production. We believe that to calculate a footprint in function of production (without considering importation and exportations) would be a better form to obtain the true impact of the economy on its environment.

It exists an ecological surplus in favor of Peru of 8.0 gha/person, a value lower than the balance found by EF-NPP (23.1 gha/person) (Venetoulis and Talberth, 2007), but superior to that found using traditional calculations of the footprint: 3.4 gha/person for 2001 (Loh and Wackernagel, 2004) and 3.0 gha/person for 2003 (Hails et al., 2006). Apparently, situation of the country shows to be better with EF-ENPP approach, but this not necessarily the truth.

One better analysis could be obtained dividing the values of Biocapacity and footprint (BC/EF) to get an index that we call Load Capacity Factor (LCF).

BC/EF (Load Capacity Factor) means: “how many times a territory could support the size of its human population, with its current life style, without degrading its physical and ecological environment”.

It the BC/EF value is bigger than 1 means that the system is sustainable; a value lower than 1 means that the system is unsustainable. BC/EF equal to 1 indicates that the system is on the critical limit.

Analyzing BC/EF relation for each approach studied (Figure 2), we have better result for methodology EF-NPP (BC/EF = 4.26), meaning that: “in 2004 year, the Peruvian territory possessed capacity to support 4.26 times its population, without degrading its physical and ecological environment, considering the lifestyle of that year”.

{FIGURE 2 COULD BE HERE}

In a previous EMA applied to Peru (Siche, 2007), Biocapacity was accounted as the available renewable resources (seJ) and the Footprint as emergy used in the system, (seJ), and a worse performance was obtained (BC/EF = 1.21) showing that Peru was next to the sustainability limit.

Ferguson (2003) made a calculation of the “load capacity” of 147 countries, including Peru, using as base the data the report Living Planet Report 2002 (Loh, 2002).

He concluded that Peru, with its current lifestyle, is able to support 4.35 times its population, a value next value to that found in EF-GAEZ approach.

The EF-ENPP approach (BC/EF = 2.22) appears as an intermediate value between EF-GAEZ and EMA approaches, perhaps as product of the convergence of these two approaches.

4. Conclusions

In the case of the country analyzed as study case (Peru) the EF-ENPP method proposed in this work indicates a worse situation in the ecologic balance than that obtained with EF-GAEZ. We believe that the EF-ENPP is a more robust tool when confronted to EF-GAEZ, so the Peru’s environmental performance is worst than the some published data.

The EF-ENPP approach could be a good alternative in future calculations of ecological footprint because it uses data and other tools easily available, lacking only improvement in the calculation of transformities of NPP’s for aquatic systems. The main quality of this approach is that it accounts for nature work in the NPP flows that serve as basis to calculate the equivalence factors.

Taking in consideration the proposed approach, with 2004 data, Peru has a capacity to support 2.22 times its population without degrading its physical and ecological environment, considering current lifestyle.

Finally, we believe that the method considered here can solve some deficiencies of the Ecological Footprint, but it is still necessary to account another flows so that it can interpret more exactly the anthropic impact on the nature: to consider the negative externalities and the environmental services.

REFERENCES

- Ayres R.U. 2000. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 32, 347-349.
- Amthor, J.S. and Huston, M.A. et al. 1998, *Terrestrial Ecosystem Responses to Global Change: A Research Strategy*, ORNL Technical Memorandum 1998/27, Ecosystems Working Group of the Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Aquastat database. 2004. Available at <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/dbase/index.htm>
- BRASS. 2006. The ESRC Centre for Business Relationships, Accountability, Sustainability and Society (Personal communication).
- Brown, M.T., Ulgiati, S. 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecol. Eng.* 9, 51–69.
- Brown, M.T., Ulgiati, S. 2002. Emergy evaluation and environmental loading of electricity production systems. *Journal of Cleaner Production* 10, 321-334.
- Brown, M., Ulgiati, S. 2004. Emergy Analysis and Environmental Accounting. *Encyclopedia of Energy*, 2:329-353.

