

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO (MESTRADO E DOUTORADO) EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO DOS ÍNDICES EM
ENERGIA E DE INDICADORES USUAIS DE
SUSTENTABILIDADE

Pedro Américo Frugoli

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

São Paulo

2012

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO (MESTRADO E DOUTORADO) EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO DOS ÍNDICES EM
ENERGIA E DE INDICADORES USUAIS DE
SUSTENTABILIDADE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Biagio Fernando Giannetti

Área de Concentração: Produção e Meio Ambiente

Linha de Pesquisa: Produção Mais Limpa e Ecologia Industrial.

Projeto de Pesquisa: Ecologia Industrial: Conceitos e ferramentas para a Engenharia e o gerenciamento da sustentabilidade.

Pedro Américo Frugoli

São Paulo

2012

Frugoli, Pedro Américo

Estudo Comparativo do Índices em Emergia e de Indicadores Usuais de Sustentabilidade./ Pedro Américo Frugoli. São Paulo, 2012.
104 f (com os anexos em CD: 468 f).

Tese (Doutorado) – Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, São Paulo, 2012.

Área de Concentração: Engenharia de Produção e Meio Ambiente

“Orientação: Prof. Dr. Biagio F. Giannetti”

1. Sustentabilidade 2. Contabilidade Ambiental 3. Emergia 4. Indicadores 5. Coeficientes de correlação I. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Antônio (*in memoriam*) e Diva (*in memoriam*), que me deram não somente a vida, mas, principalmente, a minha educação e o devido preparo para a escola da vida.

À minha querida esposa Anarlete, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Aos meus queridos filhos Alexandre, Márcio e Ivan, e noras Andréa, Simone e Fabiana, que muito me incentivaram e sempre torceram pelo meu sucesso profissional, e particularmente nessa empreitada.

Aos meus netos Enzo, Pietra, Luca e Ana Luiza, que me trazem muita alegria e inspiração, esperando que, para eles, toda a minha dedicação sirva como exemplo e incentivo para os seus futuros como cidadãos e como profissionais.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Biagio F. Giannetti, pela valiosa orientação na elaboração deste trabalho, assim como pela paciência, atenção e amizade demonstradas ao longo do período de desenvolvimento do mesmo.

Ao Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho, meu coorientador, por seus comentários e sugestões que muito contribuíram para enriquecer este trabalho.

À Prof^a. Dr^a. Cecília M. V. B. de Almeida, por seu incentivo e contribuições essenciais. Com suas argumentações e sugestões tive a oportunidade de enriquecer meu conhecimento.

À Prof^a. Dr^a. Silvia H. Bonilla, pelas suas sugestões e por sempre estar disposta a ajudar no desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca: Prof^a. Dr^a. Cecília M. V. B. de Almeida, Prof. Dr. José Roberto Cardoso, Prof^a. Dr^a. Silvia H. Bonilla e Prof. Dr. Tibor Raboczkay, por terem aceitado participar da avaliação deste trabalho e pelas valiosas contribuições.

Ao Prof. Dr. João Carlos Di Genio, Reitor da Universidade Paulista (UNIP), pelo apoio e incentivo em todos os momentos de minha trajetória na Universidade Paulista – UNIP, e durante a execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Fábio Romeu de Carvalho, Vice-Reitor da Universidade Paulista (UNIP), pelo apoio e incentivo em todos os momentos de minha carreira na Universidade Paulista – UNIP, e ao longo deste trabalho.

À Prof^a. Ana Paula Zaccaria dos Santos, pelo inestimável trabalho com valiosa dedicação e importantes discussões ao longo deste estudo.

Ao Prof. Pedro Tijunelis, pela sua valiosa contribuição técnica na execução dos grafos.

Ao Prof^o Ivan D. Frugoli pela colaboração técnica na elaboração de tabelas e figuras do trabalho.

Ao Prof. Fábio Sevegnani, pela amizade, apoio e revisão do *abstract*.

À Prof^a. Solimar Garcia, pela revisão ortográfica do texto.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pelo apoio, amizade e troca de experiências ao longo destes últimos anos.

À minha esposa Anarlete D. Frugoli pelo apoio, incentivo, compreensão e paciência, que sem os quais a meta deste trabalho não seria atingida.

Aos meus filhos Alexandre D. Frugoli, Márcio D. Frugoli e Ivan D. Frugoli, dos quais muito me orgulho, pela parceria em minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste estudo.

Agradeço também a todos aqueles que tornaram a realização deste trabalho possível. A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional, e também a todos que me apoiaram durante esta jornada.

E finalmente a Deus, por estar sempre iluminando meu caminho pessoal e profissional.

A todos, muito obrigado!

SUMÁRIO

Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xiii
Lista de anexos	xv
Resumo	xviii
<i>Abstract</i>	xix
1. Introdução	20
2. Objetivos	23
3. Revisão bibliográfica	24
4. Metodologia	42
4.1 Contabilidade ambiental em emergia	42
4.2 Indicadores usuais de sustentabilidade	44
4.3 Análise de correlação	48
4.4 Teoria dos grafos	50
4.5 Coleta de dados	51
5. Resultados e discussão	53
5.1 Estudo comparativo dos países por continentes	70
5.2 Estudo comparativo dos países por grupos de democracia	83
5.3 Estudo comparativo dos países por grupos de desenvolvimento humano	91
6. Conclusões	99
7. Propostas para trabalhos futuros	101