- Castro, M. 2001. Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Consejo Nacional del Ambiente. Manati S.A. Lima, Peru.
- Cilloniz, F. 2006. Situación y perspectivas del Agro Peruano. XII Conferencia Anual de Estudiantes 2006. Instituto Peruano de Administración de Empresas - IPAE. 17 – 19 May 2006. Available at <http://www.ipae.edu.pe/Confestudiantes/HAPortalPagina.aspx?1,3,1,44,S>
- Chambers, N., Simmons, C., Wackernagel, M. 2000. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprint as an Indicator of Sustainability. Earthscan, London.
- FAO. 2006. Global Forest Resources Assessment 2005: FAO Forestry Department country pages - Peru. Available at <http://www.fao.org/forestry/site/32086/en/per/>
- Ferguson, A. 2003. Sustainable populations by country. Optimum Population Trust. Available at <http://www.optimumpopulation.org/opt.sustainable.numbers.html>
- Hails, C., Loh, J., Goldfinger, S. (Eds). 2006. Living planet report 2006. World Wide Fund for Nature International (WWF), Zoological Society of London (ZSL), Global Footprint Network, Gland, Switzerland.
- Haden, A. 2003. Emery evaluation of Denmark and Danish Agriculture – Assessing the limits of agricultural systems to power society. Centre of Sustainable Agriculture Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. Ecological Agriculture 37.
- Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (Eds). 2005. The Millennium Ecosystem Assessment. ISLAND PRESS. NW, Washington, DC. Available at <http://www.millenniumassessment.org/>
- INEI – Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2006. Peru: Compendio Estadístico 2005. Available at <http://www.inei.gob.pe/biblioinei.asp>
- INRENA – Instituto Nacional de Recursos Naturales. 2006. Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. Lima, Peru. Available at http://www.inrena.gob.pe/index_inicio.htm
- INRENA, MINAG. 2005. Recursos Naturales: Mapas del Peru Ambiental. Instituto Nacional de Recursos Naturales e Ministerio de Agricultura. Available at http://www.portalagrario.gob.pe/rrnn_mapa.shtml
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2004. Inter-annual and decadal variability of atmospheric CO2 concentrations. In Special Report on Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Available at http://www.grida.no/climate/ipcc/land_use/020.htm.
- Jenkin, N., Stentiford, C. (Eds). 2005. Stepping Forward: A resource flow and ecological footprint analysis of the South West of England. Technical report. Best Foot Forward Ltd, The Future Centre, Oxford, United Kingdom. Available at <http://www.steppingforward.org.uk/ef/index.htm>.
- Jorgensen, S.E., Odum, H.T., Brown, M.T. 2004. Emery and exergy stored in genetic information. Ecological Modelling 178, 11-16.
- Lenzen, M., Borgstrom, C., Bond, S. 2007. On the bioproductivity and land-disturbance metrics of the Ecological Footprint. Ecological Economic 61, 6 - 10.
- Levett R. 1998. Footprinting: a great step forward, but tread carefully. Local Environment 3(1), 67-74.
- Loh, J. (Ed). 2002. Living planet report 2002. World Wide Fund for Nature International (WWF), UNEP World Conservation Monitoring Centre, Redefining Progress, Center for Sustainability Studies, Gland, Switzerland.
- Loh, J., Wackernagel, M. (Ed). 2004. Living planet report 2004. World Wide Fund for Nature International (WWF), UNEP World Conservation Monitoring Centre, Global Footprint Network, Gland, Switzerland.
- Mamani, T.M. 2005. Las cinco millas y su importancia clave en la sostenibilidad de la pesca Artesanal del Perú - el caso del Ilo y el Sur del Perú. SUPABCPI/FIUPAP. Sustainable Fisheries and Livelihoods in Latin America: the Imperative of Recognizing Artisanal Fishworkers' Fishing Access Rights. Argentina 1 – 4 march 2005.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. 1986. Wetlands. Van Nostrand Reinhold, NY. 537 pp.
- Monfreda, C., Wackernagel, M., Deumling, D. 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts. Land Use Policy 21, 231 – 246.
- Moffatt, I. 2000. Ecological footprints and sustainable development. Ecological Economics 32, 359- 362.
- OCEANA. 2006. Balance Ambiental 2006. Oceana – Protecting the World's Oceans. Available at http://www.oceana.org/fileadmin/oceana/uploads/americaelsur/documentos_2007/balance_ambiental_2006_01.pdf.
- Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting, Emery and Decision Making. J. Wiley, NY.
- Opschoor, H. 2000. The ecological footprint: measuring rod or metaphor? Ecological Economics 32, 363-365.
- Pascó-Font, A. 1999. Desarrollo Sustentable del Perú. Editorial Valenzuela. Agenda: Peru. 118pp. Pearce, D. 2000. Public Policy and Natural Resources Management, Draft paper for DGXI, European Commission.
- PRODUCE – Ministerio de la Producción. 2006. Lineamientos estratégicos para impulsar el desarrollo forestal en el Peru. Asociación de Exportadores - ADEX, Sociedad Nacional de Industrias – SIN, Confederación Peruana de la Madera – CPM, Asociación de Industriales Madereros de Loreto – AIMAL,

- Asociación de Productores Forestales de Ucayali - APROFU, Asociación de Extractores e Industriales Forestales de Madre de Dios, Asociación de Industriales Productores Forestales de Satipo-APFIS. Lima, Peru. 75p.
- Rapport, D.J. 2000. Ecological footprints and ecosystem health: complementary approaches to a sustainable future. *Ecological Economics* 32, 381-383.
- Siche, J.R. 2007. Avaliação ecológico-termodinâmica e econômica de nações: o Peru como estudo de caso. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, SP, Brazil.
- Siche, J.R., Agostinho, F.D.R., Ortega, E. 2006. Method to Estimate biomass production in natural ecosystems. In S. Ulgiati (Ed) *Proceedings of V Biennial International Workshop Advances in Energy Studies*. Porto Venere, 12-16 Sept. 2006, Italy.
- Siche, J.R., Ortega, E., Romeiro, A., Agostinho, F.D.R. 2007. Sustainability of nations: comparative study between the Environmental Sustainability Index, Ecological Footprint and the Energy Performance Indices. *Ecological Economics* (in press).
- Silva, P.J. 2006. Mar Peruano. Boletim N° 1. Available at <http://www.marperuano.org>
- Talberth, J., Venetoulis, J., Wolowicz, K. 2006. Recasting Marine Ecological Fishprint Accounts. Technical Report, Redefining Progress. Available in: <http://www.rprogress.org/newprograms/sustIndi/fishprint/index.shtml>
- Thom, R.M., Blanton, S.L., Woodruff, D.L., Williams, G. D., Borde, A.B. Carbon Sinks in Nearshore Marine Vegetated Ecosystems. In *Proceedings of First National Conference on Carbon Sequestration*, 14-17 May 2001. The National Energy Technology Laboratory (NETL), United States. Available at www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/5c5.pdf
- Ulgiati, S., Brown, M.T. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling* 108, 23-26.
- van Kooten G.C., Bulte E.H. 2000. The ecological footprint: useful science or politics? *Ecological Economics* 32, 385-389
- van den Bergh J.C.J.M., Verbruggen H. 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economics* 29(1), 61- 72
- Venetoulis, J., Talberth, J. 2007. Refining the Ecological footprint. *Environment Development and Sustainability* DOI 10.1007/s10668-006-9074-z.
- Wackernagel, M., Schulz, N., Deumling, D., Callejas, A., Jenkins, M., Kapos, V., Monfreda, C., Loh, J., Myers, N., Norgaard, R., Randers, J. 2002. Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99, 9266-9271.
- Wackernagel, M., Monfreda, C., Moran, D., Wermer, P., Goldfinger, S., Deumling, D., Murray, M. 2005. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method. *Global Footprint Network*. 33pp.
- Wiedmann, T., Lenzen, M. 2007. On the conversion between local and global hectares in Ecological Footprint analysis. *Ecological Economic*. In press.
- Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B.C., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K., Stachowicz, J.J., Watson, R. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 314, 787-790.
- WWAP – World Water Assessment Program. 2006. 2nd UN World Water Development Report, 2006. Available at http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr2/table_contents.shtml

List of Tables

Table 1. Calculation of Equivalence Factors (EQF) for global ecosystems based on NPP expressed in solar equivalent Joules ($\text{seJ}/\text{m}^2/\text{year}$).

Table 2. Equivalence and Yield Factors and Global Productivity used in EF-ENPP, 2004.

Table 3. Area of the zones considered in the calculation of the biocapacity.

Table 4. Biocapacity of Peru (2004) using EF-ENPP approach.

Table 5. The footprint of Peru in EF-ENPP approach, 2004.

List of Figures

Figure 1. Peru Ecological balance for categories using EF-ENPP, in gha/person.

Figure 2. Comparison of BC/EF relation for the analyzed methods.

Table 1. Calculation of Equivalence Factors (EQF) for global ecosystems based on NPP expressed in solar equivalent Joules ($\text{seJ}/\text{m}^2/\text{year}$).

Zones	$\text{NPP}_{\text{MASS}}^{(i)}$ ($\text{g}/\text{m}^2/\text{year}$)	$\text{NPP}_{\text{ENERGY}}^{(ii)}$ ($\text{J}/\text{m}^2/\text{year}$)	$\text{Tr}_{\text{NPP}}^{(iii)}$ (seJ/J)	$\text{ENPP}^{(iv)}$ ($\text{seJ}/\text{m}^2/\text{year}$)	$\text{EQF}^{(v)}$ (gha/ha)
Cropland	944.44	14232400	3253.54	4.6306E+10	1.9661
Pasture land	1111.11	16744000	1995.06	3.3405E+10	1.4183
Forest	1472.22	22185800	855.41	1.8978E+10	0.8058
Low productivity	135.56	2042768	9960.00	2.0346E+10	0.8639
Wetland	2622.22	39515840	150.57	5.9501E+09	0.2526
Continental and glacial water	222.22	3348800	9960.00	3.3354E+10	1.4162
Built land ^(vi)	722.22	10883600	3253.54	3.5410E+10	1.5035
Terrestrial Total:	868.89			2.3552E+10 ^(vii)	
Fishing	246.67	3717168	9000	3.3455E+10	2.0293
Open ocean	102.22	1540448	9000	1.3864E+10	0.8410
Marine Total:	126.67			1.6486E+10 ^(vii)	

⁽ⁱ⁾ NPP data of terrestrial ecosystems was obtained from Amthor et al. (1998) and in the case of marine ecosystems from Thom et al. (2001). It was assumed that the biomass has 45% of C;

⁽ⁱⁱ⁾ $\text{NPP}_{\text{ENERGY}} (\text{J}/\text{m}^2/\text{year}) = \text{NPP}_{\text{MASS}} (\text{g}/\text{m}^2/\text{year}) * 3.6(\text{Kcal}/\text{g}) * 4186(\text{J}/\text{kcal})$;

⁽ⁱⁱⁱ⁾ NPP transformity (Tr -NPP) for terrestrial biomes was calculated with the equation: $\text{Ln}(\text{Tr}_{\text{NPP}}) = 28.703 - 3.0093 \text{Ln}(\text{NPP}_{\text{MASS}})$ (Siche et al., 2006a). For marine ecosystems, a transformity of 9,000 seJ/J was considered (Odum, 1996);

^(iv) $\text{ENPP} (\text{EMERGY-NPP}) = \text{NPP}_{\text{ENERGY}} * \text{Tr}_{\text{NPP}}$;

^(v) Equivalence Factor (EQF) = $\text{ENPP}_{\text{BIOMA}} (\text{seJ}/\text{m}^2/\text{yr}) / \text{ENPP}_{\text{GLOBAL}} (\text{seJ}/\text{m}^2/\text{yr})$;

^(vi) $\text{NPP}_{\text{MASS_BUILT_LAND}} = \text{NPP}_{\text{MASS_CROPLAND}} - \text{NPP}_{\text{MASS_HUMAN_AREA}}$. Where: $\text{NPP}_{\text{MASS_HUMAN_AREA}} = 100/0.45 = 222.22 \text{ g}/\text{m}^2/\text{year}$ (Amthor et al., 1998);

^(vii) NPP total energy of terrestrial ecosystems ($3.03\text{E}+22 \text{ seJ}/\text{yr}$) on the terrestrial total area ($1.29\text{E}+12 \text{ m}^2$), and NPP total energy of marine ecosystems ($1.07\text{E}+22 \text{ seJ}/\text{yr}$) on the terrestrial total area ($6.52\text{E}+11 \text{ m}^2$).

Table 2. Equivalence and Yield Factors and Global Productivity used in EF-ENPP, 2004.

Biome	Equivalence factor gha/ha	Yield Factor ⁽ⁱ⁾	Productivity ⁽ⁱ⁾ (global average values)
Cropland	1.9661	1.6090	4.7525 t/ha
Pasture land	1.4183	0.2444	0.5172 t/ha
Forest	0.8058	0.3825	5.6887 m ³ /ha
Low productivity	0.8639	0.2444 ⁽ⁱⁱ⁾	-
Wetland	0.2526	1.0000 ⁽ⁱⁱⁱ⁾	-
Continental and glacial water	1.4162	1.0000 ⁽ⁱⁱⁱ⁾	0.00018 ^(vi) t C/m ³ water
Built land	1.5035	1.6090 ^(iv)	1.6090 ^(v)
Fishing areas	2.0293	2.7310	0.0541 t/ha
Open ocean	0.8410	2.7310	-

⁽ⁱ⁾ Yield factor = National productivity of an area / Global productivity of same productive area;

⁽ⁱⁱ⁾ Considered equal to pasture zone, for possessing minor Yield Factor than terrestrial biomes;

⁽ⁱⁱⁱ⁾ Due to lack of data for these biomes, we assume that the productivity of continental water, glaciers and wetlands of Peru is the same than that of continental water, glaciers and wetlands of the World;

^(iv) Since built land generally are in areas adequate for the food production, the EF considers that they posses the same Equivalence Factor;

^(v) Global Average Productivity is considered equal to the Yield Factor;

^(vi) Suggested by Jenkin and Stentiford (2005). It corresponds to the sum of collected water (0.1 t C/ml) and treated water (0.08 t C/ml).

Table 3. Area of the zones considered in the calculation of the biocapacity.

Zone	Area (ha)	Observations	Reference
Cropland	2.72E+06	Area of surface harvested in year 2004.	Cilloniz, 2006
Pasture	3.61E+07	Addition of natural pasture, prairies, grasslands, and new areas of pastures product of the deforestation.	Castro, 2001 Produce, 2006
Forest	6.87E+07	Natural and reforested forests	FAO, 2006
Low productivity	1.03E+07	Zones do not considered in previous categories (tundra and desert) and calculated by difference between the total extension of Peru (1.28E+08) and cropland, pasture, forest, continental and glacial water, wetland and built land.	Inrena and Minag, 2005
Wetland	6.45E+06	Zones of swamp and marsh.	Inrena and Minag, 2005
Continental and glacial water	2.90E+06	Surface occupied by lakes and streams (2.73E+06 ha) added of glacier (1.69E+05 ha)	Hails et al., 2006
Built land	1.19E+06	Deduced value	
Fishing	8.72E+06	Surface occupied by continental platform.	Silva, 2006
Open ocean	5.64E+07	Difference between the extension of ocean that legally corresponds to Peru (6.51E+07 ha) deducted of continental platform (8.72E+06 ha).	
C absorption	1.89E+08	Terrestrial area (without including continental water, glacier and built) added to marine.	