8. Referências	102
Anexos (CD)	105

Lista de figuras

Figura 1 - Gráfico que mostra a satisfação com a vida em função do PIB per capita	33
Figura 2 - Gráfico que mostra a satisfação com a vida em função do PIB per capita para as divisões por faixas etárias	34
Figura 3 - Representação das quatro tipologias de tendências da Biocapacidade e da Pegada Ecológica	36
Figura 4 - Exemplo de grafo	51
Figura 5 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos renováveis (R) e o Produto Interno Bruto (<i>GDP</i>) para 106 países	55
Figura 6 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos renováveis (R) e o Índice de Biocapacidade Excedente (<i>SB</i>) para 106 países	55
Figura 7 - Grafo que mostra a fração dos recursos naturais renováveis (R) com os 10 indicadores estudados	56
Figura 8 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos não renováveis (N) e o Produto Interno Bruto (<i>GDP</i>) para 106 países	57
Figura 9 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos não renováveis (N) e o Produto Interno Bruto per capita (<i>GDPpc</i>) para 106 países	57
Figura 10 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos não renováveis (N) e o Índice de Desenvolvimento Humano (<i>HDI</i>) para 106 países.....	58
Figura 11 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos não renováveis (N) e o Índice de Felicidade (<i>HL Y</i>) para 104 países	58
Figura 12 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos não renováveis (N) e o Índice de Expectativa de Vida (<i>LY</i>) para 106 países	58
Figura 13 - Grafo que mostra a fração de recursos naturais não renováveis (N) com os 10 indicadores estudados	59

Figura 14 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Produto Interno Bruto (<i>GDP</i>) para 106 países	60
Figura 15 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Produto Interno Bruto per capita (<i>GDPpc</i>) para 106 países	60
Figura 16 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Índice de Desenvolvimento Humano (<i>HDI</i>) para 106 países	61
Figura 17 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Índice de Felicidade (<i>HL Y</i>) para 104 países	61
Figura 18 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Índice de Expectativa de Vida (<i>LY</i>) para 106 países	61
Figura 19 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e a Pegada Ecológica (<i>EF</i>) para 106 países	62
Figura 20 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e a Biocapacidade Excedente (<i>SB</i>) para 106 países	62
Figura 21 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Índice de Democracia (<i>D. Index</i>) para 106 países	62
Figura 22 - Grafo que mostra a fração dos recursos provenientes da economia (F) com os 10 indicadores estudados	63
Figura 23 - Diagrama de dispersão para 104 países entre os índices em energia (<i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i>) e o Índice de Felicidade (<i>HL Y</i>)	64
Figura 24 - Diagrama de dispersão para 106 países entre os índices em energia (<i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i>) e o Índice de Desenvolvimento Humano (<i>HDI</i>).....	65
Figura 25 - Diagrama de dispersão para 106 países entre os índices em energia (<i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i>) e o Índice de Expectativa de Vida (<i>LY</i>)	66
Figura 26 - Grafo que mostra o Índice de Rendimento em Energia (<i>EYR</i>) com os 10 indicadores estudados	67

Figura 27 - Grafo que mostra o Índice de Carga Ambiental (<i>ELR</i>) com os 10 indicadores estudados	67
Figura 28 - Grafo que mostra o Índice de Sustentabilidade (<i>ESI</i>) com os 10 indicadores estudados	68
Figura 29 - Grafos que mostram a fração dos recursos naturais renováveis (<i>R</i>) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América, Europa, África, Ásia e com os 106 países	75
Figura 30 - Grafos que mostram a fração dos recursos naturais não renováveis (<i>N</i>) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América, Europa, África, Ásia e com os 106 países	76
Figura 31 - Grafos que mostram a fração dos recursos provenientes da economia (<i>F</i>) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América, Europa, África, Ásia e com os 106 países	77
Figura 32 - Grafos que mostram o Índice de Rendimento em Energia (<i>EYR</i>) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América, Europa, África, Ásia e com os 106 países	78
Figura 33 - Grafos que mostram o Índice de Carga Ambiental (<i>ELR</i>) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América, Europa, África, Ásia e com os 106 países	79
Figura 34 - Grafos que mostram o Índice de Sustentabilidade (<i>ESI</i>) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América, Europa, África, Ásia e com os 106 países	80
Figura 35 - Grafos que mostram o Índice de Rendimento em Energia (<i>EYR</i>) com os 10 indicadores estudados para a América do Sul e para a América	82
Figura 36 - Grafos que mostram a fração dos recursos naturais renováveis (<i>R</i>) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de regime democrático.....	84
Figura 37 - Grafos que mostram a fração dos recursos naturais não renováveis (<i>N</i>) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de regime democrático	85

Figura 38 - Grafos que mostram a fração dos recursos provenientes da economia (F) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de regime democrático	86
Figura 39 - Grafos que mostram o Índice de Rendimento em Emergia (EYR) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de regime democrático	87
Figura 40 - Grafos que mostram o Índice de Carga Ambiental (ELR) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de regime democrático	88
Figura 41 - Grafos que mostram o Índice de Sustentabilidade (ESI) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de regime democrático	89
Figura 42 - Grafos que mostram a fração dos recursos naturais renováveis (R) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de desenvolvimento humano	92
Figura 43 - Grafos que mostram a fração dos recursos naturais não renováveis (N) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de desenvolvimento humano	93
Figura 44 - Grafos que mostram a fração dos recursos provenientes da economia (F) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de desenvolvimento humano	94
Figura 45 - Grafos que mostram o Índice de Rendimento em Emergia (EYR) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de desenvolvimento humano	95
Figura 46 - Grafos que mostram o Índice de Carga Ambiental (ELR) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de desenvolvimento humano	96
Figura 47 - Grafos que mostram o Índice de Sustentabilidade (ESI) com os 10 indicadores estudados dos diversos tipos de desenvolvimento humano	97

Lista de tabelas

Tabela 1 - Panorama geral dos artigos pesquisados	38
Tabela 2A - Matriz de correlação com os coeficientes de determinação (r^2) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos	54
Tabela 2B - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos	54
Tabela 2C - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos e dimensionados de forma mais simples	54
Tabela 3 - Classificação dos indicadores selecionados, incluindo as dimensões de sustentabilidade de cada indicador, e o grau de correlação de Spearman entre eles	69
Tabela 4A - Matriz de correlação com os coeficientes de determinação (r^2) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da América	71
Tabela 4B - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores para os países da América	71
Tabela 4C - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos e dimensionados de forma mais simples para os países da América	71
Tabela 5A - Matriz de correlação com os coeficientes de determinação (r^2) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da Europa	72
Tabela 5B - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da Europa	72
Tabela 5C - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos e dimensionados de forma mais simples para os países da Europa	72