Table 4. Biocapacity of Peru (2004) using EF-ENPP approach.

Biome	Area (ha)	Total Biocapacity (gha/person)	Biocapacity for others species (-14.2%)	Net Biocapacity (gha/person)
Cropland	2,728,481	0.3171	0.0450	0.2721
Pasture	36,180,000	0.4608	0.0654	0.3953
Forest	68,742,000	0.7784	0.1105	0.6678
Low productivity zones	10,311,803	0.0800	0.0114	0.0686
Wetland	6,458,500	0.0599	0.0085	0.0514
Continental and glacier water	2,904,274	0.5194	0.0737	0.4456
Built land	1,196,542	0.1063	0.0151	0.0912
Fishes zones	8,720,000	1.7754	0.2521	1.5233
Open ocean	56,430,000	4.7613	0.6761	4.0852
CO ₂ absorption zones	189,570,784	6.9646		6.9646
Biocapacity		15.8232	1.2579	14.5652

Table 5. The footprint of Peru in EF-ENPP approach, 2004.

Category	Amount	Unit	Footprint (gha/person)
Agricultural products	18,244,700	ton	0.2773
Grazing products	2,300,000	ton	0.2317
Forest			0.0882
Wood, paper, etc.	9,653,916	m ³	0.0502
Fuel wood	7,300,000	m ³	0.0380
Fish products	582,492	ton	0.8027
Built	1,196,542	ha	0.1063
Fresh water	3,360,000,000	m ³	0.1477
CO ₂ emissions	7,450,480	ton	4.9194
Footprint			6.5734

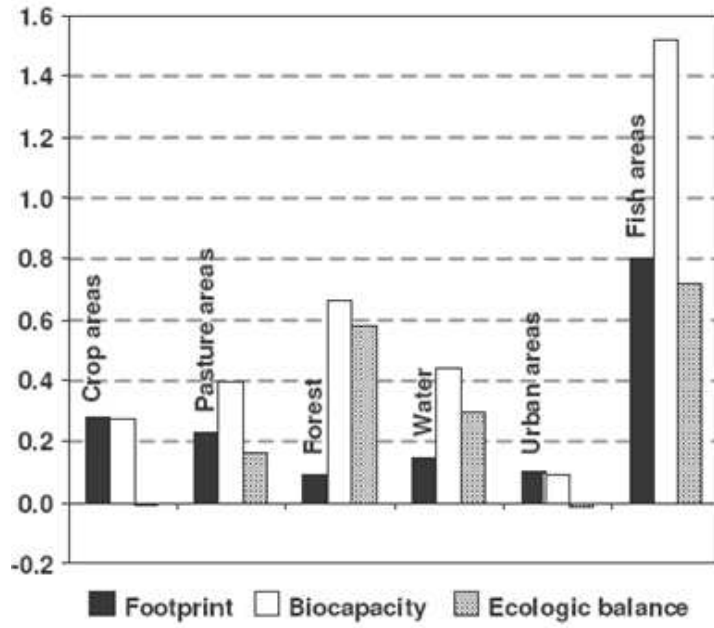


Figure 1. Peru Ecological balance for categories using EF-ENPP, in gha/person.

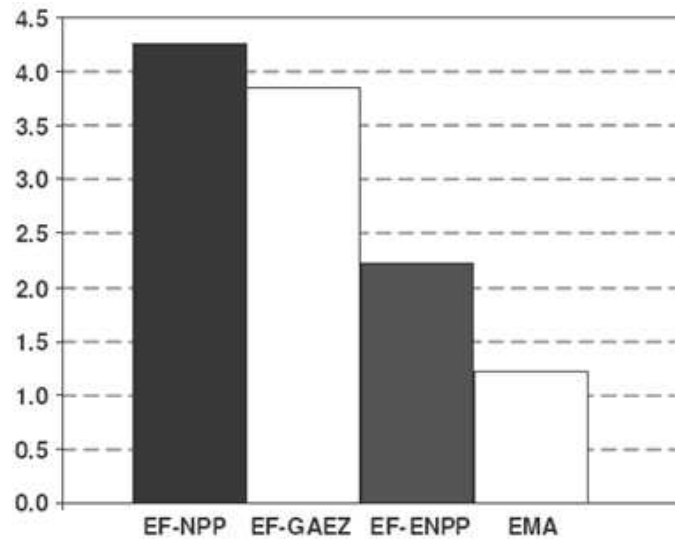


Figure 2. Comparison of BC/EF relation for the analyzed methods.

Anexo 1. Biodiversidade e Áreas protegidas – Peru (EarthTrends, 2003)

	Peru	South America	World
Total Land Area (000 ha)	128,522	1,785,515	13,328,979
Protected Areas			
Extent of Protected Areas by IUCN Category (000 ha), 2003:			
Nature Reserves, Wilderness Areas, and National Parts (categories I and II)	3,664	66,424	438,447
Natural Monuments, Species Management Areas, and Protected Landscapes and Seascapes (categories III, IV and V)	345	39,637	326,503
Areas Managed for Sustainable Use and Unclassified Areas (categories VI and “other”)	17,599	269,145	692,723
Total Area Protected (all categories)	21,609	375,207	1,457,674
Marine and Littoral Protected Areas ^(a)	339	21,008	417,970
Protected Areas as a Percent of Total Land Area, 2003 ^(b)	16.7%	21.1%	10.8%
Number of Protected Areas, 2003	62	2,586	98,400
Number of Areas > 100,000 ha, 2003	29	465	2,091
Number of Areas > 1 million ha, 2003	8	86	243
Wetlands of International Importance (Ramsar Sites), 2002:			
Number of Sites	8	61	1,179
Total Area (000 ha)	6,759	23,360	102,283
Biosphere Reserves, 2002			
Number of Sites	3	39	408
Total Area (000 ha)	3,268	163,832	439,000
Number and Status of Species			
Higher Plants			
Total know species (number), 1992-2002	17,144	X	X
Number of threatened species, 2002	269	X	5,714
Mammals			
Total know species (number), 1992-2002	460	X	X
Number of threatened species, 2002	49	X	1,137
Breeding Birds			
Total know species (number), 1992-2002	695	X	X
Number of threatened species, 2002	76	X	1,192
Reptiles			
Number of Total know species, 1992-2002	347	X	X
Number of threatened species, 2002	6	X	293
Amphibians			
Number of Total know species, 1992-2002	352	X	X
Number of threatened species, 2002	1	X	157
Fish			
Number of Total know species, 1992-2002	166	X	X
Number of threatened species, 2002	1	X	792
Legal Trade in Selected Wildlife CITES ^(c) Status			
Year CITES ratified	X		
Net International Legal Trade Reported by CITES, 2000 (number) ^(d)			
Live Lizards	-673	-200,575	
Live Snakes	-135	-9,442	
Live Primates	0	-1,812	
Live Parrots	-2,171	-50,450	
Lizard Skins	X	-483,686	
Snake Skins	-1	18,253	
Crocodile Skins	X	-558,495	
Wild Cat Skins	-2	1	

Footnotes:

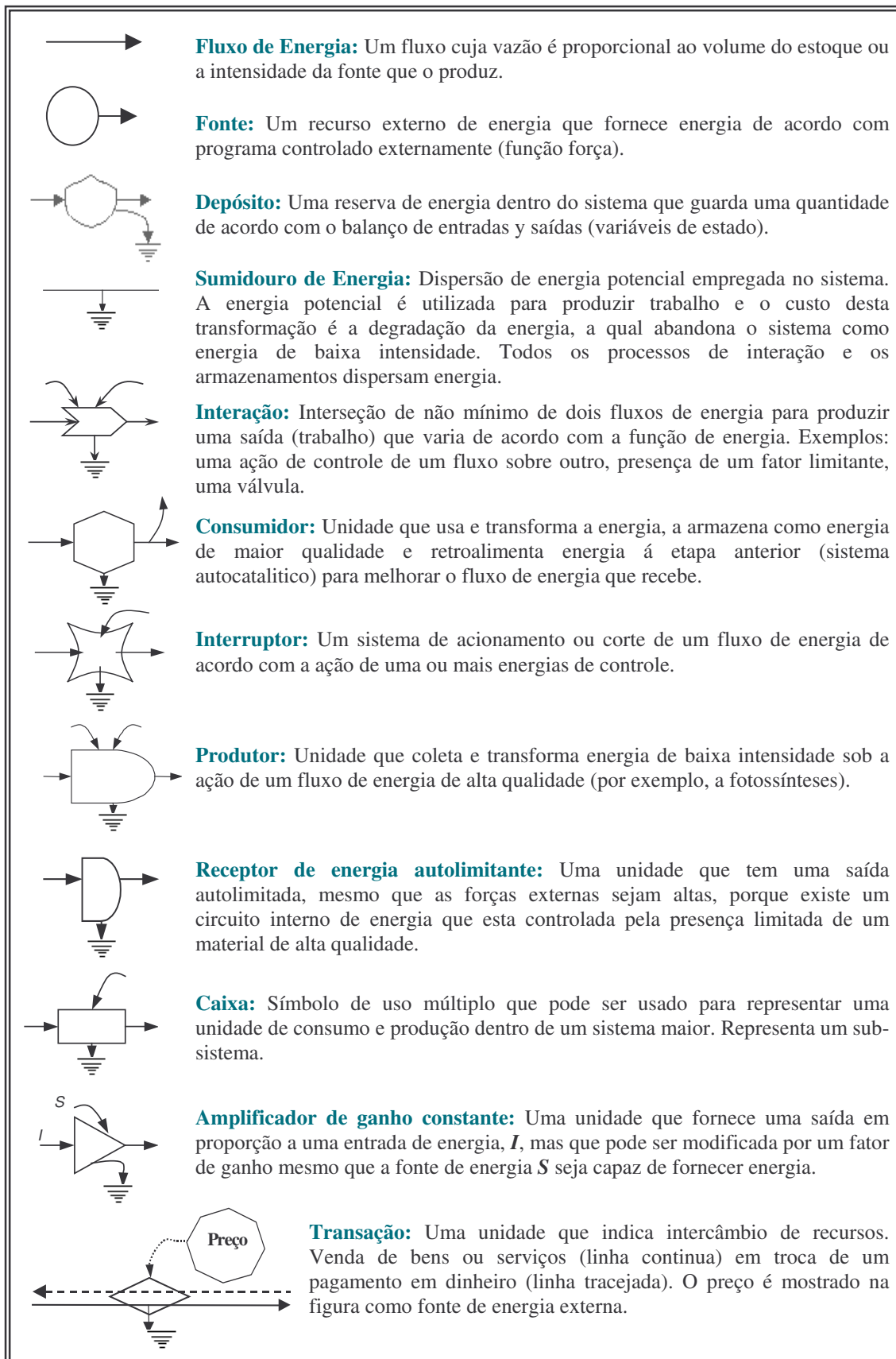
a. Marine and littoral protected areas are not included in the “Total Area Protected” above.

b. Includes IUCN categories I-V. Marine and littoral protected areas are excluded from these totals.

c. CITES is an acronym for the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora.

d. Positive numbers represent net between countries in the same region.

Anexo 2. Símbolos da linguagem de fluxos de energia para representar Sistemas Emergéticos (Odum, 1967, 1983).



Anexo 3. Fatores e valores exergéticos das fontes e recursos utilizados por um sistema nacional.