Tabela 6A - Matriz de correlação com os coeficientes de determinação (r^2) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da África 73

Tabela 6B - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da África73

Tabela 6C - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos e dimensionados de forma mais simples para os países da África 73

Tabela 7A - Matriz de correlação com os coeficientes de determinação (r^2) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da Ásia 74

Tabela 7B - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da Ásia 74

Tabela 7C - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N e F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos e dimensionados de forma mais simples para os países da Ásia..... 74

Lista de anexos

Anexos A.1 a A.6 – Tabelas que mostram os valores e o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergia dos recursos R, N e F e dos índices em emergia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com o Produto Interno Bruto (<i>GDP</i>)	105
Anexos B.1 a B.6 – Tabelas que mostram os valores e o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergia dos recursos R, N e F e dos índices em emergia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com o Produto Interno Bruto per capita (<i>GDPpc</i>)	117
Anexos C.1 a C.6 – Tabelas que mostram os valores e o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergia dos recursos R, N e F e dos índices em emergia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com o Índice de Desenvolvimento Humano (<i>HDI</i>)	129
Anexos D.1 a D.6 – Tabelas que mostram os valores e o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergia dos recursos R, N e F e dos índices em emergia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com o Índice de Felicidade (<i>HLI</i>)	141
Anexos E.1 a E.6 – Tabelas que mostram os valores e o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergia dos recursos R, N e F e dos índices em emergia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com o Índice Expectativa de Vida (<i>LY</i>)	153
Anexos F.1 a F.6 – Tabelas que mostram os valores para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergia dos recursos R, N e F e dos índices em emergia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com a Pegada Ecológica (<i>EF</i>)	165
Anexos G.1 a G.6 – Tabelas que mostram os valores e o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergia dos recursos R, N e F e dos índices em emergia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com a Biocapacidade Excedente (<i>SB</i>)	177
Anexos H.1 a H.6 – Tabelas que mostram os valores e o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergia dos recursos R, N e F e dos índices em emergia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com o Índice de Democracia (<i>D. Index</i>)	189
Anexos I.1 a I.6 – Tabelas que mostram os valores e o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergia dos recursos R, N e F e dos índices em emergia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com o Índice de Bem-Estar (<i>WI</i>)	201

Anexos J.1 a J.6 – Tabelas que mostram os valores e o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergência dos recursos R, N e F e dos índices em emergência <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com o Índice de Sustentabilidade Ambiental (<i>ESI-2002</i>)	213
Anexos K.1 a K.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergência dos recursos R, N e F e dos índices em emergência <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores estudados para a América	225
Anexos L.1 a L.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergência dos recursos R, N e F e dos índices em emergência <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores estudados para a Europa	240
Anexos M.1 a M.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergência dos recursos R, N e F e dos índices em emergência <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores estudados para a África	260
Anexos N.1 a N.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergência dos recursos R, N e F e dos índices em emergência <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores estudados para a Ásia	280
Anexos O.1 a O.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergência dos recursos R, N e F e dos índices em emergência <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores estudados para democracia plena	295
Anexos P.1 a P.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergência dos recursos R, N e F e dos índices em emergência <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores estudados para democracia imperfeita	310
Anexos Q.1 a Q.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergência dos recursos R, N e F e dos índices em emergência <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores estudados para regime híbrido	340
Anexos R.1 a R.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a emergência dos recursos R, N e F e dos índices em emergência <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores estudados para regime autoritário	360

Anexos S.1 a S.3 – Tabelas que mostram as correlações dos coeficientes de determinação (r^2), e do coeficiente de Spearman (r_s) dimensionados de forma mais simples para cada grupo de regime democrático	375
Anexos T.1 a T.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a energia dos recursos R, N e F e dos índices em energia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores para desenvolvimento humano muito elevado	378
Anexos U.1 a U.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a energia dos recursos R, N e F e dos índices em energia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores para desenvolvimento humano elevado	398
Anexos V.1 a V.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a energia dos recursos R, N e F e dos índices em energia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores para desenvolvimento humano intermediário	418
Anexos W.1 a W.10 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> para obtenção dos coeficientes de Spearman (r_s) entre a energia dos recursos R, N e F e dos índices em energia <i>EYR</i> , <i>ELR</i> e <i>ESI</i> com os 10 indicadores para desenvolvimento humano baixo	438
Anexos X.1 a X.3 – Tabelas que mostram as correlações dos coeficientes de determinação (r^2) e do coeficiente de Spearman (r_s) dimensionados de forma mais simples para cada grupo de desenvolvimento humano	453
Anexos Y.1 a Y.11 – Tabelas que mostram o <i>ranking</i> e a obtenção do coeficiente de correlação de Spearman (r_s) entre a energia dos recursos R, N e F e dos índices em energia com os 10 indicadores estudados e as tabelas que mostram as correlações entre os indicadores estudados para a América do Sul	456
Anexos Z.1 e Z.2 – Matrizes de correlações de Spearman (r_s) entre todos os indicadores estudados e dimensionados de forma mais simples	467

Resumo

A busca pela sustentabilidade e a maior preocupação com a degradação ambiental atraem cada vez mais os pesquisadores do mundo todo, e trazem a necessidade do desenvolvimento de indicadores que incluam a economia, a sociedade e o meio ambiente. Este estudo compara os índices em emergia com 10 indicadores conhecidos e retirados da literatura. São feitas correlações utilizando os coeficientes de Spearman, dos fluxos em emergia de recursos naturais renováveis (R), recursos naturais não renováveis (N), recursos provenientes da economia (F) e dos índices em emergia com os indicadores conhecidos. São estudados os dados referentes a 106 países e os mesmos também são empregados separadamente por continentes, por categorias de regime democrático e por grupos de desenvolvimento humano. A análise dos resultados é feita por matrizes e grafos ilustrativos das possíveis correlações. Os resultados da análise de correlação mostram que os coeficientes de correlação de Spearman, em geral, são menores nos estudos envolvendo os países separados em grupos (continentes, regime democrático e desenvolvimento humano) do que aqueles obtidos para os mesmos quando estudados num único grupo (106 países). Os resultados sugerem que os indicadores em emergia (*EYR*, *ELR* e *ESI*) são mais completos para o estudo de sustentabilidade de países, sendo o último, um indicador agregado que apresenta melhor correlação com os outros indicadores, tanto quando empregado no estudo dos 106 países, como quando utilizado em amostras menores.