Fonte de energia	Unidade	Média	Referência	Comentário
Insolação	exergia/energia	0,93	Wall, 1998	
Energia potencial	exergia/energia	1	Wall, 1998	
Energia cinética	exergia/energia	1	Wall, 1998	
Energia química	exergia/energia	1	Wall, 1998	
Radiação térmica da terra	TW	32	Hermann, 2006	Fluxo na superfície terrestre (5,10E+8 km ²)
Vento	Exergia (W/m ²)	336	Hermann, 2006	Valor calculado a 50 m de 6,6m/s em forma perpendicular à direção do vento.
Ondas	Exergia (kW/m)	55	Hermann, 2006	Média entre 10 e 100 kW/m ²
Gravitacional da chuva	Exergia (kJ/kg)	6,57	Hermann, 2006	
Química da chuva	Exergia (kJ/kg)	4,9	Hermann, 2006	
Biomassa:	Exergia (MJ/kg)	17,5	Hermann, 2006	Base seca e dependendo do conteúdo de C. Média entre 15 e 20 MJ/kg
Eucalipto	Exergia (MJ/kg)	19,9	Hermann, 2006	Base seca
Álamo	Exergia (MJ/kg)	19,2	Hermann, 2006	Base seca
Stover de milho	Exergia (MJ/kg)	18,2	Hermann, 2006	Base seca
Bagaço	Exergia (MJ/kg)	17,2	Hermann, 2006	Base seca
Jacinto aquático	Exergia (MJ/kg)	15,2	Hermann, 2006	Base seca
Kelp marrom	Exergia (MJ/kg)	10,9	Hermann, 2006	Base seca
Mares	Exergia (kJ/m ²)	10	Hermann, 2006	
Geotérmica	Exergia (kJ/kg)	125	Hermann, 2006	A temperatura de referência de 286 K

Continua...

Fonte de energia	Unidade	Média	Referência	Comentário
Combustíveis fósseis:				
Carvão	Exergia (MJ/kg)	25	Hermann, 2006	Dependendo do conteúdo de “C”. Média entre 20 e 30 MJ/kg.
Carvão	Exergia/energia	1,06	Chen e Chen, 2006	
Petróleo (químico)	Exergia (MJ/kg)	42	Hermann, 2005	Baixo peso molecular. Média entre 40 e 44 MJ/kg
Petróleo (químico)	Exergia (MJ/kg)	25	Hermann, 2005	Alto peso molecular (40MJ/kg para hidrocarboneto de misturas inorgânicas e 10MJ/kg quando a massa da parte inorgânica é incluída). Valor apresentado é a média.
Petróleo (combustível)	Exergia/energia	1,06	Chen e Chen, 2006	
Gás natural	Exergia/energia	1,04	Chen e Chen, 2006	
Material Nuclear:				
Urânio	Exergia (TJ/kg)	77	Hermann, 2006	
Tório	Exergia (TJ/kg)	78	Hermann, 2006	
Lítio	Exergia (TJ/kg)	226	Hermann, 2006	
Deutério	Exergia (TJ/kg)	345	Hermann, 2006	
Fertilizantes:	MJ/kg	9,42		Média dos valores das exergias químicas do N, P, K e CaCO ₃
N	MJ/kg	0,0257	Wall, 1998	http://www.exergy.se/
P	MJ/kg	28,2755	Wall, 1998	Exergetics, 132 - 139
K	MJ/kg	9,3755	Wall, 1998	
Calcáreo	MJ/kg	0,0099	Wall, 1998	Exergia baseada em CaCO ₃

Continua...

Fonte de energia	Unidade	Média	Referência	Comentário
Lenha	Exergia/energia	1,15	Ayres et al., 2003	Valido também para madeira, biomassa, etc. em base seca
Alimentos e produtos da Agricultura	Exergia/energia	1,27	Chen e Chen, 2006	Com valores do consumo da China (considerando uma umidade de 20%)
Alimentos, Pecuária e pesca	Exergia/energia	3,43	Chen e Chen, 2006	Com valores do consumo da China (considerando uma umidade de 80%)
Metais:	J/g	2333,22	Wall, 1998	Média das exergias do Zn, Fe, Cu, Au e Al.
Zn	J/g	5188,92	Wall, 1998	
Fe	J/g	6739,84	Wall, 1998	
Cu	J/g	2112,06	Wall, 1998	
Au	J/g	78,19	Wall, 1998	
Al	J/g	3276,32	Wall, 1998	
Plástico e borracha	Exergia/energia	1,08	Chen e Chen, 2006	
Químicos	J/g	1769,33	Wall, 1998	Exergia baseada na média de H ₂ SO ₄ e NaOH

Anexo 4. Transformidades utilizadas no cálculo dos Índices de Desempenho Emergético (EMPIs) de uma Economia Nacional

Fluxo	Transformidade	Referência	Comentário
Renováveis			
Sol	1 seJ/J		Por definição
Potencial Químico da Chuva	3,05E+04 seJ/J	Odum et al., 2000 (Folio 1: 8)	Valor já corrigido na referência
	1,45E+05 seJ/g	Odum et al., 2000 (Folio 1: 8)	Valor já corrigido na referência
Geopotencial da Chuva (rios)	4,70E+04 seJ/J	Odum et al., 2000 (Folio 1: 8)	Valor já corrigido na referência
Ventos	2,45E+03 seJ/J	Odum et al., 2000 (Folio 1: 8)	Valor já corrigido na referência
Ondas	5,10E+04 seJ/J	Odum et al., 2000 (Folio 1: 8)	Valor já corrigido na referência
Marés	7,39E+04 seJ/J	Odum et al., 2000 (Folio 1: 8)	Valor já corrigido na referência
Calor da terra	5,80E+04 seJ/J	Odum, 2000 (Folio 2: 20)	Valor já corrigido na referência
Biomassa	1000 seJ/J	Odum, 1996: 22	Transformidade da produção orgânica.
Renováveis locais			
Hidroeletricidade	2,67E+05 seJ/J	Odum, 1996: 187	O valor apresentado no artigo de 1,59 E+05 foi multiplicado por 1,68. Este foi o valor usado na tese.
Energia Elétrica	1,11E+05 seJ/J	Brown e Ulgiati, 2004: 348	O valor da transformidade corresponde a eletricidade gerada incluindo mão de obra e serviços.
	2,52E+05 seJ/J	Brown e Ulgiati, 2004: 346,347	Energia Elétrica para irrigação, para usinas de tratamento de água residual e outros processos elétricos.
	1,06E+05 seJ/J	Brown e Ulgiati, 2004: 348	O valor da transformidade corresponde a eletricidade gerada não incluindo mão de obra e serviços.

Continua...