Palavras-chave: sustentabilidade; contabilidade ambiental; emergia; indicadores; coeficientes de correlação.

Abstract

The search for sustainability and the growing concern with environmental degradation are increasingly attracting researchers from around the world, and bringing the need for developing indicators that include the economy, society and environment. This study compares the emergy indices with 10 known indicators taken from the literature. Correlations are made using the Spearman coefficients, of the fractions of renewable natural resources (R), nonrenewable natural resources (N), resources from the economy (F) and the emergy indices with the known indicators, and indexes emerged with the literature indicators. Data related to 106 countries are studied and these data are evaluated separately by continents, by democratic regime and by groups of human development. The analysis of the results is made by illustrative matrixes and graphs of possible correlations. The results of the analysis show that the correlation coefficients of Spearman, in general, are smaller in studies involving countries separated by groups than those obtained for the same countries when studied in a single group. The results suggest that the emergy indicators (EYR, ELR and ESI) are more complete for the study of the sustainability of countries, the latter, an aggregate indicator, shows better correlation with other indicators, both in the study of 106 countries and when used for smaller samples.

Keywords: sustainability, environmental accounting; emergy; indicators; correlation coefficients.

1. INTRODUÇÃO

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

Nas últimas décadas ocorreram vários encontros e acordos internacionais referentes à temática ambiental como a Conferência de Estocolmo, a primeira em nível mundial (1972), o Protocolo de Montreal (1987), o Relatório de Brundtland (1988), o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (1988), a Eco-92, ou Rio-92, e Agenda-21 Global (1992), o Protocolo de *Kyoto* (1997), o Encontro de Joanesburgo ou Rio+10 (2002), a Convenção do Clima de Copenhague (2009) e a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável ou Rio+20 (2012).

O Relatório de Brundtland ou Relatório Nosso Futuro Comum (1988), elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU), define desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que atende às necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades”. O relatório sugere a necessidade de uma conciliação entre as questões ambientais e socioeconômicas (CMMAD, 1998).

O conceito de desenvolvimento sustentável foi reforçado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992 (Eco-92 ou Rio-92), que resultou no documento Agenda 21, envolve aspectos sociais, econômicos e ambientais, e foi assinado por 170 países participantes. Uma das ações propostas na Agenda 21 é o desenvolvimento de estudos para definição de novos indicadores de uso sustentável dos recursos naturais.

A declaração de Joanesburgo ou Rio+10, da Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, reafirmou o compromisso da sociedade com o desenvolvimento sustentável, que busca o equilíbrio entre proteção ao meio ambiente e desenvolvimento social e econômico.

Segundo a declaração, o desenvolvimento sustentável é constituído por três pilares: desenvolvimento económico, desenvolvimento social e protecção ambiental. O documento discute questões críticas como pobreza, decadência urbana, crescimento populacional, igualdade de géneros, saúde, conflito, desperdício e degradação ambiental.

Com base no conteúdo das declarações e intenções do que foi publicado, surgiram várias ações no mundo e, junto com elas, a necessidade de avaliá-las em consonância com as ideias estabelecidas nesses encontros internacionais sobre meio ambiente e sustentabilidade. Assim, inúmeros pesquisadores têm se dedicado ao desenvolvimento e estudo de diversos tipos de indicadores de sustentabilidade, sendo que já existe um grande número desses indicadores para avaliar os países.

Dentre eles, Giannetti *et al.* (2009) afirmam que a sustentabilidade depende da disponibilidade e da distribuição dos recursos naturais disponíveis e quaisquer propostas de métricas para medi-la e monitorá-la devem incluir uma avaliação da disponibilidade desses recursos, devendo ser capaz de detectar e quantificar o equilíbrio entre a economia, a sociedade e o meio ambiente (ecossistema).

Neste trabalho são apresentados diferentes indicadores de sustentabilidade que envolvem os aspectos económicos, sociais e ambientais. A principal motivação deste estudo é a verificação das possíveis correlações entre diversos indicadores propostos na literatura, centrando-a nos indicadores de energia desenvolvidos por Odum (1996), que são abrangentes e com embasamento científico, buscando-se evidências para auxiliar na tomada de decisões inerentes à sustentabilidade.

O objetivo deste trabalho é determinar quais os indicadores isolados ou em conjunto que permitem informações mais seguras e convergentes para a determinação da sustentabilidade de países. Nesta pesquisa, considerou-se que os indicadores de energia são mais completos (SICHE *et al.*, 2008; GIANNETTI *et al.*, 2010), e por isso foram utilizados para comparação com outros indicadores. Para esta comparação, foi escolhido um estudo de caso (*case study*) que envolve sustentabilidade e desenvolvimento de países, retirado do *National Environmental Accounting Database - NEAD* (2000), que fornece informações detalhadas de 134 países. Esse banco de dados utiliza a contabilidade ambiental em energia de Odum (1996). Foram utilizados os dados da contabilidade ambiental em energia para 106 países, pois dos 134 países iniciais do *Nead* (2000), foram encontrados dados de todos os indicadores estudados apenas para 106

países. Os indicadores de emergência são comparados com indicadores de sustentabilidade e indicadores econômicos e sociais.

A interpretação entre os diversos indicadores estudados para os 106 países envolvidos é obtida a partir de uma matriz com os coeficientes de correlação de Spearman (r_s) e grafos construídos a partir da mesma. São utilizados valores de R (emergência dos recursos naturais renováveis), N (emergência dos recursos naturais não renováveis) e F (emergência dos recursos provenientes da economia), e três indicadores de emergência (Índice de Rendimento em Emergência - *EYR*, Índice de Carga Ambiental - *ELR* e Índice de Sustentabilidade - *ESI*) que são comparados com dez indicadores conhecidos e divididos em três grupos: o primeiro grupo com a Pegada Ecológica - *EF* e o Índice de Biocapacidade Excedente - *SB*, que são indicadores que envolvem as questões ambientais, sem preocupações com os temas econômicos e sociais; o segundo com o Índice de Bem-Estar - *WI* e o Índice de Sustentabilidade Ambiental - *ESI-2002*, que são indicadores mistos, pois medem a sustentabilidade mas são voltados para o bem-estar das pessoas (social e econômico); e o terceiro com o Produto Interno Bruto - *GDP*, Produto Interno Bruto per capita - *GDPpc*, Índice de Desenvolvimento Humano - *HDI*, Índice de Felicidade - *HLY*, Expectativa de Vida - *LY* e Índice de Democracia - *D. Index*, que são indicadores centrados no ser humano (aspectos econômicos e sociais).

2. OBJETIVOS

Este trabalho procura ampliar a discussão sobre a busca de um indicador (ou conjunto de indicadores) para representar a sustentabilidade de nações em seu aspecto global, mas também verifica a validade dos resultados encontrados quando os avalia considerando as características de cada continente, a influência do regime político adotado e a classificação utilizada pelo IDH, que é o indicador mais aceito atualmente para estabelecer o desenvolvimento de nações.

Para enriquecer a discussão e facilitar a compreensão de como os indicadores se inter-relacionam, este trabalho apresenta os resultados na forma de grafos.

2.1 Objetivos específicos

Verificar se o conjunto de indicadores em energia se correlaciona com os indicadores usuais empregados para avaliar a sustentabilidade.

Constatar se as conclusões obtidas no estudo das frações de recursos naturais renováveis (R), recursos naturais não renováveis (N) e recursos provenientes da economia (F) e dos indicadores em energia (*EYR*, *ELR* e *ES*), quando comparados com os 10 indicadores usuais de sustentabilidade, se mantêm quando os países estudados são separados por diferentes amostras (continentes, regimes democráticos e grupos de desenvolvimento humano).

Apresentar os resultados na forma de grafos para enriquecer a discussão e facilitar a compreensão de como os indicadores se inter-relacionam.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresenta os estudos que utilizam a contabilidade ambiental em emergia e os indicadores que tratam de temas semelhantes a este estudo. Nesta revisão, também foram estudados trabalhos que envolvem análises de correlação utilizando coeficientes de Pearson e de Spearman.

3.1 Trabalhos pesquisados na literatura relacionados às comparações de indicadores existentes e propostas de novos

Vários estudos de determinação e de comparação de indicadores de sustentabilidade e semelhantes ao desenvolvido neste trabalho foram encontrados na literatura. Alguns autores propõem novos indicadores (EHRlich e HOLDREN, 1971; COMMON, 2007; BURKHARDT, 2008); outros utilizam as comparações de indicadores em seus estudos (TIEZZI *et al.*, 2004; COHEN *et al.*, 2006; WILSON *et al.*, 2007; SICHE *et al.*, 2007; SICHE *et al.*, 2008; MORAN, 2008; RAINHAM *et al.*, 2008; DEATON, 2008; GIANNETTI *et al.*, 2010; MORSE, 2011; NICCOLUCCI *et al.*, 2012), e outros ainda apresentam as duas abordagens, comparam indicadores e propõem um novo indicador (MARTINS *et al.*, 2006; KING *et al.*, 2007). Um panorama geral com os principais assuntos abordados nos artigos pesquisados é mostrado na tabela 1.

3.1.1 *Impact of population growth* (EHRlich e HOLDREN, 1971)

Ehrlich e Holdren (1971) desenvolveram um método para estimar o impacto ambiental do consumo das populações no meio ambiente, a Identidade de Ehrlich, que leva em conta o aumento populacional e o seu ritmo e padrão de crescimento e é descrita pelo produto de três fatores: população (P), aflluência (A) e tecnologia (T), de forma que o impacto ambiental (I) pode ser expresso pela fórmula:

$$I = P \times A \times T$$

onde I é o impacto sobre o ambiente resultante do consumo, P é a população que ocupa uma determinada área, A é o consumo per capita (riqueza) e T é o fator tecnológico.

3.1.2 Energy evaluation of welfare: a case study in Italy (TIEZZI *et al.*, 2004)

Tiezzi *et al.* (2004) fizeram um estudo comparativo entre o Índice de Bem-Estar Econômico Sustentável (*Index of Sustainable Economic Welfare - ISEW*) e o Produto Interno Bruto (*Gross Domestic Product - GDP*), sendo o primeiro um índice socioeconômico proposto por Herman Daly e Cobb John Jr.(1989) como uma medida alternativa crítica da qualidade de vida, e o segundo, um indicador puramente econômico, ambos expressos em valores monetários. Utilizaram como estudo de caso a Província de Siena, situada no centro da Itália. Segundo os autores este é o primeiro artigo que apresenta os resultados da contabilidade ambiental em energia juntamente com o *ISEW* em âmbito local.

No trabalho, os autores contabilizaram todos os fluxos e indicadores em energia que permitiram o cálculo da energia total da Província de Siena. Na comparação entre o *ISEW* e o *GDP* locais, os autores concluem que embora ambos estejam representados em valores monetários (euros - €), os seus valores diferem, representando o primeiro 71% do valor do segundo. Segundo os autores, esta diferença origina-se das formas diferentes como são calculados, sendo o *GDP* fundamentado em informações estritamente econômicas e o *ISEW* apresenta uma visão mais realista e qualitativa do bem-estar econômico local, e por esta razão pode fornecer dados suplementares ao *GDP*.

Neste estudo foram avaliadas a razão entre energia e *GDP*, e entre energia e *ISEW* para a província em estudo. O trabalho mostra que a segunda razão é 40% maior que a primeira, indicando que a energia necessária para obter um determinado nível de riqueza econômica, medido pelo *GDP*, é uma fração da energia traduzida em bem-estar real. A razão energia/*ISEW*, segundo os autores, é um bom indicador para tomadas de decisões porque mostra quanto a degradação social ou ambiental estão relacionadas à utilização de recursos para suportar o estilo de vida local. O estudo mostra a importância dos índices em energia para medir o desempenho econômico de um sistema juntamente com a sua condição ambiental, e que uma abordagem para determinação da riqueza econômica de um sistema difere de uma abordagem que busca avaliar o bem-estar.