Fluxo	Transformidade	Referência	Comentário
Energia Elétrica	2,92E+05 seJ/J	Odum, 1996: 305	Valor médio de transformidade, calculado como a média de varias fontes de energia elétrica, incluída a hidroelétrica (o valor apresentado de 170 681 foi multiplicado por 1,68).
	2,68E+05 seJ/J	Brandt-Williams, 2002	Valor já corrigido na referência
Produção Agrícola	3,36E+05 seJ/J	Brown e MacClanaham, 1996: 114	O valor apresentado no artigo de 2,00 E+05 foi multiplicado por 1,68.
Produção pecuária	3,36E+06 seJ/J	Brown e MacClanaham, 1996: 114	O valor apresentado no artigo de 2,00 E+06 foi multiplicado por 1,68.
Produção pesqueira	3,36E+06 seJ/J	Brown e MacClanaham, 1996: 114	O valor apresentado no artigo de 2,00 E+06 foi multiplicado por 1,68.
Produção de lenha	2,21E+04 seJ/J	Romitelli, 2000: 58	Valor baseado na produção de eucalipto.
Extração florestal	2,21E+04 seJ/J	Romitelli, 2000: 58	Valor baseado na produção de eucalipto.
Não renováveis (usados no país, importados e exportado)			
Gás natural	5,88E+04 seJ/J	Romitelli, 2000: 58	
Petróleo	8,90E+04 seJ/J	Odum, 1996	
Derivados do petróleo	1,11E+05 seJ/J	Odum, 1996	
	5,50E+04 seJ/J	Bastianoni, Campbell, Susani e Tiezzi, 2006.	Diesel
Carvão	6,69E+04 seJ/J	Odum, 1996	
Minerais	1,35E+10 seJ/g		Fertilizantes (valor médio)
	2,72E+06 seJ/J	Brown e Ulgiati, 2004.	Calcário
	1,68E+05 seJ/g	Brown e Ulgiati, 2004	Calcário

Continua...

Fluxo	Transformidade	Referência	Comentário
Minerais	1,97E+09 seJ/g	Brown e Buranakan, 2000	Cimento
	2,99E+10 seJ/g P	Odum, 1996.	Fósforo natural (O valor apresentado por Odum na tabela 7.7 foi multiplicado por 1,68)
	2,92E+09 seJ/g K	Odum, 1996.	Potássio Natural (O valor apresentado por Odum na tabela C.4 foi multiplicado por 1,68)
	2,92E+09 seJ/g K	Brandt-Williams, 2002.	Potássio / Potash
	7,73E+09 seJ/g	Odum, 1996	Nitrogênio
	6,38E+09 seJ/g N	Bargigli e Ulgiati, 2003	Fertilizantes nitrogenados (uréia)
	6,55E+09 seJ/g P	Brown e Ulgiati, 2004.	Fosfato
	1,68E+09 seJ/g		Outros
	1,10E+09 sej/g	Brandt-Williams, 2002	Cloreto de Potássio
Metais	1,43E+09 seJ/g	Odum, 1996	Zinco
	1,44E+09 seJ/g	Odum, 1996	Ferro
	2,78E+09 seJ/g	Brown e Buranakarn, 2000	Ferro e aço
	1,61E+08 seJ/g	Odum e Arding, 1991	Cobre
	1,68E+09 seJ/g	Brown e Ulgiati, 2004.	Cobre (sulfeto de cobre)
	1,66E+11 seJ/g	Odum, 1996	Cobre (fio)
	4,22E+08 seJ/g	Odum e Arding, 1991	Ouro
	1,25E+10 seJ/g	Brown e Buranakarn, 2000	Alumínio
	3,42E+09 seJ/g	Odum, 1996	Alumínio
1,68E+09 seJ/g	Odum, 1996	Outros	

Continua...

Fluxo	Transformidade	Referência	Comentário
Perda do solo	1,68E+09 seJ/g	Odum, 1996	Solo
	7,40E+04 seJ/J	Brown e Bardi, 2001	Solo superficial
	1,24E+05 seJ/J	Brown e Ulgiati, 2004	Perda de Solo
Plásticos e borrachas	1,11E+05 seJ/J	Odum, 1996	Valor usado na tese.
	7,2E+09 seJ/g	http://www.unicamp.br/fea/ortega/	Plástico
Químicos	1,97E+12 seJ/kg	Página do Laboratório	Plástico
	1,48E+10 seJ/g	Brown e Arding, 1991	Pesticidas
Materiais finais	2,49E+10 seJ/g	Brown e Ulgiati, 2004	Inseticidas (Herbicida e pesticida)
	3,69E+09 seJ/g	Luchi e Ulgiati, 2000	Papel
	3,90E+11 seJ/kg	Odum 1996	Papel
Maquinaria, transporte, equipamento	3,90E+09 seJ/g	Cialani, Russi e Ulgiati, 2005.	Papel
	8,80E+08 seJ/g	Brown e Buranakan, 2000	Madeira serrada
	5,85E+09 seJ/g	Brown e Buranakan, 2000	Outros (PVC)
	6,70E+09 seJ/g	Brown e Bardi, 2001	Valor a ser utilizado nos cálculos
	2,77E+09 seJ/J	Ulgiati e Brown, 2002	Equipamentos (aço inoxidável)
	5,31E+09 seJ/g	Brown e Ulgiati, 2004: 348	Aparentemente este é o valor do aço puro enquanto que o valor de 1,13E+10 é o valor do equipamento de aço com outros componentes.
	1,13E+10 seJ/g	Brown e Ulgiati, 2004: 346	O mesmo valor para maquinaria agrícola, maquinaria para resíduos e maquinaria de transporte (principalmente aço).
2,50E+09 seJ/g	Brown e Ulgiati, 2004: 348	Equipamientos (ferro)	

Anexo 5. Indicadores e variáveis utilizados na construção do ESI-2005.

Compo- nente	INDICADOR	VARIÁVEL	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL
Sistemas ambientais	Qualidade do ar	NO2	Concentração urbana de NO2
		SO2	Concentração urbana de SO2
		TSP	Concentração urbana de TSP
		INDOCR	Índice de poluição do ar por uso contínuo de combustível
	Biodiversidade	ECORISK	Porcentagem do território do país em ameaça eco regional
		PRTBRD	Porcentagem de espécies de pássaros ameaçados
		PRTMAM	Porcentagem de espécies de mamíferos ameaçados
		PRTAMPH	Porcentagem de espécies de anfíbios ameaçados
	Solo	NBI	Índice de biodiversidade nacional
		ANTH10	Porcentagem da área total de solo (incluindo águas internas) que tem muito baixo impacto antropogênico
	Qualidade da água	ANTH40	Porcentagem da área total de solo (incluindo águas internas) que tem muito alto impacto antropogênico
		WQ-DO	Concentração de oxigênio dissolvido
		WQ-EC	Condutividade elétrica
		WQ-PH	Concentração de fósforo
	Quantidade de água	WQ-SS	Sólidos em suspensão
		WATAVL	Disponibilidade per capita de água doce
Redução de Estresses Ambientais	Redução da poluição do ar	GRDAVL	Disponibilidade per capita de água subterrânea
		COALKM	Consumo de carvão por área de território povoado
		NOXKM	Emissões de NOx antropogênico por área de território povoado
		SO2KM	Emissões de SO2 antropogênico por área de território povoado
		VOCKM	Emissões de VOC antropogênico por área de território povoado
	Redução do estresse ecossistêmico	CARSKM	Veículos em uso por área de território povoado
		FOREST	Taxa média anual de mudança de bosque coberto de 1990 a 2000
	Redução da pressão demográfica	ACEXC	Excedente da acidificação por deposição de enxofre antropogênico
		GR2050	Mudança porcentual na população projetada 2004-2050
	Redução das pressões do consumo e desperdícios	TFR	Taxa de fertilidade total
		EFPC	Pegada ecológica per capita
		RECYCLE	Taxa de desperdício reciclado
	Redução da poluição da água	HAZWST	Geração de desperdício perigoso
		BODWAT	Emissões poluentes de águas orgânicas industriais (BOD) por água doce disponível
		FERTHA	Consumo de fertilizante por hectare de terra cultivável
		PESTHA	Consumo de pesticida por hectare de terra cultivável
	Gestão de recursos naturais	WATSTR	Porcentagem do país sob estresse severo de água
		OVRFSH	Produtividade da pesca excessiva
		FORCERT	Porcentagem da área total da floresta que é certificada para a gestão sustentável
		WEFSUB	Medida do Fórum Econômico Mundial sobre subsídios
IRRSAL		Área salinizada devido à irrigação como porcentagem da terra total cultivável	
	AGSUB	Subsídios na agricultura	

Continua...

Compo- nente	INDICADOR	VARIÁVEL	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	
Redução da Vulnerabilidade Humana	Saúde ambiental	DISINT	Taxa de morte por doenças infecciosas intestinais	
		DISRES	Taxa de morte de crianças por doenças respiratórias	
		U5MORT	Taxa de mortalidade de crianças sob cinco anos por cada 1.000 nascimentos vivos	
	Subsistência básica	UND-NO	Porcentagem de desnutrição na população total	
		WATSUP	Porcentagem da população com acesso a melhores fontes de água para beber	
	Vulnerabilidade a desastres naturais	DISCAS	Número médio de mortes por milhão de habitantes por inundações, ciclones tropicais e secas.	
DISEXP		Índice de exposição a perigo ambiental		
Capacidade Sócio-institucional	Governança Ambiental	GASPR	Razão do preço da gasolina à média mundial	
		GRAFT	Medida da corrupção	
		GOVEFF	Eficácia governamental	
		PRAREA	Porcentagem da área total de território sob status de protegido	
		WEFGOV	Medida do Fórum Econômico Mundial em governança ambiental	
		LAW	Régua das leis	
		AGENDA21	Iniciativas de Agenda 21 local por milhão de pessoas	
		CIVLIB	Liberdades civis e políticas	
		CSDMIS	Porcentagem das variáveis que faltam do CGSDI "Rio a Johan esburgo"	
		IUCN	Organizações membro da IUCN por milhão de pessoas	
		KNWLDG	Criação do conhecimento em Ciência, Tecnologia e Políticas Ambientais.	
	POLITY	Medida da democracia		
	Eco-eficiência	ENEFF	Eficiência energética	
		RENPC	Produção de energia hidráulica e renovável como porcentagem do consumo de energia total	
	Reação do setor privado	DJSGI	Índice de sustentabilidade Dow Jones	
		ECOVAL	Nota média da "Innovest EcoValue" das firmas com sede no país	
		ISO14	Número de companhias certificadas com ISO 14001 por bilhão de dólares GDP (PPP)	
		WEFPRI	Medida do Fórum Econômico Mundial sobre inovação ambiental do setor privado	
		RESCARE	Participação no "Programa de Cuidado Responsável" da Associação de Fabricantes Químicos	
	Ciência e tecnologia	INNOV	Índice de inovação	
		DAI	Índice de acesso digital	
		PECR	Taxa de conclusão da instrução primária feminina	
		ENROL	Taxa de registro terciário bruto	
		RESERCH	Número de pesquisadores por milhão de habitantes	
	Responsabilidade Global	Participação em esforços multilaterais	EIONUM	Número de associados em organizações inter-governamentais ambientais
			FUNDING	Contribuição, a fundações internacionais e bilaterais, de ajuda a projetos ambientais e de desenvolvimento.
			PARTICIP	Participação em acordos ambientais internacionais
		Emissões de gases estufa	CO2GDP	Emissões de carbono por milhão de dólares
			CO2PC	Emissões de carbono per capita
		Redução de pressões amb. Transfront.	SO2EXP	SO2 exportado
POLEXP	Importação de bens poluídos e materiais crus como porcentagem de importações totais de bens e serviços			

Fonte: Esty et al. (2005).

Anexo 6. Características dos Clusters utilizados na comparação cruzada de países no ESI-2005.

Cluster		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7
	Numero de países	17	41	8	18	19	19	24
	ESI	52.9	47.1	66.3	49.6	57.1	44.0	46.2
Valores médios dos componentes do ESI	Sistemas ambientais	39.1	50.8	75.6	43.4	66.9	51.5	37.4
	Redução do estresse ambiental	33.9	54.7	44.0	50.9	55.7	52.6	50.9
	Redução da vulnerabilidade humana	71.3	26.6	78.0	72.2	51.0	54.2	49.4
	Capacidade social e institucional	77.7	36.1	83.5	52.3	52.1	29.6	44.4
	Manejo global	57.5	63.6	49.4	31.4	54.5	26.8	52.2
Valores médios de outras características	GDP/capita (USD)	27480	420	29860	4390	2980	3810	1730
	População (milhões)	33.6	19.0	46.1	11.8	21.2	20.7	149.0
	Área total (milhes de km ²)	171.0	539.0	3466.0	123.0	102.0	156.0	1010.0
	Densidade populacional (por km ²)	238.0	70.3	13.5	122.0	32.1	56.0	174.0
	Indicador de governança ambiental (risco-z) ^(*)	1.0	-0.5	1.0	0.2	0.1	-0.6	-0.2

^(*) Nota: Valores altos de risco-z correspondem a uma maior efetividade na governança ambiental
 Fonte: Esty et al. (2005).