3.1.3 Sustentabilidade ambiental como nova dimensão do índice de desenvolvimento humano dos países (MARTINS, FERRAZ E COSTA, 2006)

Martins *et al.* (2006) comparam o Índice de Desenvolvimento Humano – IDH (em inglês,

Human Development Index, HDI) com o Índice de Sustentabilidade Ambiental – ISA (em inglês, *Environmental Sustainability Index, ESI*) e utilizam os dados de 139 países. As comparações foram feitas a partir do estudo de correlação em planilha eletrônica. O índice de correlação obtido foi 0,414 que foi entendido pelos autores como uma correlação de baixo grau. Não fica claro no artigo qual o método de correlação utilizado. Os autores discutem o fato de que alguns países com boas colocações no *ranking* de IDH como Japão, França e Estados Unidos ocupam posições intermediárias no ISA e observam que nações latino-americanas como Brasil, Argentina, Peru e Uruguai possuem boas colocações no *ranking* do ISA e intermediárias no de IDH. Comentam também que os piores Índices de Sustentabilidade Ambiental (ISA) ficam com algumas nações em desenvolvimento e nações pobres do continente africano.

Com o intuito de atenuar as discordâncias entre os dois índices comparados e sem a pretensão de desenvolver um novo indicador em substituição ao IDH, os autores propõem e calculam para os países estudados um novo indicador agregado ao IDH, que denominaram Índice de Desenvolvimento Humano Híbrido (IDH_h). Para a construção desse indicador, os autores acrescentaram ao IDH uma dimensão com aspecto ambiental (ISA), que foi calculada com parâmetros iguais aos das dimensões do IDH, e posteriormente, foi feita a média aritmética das dimensões do IDH (renda, longevidade e educação) e da nova dimensão (ISA). A primeira impressão encontrada pelos autores na comparação entre o IDH e o ISA se refletiu no IDH_h . Alguns países considerados ricos não obtiveram boas colocações no IDH_h , pois ao agregar o ISA, o desempenho foi menor que aquele obtido no *ranking* do IDH; em contrapartida, alguns países melhoraram de colocação no IDH_h em relação ao IDH, porque obtiveram bom desempenho nas variáveis ambientais. Os autores concluíram que o exercício da criação do IDH_h ajudou a entender a importância da adição de aspectos de sustentabilidade ambiental ao IDH.

3.1.4 *Soil, water, fish and forests: natural capital in the wealth of nations* (COHEN et al., 2006)

O estudo de Cohen et al. (2006) apresenta a importância dos estoques de capital natural como base de recursos para a economia das nações. A perda de capital natural é comparada com índices da contabilidade ambiental em energia. A relação entre o Índice de Sustentabilidade em Energia (*Environmental Sustainability Index, ESI*) e da porcentagem de capital natural (%NC) é uma descoberta significativa que mostra que os países com alto ou baixo *ESI* parecem estar protegendo seus estoques de capital natural, enquanto que os países

com *ESI* moderado estão esgotando seu estoque de capital natural mais rapidamente. O trabalho também faz comparações entre a perda percentual do capital natural com o Produto Interno Bruto - PIB (*Gross Domestic Product, GDP*) das nações e verifica que, para nações com valores muito elevados ou muito baixos de *GDP*, ocorre baixa carga ambiental enquanto que nações em fase de transição entre os dois extremos são aquelas que mais exploram seu capital natural. O estudo envolveu os 134 países com dados disponíveis na Base de Dados da Contabilidade Ambiental Nacional (NEAD, 2000).

3.1.5 Comparative analysis of indicators of well-being using environmental accounting (KING et al., 2007)

King et al. (2007) fazem uma análise comparativa de indicadores de bem-estar (sociais, políticos, econômicos e ambientais) utilizando contabilidade ambiental em emergia. No trabalho são estudadas correlações entre diversos indicadores de bem-estar: Índice de Desenvolvimento Humano (do inglês, *Human Development Index, HDI*), Pegada Ecológica (do inglês, *Ecological Footprint, EF*), Índice de Sustentabilidade Ambiental (do inglês, *Environmental Sustainability Index, ESI*), Índice de Bem-Estar (do inglês, *Wellbeing Index, WI*), Índice de Bem-Estar Humano (do inglês, *Human Well-being Index, HWI*) e Índice de Bem-Estar Ambiental (do inglês, *Ecosystem Well-being Index, EWI*), que são comparados entre si. Posteriormente, os autores estudam esses indicadores quando comparados com alguns índices agregados de emergia: porcentagem de recursos naturais renováveis (%R), porcentagem de recursos naturais não renováveis (%N), Índice de Rendimento em Emergia (do inglês, *Emergy Investment Ratio, EIR*) e Índice de Sustentabilidade em Emergia (*Environmental Sustainability Indice, ESI*). As correlações foram obtidas pelo método de correlação de *Pearson*, com dados associados a 120 países.

O estudo propõe um novo indicador que integra Bem-Estar Humano (*HDI*) e sustentabilidade de recursos denominado *Emergy Total Well-being (ETWI)*. Segundo os autores, os países que possuem um alto *ETWI* têm tanto um elevado *HDI* (bem-estar humano), como um alto percentual de uso de recursos naturais renováveis (sustentabilidade ambiental). Este índice é obtido pelo produto do Índice de Desenvolvimento (*HDI*) com a porcentagem de recursos naturais renováveis (%R) e comparado aos indicadores de bem-estar. Os resultados do estudo mostram que o bem-estar humano e o bem-estar ambiental têm uma relação inversa, e o único indicador de bem-estar que aumenta com a sustentabilidade ambiental e diminui com o desenvolvimento econômico é a qualidade do ar (emissões de dióxido de carbono per capita).

O *WI* não está relacionado com o *ETWI*, embora os dois combinem bem-estar humano e bem-estar ambiental. O primeiro é uma média do bem-estar humano com o ambiental, enquanto que o segundo é um produto dos dois, tornando-o mais sensível a valores extremos.

3.1.6 *Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics* (WILSON, TYEDMERS e PELOT, 2007)

Wilson *et al.* (2007) afirmam que, a partir da Agenda 21 (que chamou atenção para os indicadores de desenvolvimento sustentável), verificou-se um aumento do número de iniciativas que envolvem medidas de sustentabilidade. Uma série de metodologias de utilização de indicadores, que envolvem questões ambientais, sociais e econômicas relacionadas às atividades humanas vem sendo sugeridas. Os autores dizem que, embora já tenha passado mais de uma década desde a divulgação do documento, a utilização dos indicadores de sustentabilidade ainda não constitui uma prática consolidada.

O estudo de Wilson *et al.* (2007) analisa e compara seis métricas globais: Pegada Ecológica (*Ecological Footprint, EF*), Índice de Biocapacidade Excedente (*Surplus Biocapacity, SB*), Indicador de Sustentabilidade Ambiental-2002 (*Environmental Sustainability Index, ESI-2002*), Índice de Bem-Estar (*Wellbeing Index, WI*), Índice de Desenvolvimento Humano (*Human Development Index, HDI*) e Produto Interno Bruto per capita (*Gross Domestic Product per capita, GDP per capita*) para analisar se as métricas globais estão de acordo com o desenvolvimento sustentável. O grau de viabilidade entre as métricas é feito a partir da correlação de Pearson com o *ranking* de 132 países para cada indicador. Os países são elencados em quintis e analisados aqueles que, pelo menos para um dos indicadores, situam-se no primeiro e no quinto quintil, verificando inconsistências nos indicadores. Os resultados mostram as diferentes interpretações sobre a sustentabilidade das nações, dependendo do indicador empregado. Uma variabilidade nos resultados chama a atenção para uma falta de direção clara em nível mundial da melhor forma de abordar o desenvolvimento sustentável. Os autores utilizam o Canadá como estudo de caso para explicar as discrepâncias entre os indicadores de sustentabilidade. O Canadá foi escolhido, pois no *ranking* dos indicadores esteve entre as melhores classificações do mundo (ficou no primeiro quintil em cinco dos seis indicadores avaliados), dando, erroneamente, a impressão de ser o país mais sustentável do mundo, pois também ficou no último quintil em um dos indicadores avaliados, a Pegada Ecológica (*EF*).

3.1.7 Measuring national economic performance without using prices (COMMON, 2007)

Common (2007) propõe uma nova abordagem para a medida do desempenho econômico de uma nação. São propostos três métodos para esta medição, sendo que nenhum deles se fundamenta em valores financeiros, mas são diretamente proporcionais ao Índice de Felicidade (*Happy Life Years – HLY*). Este índice é caracterizado pelo produto da Expectativa de Vida (*Life Years - LY*) com o resultado *H* (*Happiness Score*), dividido por dez. O *H* (*Happiness Score*) varia de um (ou zero) a dez, de acordo com o sentimento de felicidade de um cidadão traduzido por perguntas a ele formuladas. Nos três métodos citados anteriormente, Common (2007) caracteriza eficiências do desenvolvimento da nação dividindo o índice *HLY* pelo uso de energia per capita (*per capita Energy use*) ou pela Pegada Ecológica (*Ecological Footprint, EF*) do país, ou pelas emissões de gases de Efeito Estufa (*Greenhouse gas emissions*). Os cálculos foram feitos para cerca de 90 países.

3.1.8 Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países (SICHE et al., 2007)

Siche et al. (2007) discutem a necessidade da elaboração de indicadores que possam avaliar um sistema em estudo considerando os seus aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais. Os autores destacam as importantes contribuições da Pegada Ecológica (*Ecological Footprint, EF*) e do Índice de Sustentabilidade Ambiental (*Environmental Sustainability Index, ESI*) e comentam que este último índice, quando foi proposto, originou importantes discussões e controvérsias em escala acadêmica e política no mundo inteiro, porque quando países são estudados com este índice surgem discrepâncias, como por exemplo: os Estados Unidos e a Dinamarca, que possuem uma comprovada participação na poluição do planeta, aparecem com valores muito bons com relação ao *ESI*, enquanto que nos índices fornecidos pela pegada ecológica e pelos indicadores de desempenho em emergia estes mesmos países são considerados ruins.

Os autores discutem a diferença entre índices e indicadores, afirmando que a mesma reside no fato de que índice é um valor agregado final de todo um procedimento de cálculo que pode ter indicadores como variáveis que o compõem. Segundo os autores, quando se trata de indicadores ou índices de sustentabilidade o debate está apenas se iniciando, uma vez que até os dias atuais não há uma fórmula consensual para avaliar o que é sustentável ou não. O artigo discute índices de desempenho em emergia (*EMPIs*): Índice de Sustentabilidade em Emergia

(*EmSI*) e Índice de Renovabilidade (*REN*) e faz uma comparação teórica entre estes, a Pegada Ecológica (*EF*) e o Índice de Sustentabilidade Ambiental (*ESI*), mostrando as vantagens e limitações de cada índice.

3.1.9 Sustainability of nations by indices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emergy performance indices (SICHE *et al.*, 2008)

Segundo Siche *et al.* (2008), o impulso para o desenvolvimento e a utilização de indicadores de desenvolvimento sustentável surgiram no capítulo 40 da Agenda 21, que mostrava quais os indicadores de desenvolvimento sustentável precisavam ser desenvolvidos para fornecer bases sólidas para a tomada de decisões em todos os níveis, e definia padrões de sustentabilidade que consideram aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais.

O estudo destes autores compara dois índices de sustentabilidade ambiental dos países (a Pegada Ecológica - *EF* e o Índice de Sustentabilidade Ambiental - *ESI*) com os Índices de Emergia (Renovabilidade - *REN* e Índice de Sustentabilidade em Emergia - *EmSI*). Para Siche *et al.* (2008), a Pegada Ecológica e o Índice de Sustentabilidade Ambiental são os dois índices mais utilizados e de maior impacto na avaliação da sustentabilidade dos países e estão ganhando espaço dentro da comunidade científica. Este estudo considera que ainda não existe um índice de sustentabilidade completamente satisfatório, e que todos eles precisam ser melhorados. Segundo os autores, deve-se avaliar mais de um indicador para determinar a sustentabilidade de um sistema; eles sugerem que existe a possibilidade de se obter um melhor índice de sustentabilidade por meio da junção da Pegada Ecológica com os Índices de Desempenho em Emergia (*Emergy Performance Indices* - *EMPIs*).

Este estudo inclui 12 países que foram selecionados por terem sua sustentabilidade previamente estudada pelos três métodos discutidos neste artigo: Pegada Ecológica (*EF*), Índice de Sustentabilidade Ambiental (*ESI*) e os Índices de Desempenho em Emergia (*EMPIs*). Nesta pesquisa são feitos estudos de correlação entre os diversos índices utilizando o coeficiente de determinação (r^2).

3.1.10 *Measuring sustainable development – Nation by nation (MORAN et al., 2008)*

O estudo de Moran *et al.* (2008) relaciona o Índice de Desenvolvimento Humano com a Pegada Ecológica e também com a razão entre a Pegada Ecológica e a Biocapacidade de 93 países com dados apresentados na literatura. Segundo os autores, para atingir um mínimo de sustentabilidade em um país, a razão entre a Pegada Ecológica e a Biocapacidade deve ser menor ou igual a 1,0 e o Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*) deve ser maior ou igual a 0,8; apenas um dos países estudados teve resultados atendendo a essas duas condições: Cuba. O estudo mostrou ainda que países de baixo Índice de Desenvolvimento Humano têm se desenvolvido sem aumento considerável da Pegada Ecológica, enquanto países com alta renda apresentam uma tendência oposta, ficando longe da sustentabilidade.

3.1.11 *Sustaining life on earth: environmental and human health through global governance (BURKHARDT, 2008)*

Burkhardt (2008) propõe um Índice de Integridade Plena de uma nação (*Full Spectrum Integrity, F*), que é o produto de quatro índices: Integridade Ecológica (*Ecological Integrity, E*), Integridade Social (*Societal Integrity, S*), Integridade Individual (*Individual Integrity, B*) e Integridade Física (*Physical Integrity, P*). Segundo o autor, a Integridade Ecológica é a relação entre sua pegada ecológica e a sua biocapacidade e essa diferença representa o excedente (ou deficit) ecológico de um país. A Integridade Ecológica (*E*) de uma nação é determinada a partir dos seguintes parâmetros: o seu excesso ou deficit ambiental, a sua taxa de mudança populacional e a taxa de mudança em seu Produto Interno Bruto (*Gross Domestic Product, GDP*). Segundo o autor, um declínio na população e no Produto Interno Bruto são avaliados positivamente no âmbito ecológico, pois causam redução no impacto ambiental. A Integridade Social de uma nação depende largamente de sua paz no âmbito interno e externo, e é determinada por oito componentes: estabilidade política, distribuição de renda justa, aplicação das leis, liberdade de imprensa, índice de corrupção, conflitos internacionais, suporte às Nações Unidas e gastos militares relativamente ao Produto Interno Bruto. Uma média destes oito componentes fornece o Índice de Integridade Social de uma nação. A Integridade Individual de uma nação é avaliada pelo índice de bem-estar de seus cidadãos, que envolve três fatores: expectativa de vida ao nascer, política educacional e padrão de vida. A Integridade Física de uma nação é avaliada a partir de seus recursos minerais, combustíveis fósseis, disponibilidade de energia solar e dos ventos, índice de precipitação atmosférica e ecossistemas produtivos. Segundo o autor, esta avaliação também deve conter os possíveis desastres naturais:

terremotos, tempestades, inundações, secas e “buracos” na camada de Ozônio (O₃). Foram utilizados dados de 106 países.

3.1.12 *Sustaining life on earth: environmental and human health through global governance* (RAINHAM, MCDOWELL e KREWSKI, 2008)

Rainham *et al.* (2008) fazem uma análise de correlação (método de Kendall), para 146 países, entre sete dimensões de governanças (propostas pelo Banco Mundial) e seis dimensões de governanças ambientais com dois indicadores de saúde: a Taxa de Mortalidade Infantil (*Infant Mortality Rate, IMR*) e a Expectativa de Vida Ajustada à Saúde (*Health – Adjusted Life Expectancy, HALE*). Os 146 países estudados totalizam 94,4% da população mundial e são distribuídos em três categorias com diferentes valores de Pegada Ecológica (*Ecological Footprint, EF*): $EF < 1,2$ ha (50 países), $1,2 \text{ ha} \leq EF \leq 2,4$ ha (48 países) e $EF > 2,4$ ha (48 países). Segundo os autores, as correlações mais fortes são encontradas no elenco de países com $EF > 2,4$ ha, algumas fracas nos países com $EF < 1,2$ ha, e na categoria intermediária de Pegada Ecológica ($1,2 \text{ ha} \leq EF \leq 2,4$ ha) só são encontradas correlações com o *IMR*. Os autores fazem também um estudo mais crítico com três países da faixa de Pegada Ecológica intermediária: Cuba, Panamá e Jamaica, sendo Cuba estudado mais detalhadamente.

3.1.13 *Income, health and well-being around the world: evidence from the gallup world poll* (DEATON, 2008)

O trabalho de Deaton (2008) faz uma análise da satisfação com a vida da população de vários países utilizando os dados de uma pesquisa mundial realizada em 2006, do *Gallup World Poll*, que inclui muitos aspectos de bem-estar como medida geral de satisfação com a vida, aspectos de saúde e situação econômica, e os relaciona com a renda utilizando dados de PIB per capita de 2003 (do inglês, *Gross Domestic Product - GDPpc*) retirados do *Penn World Table*. A análise é realizada com 123 países, os quais estavam disponíveis nos dados da satisfação com a vida e do *GDPpc*. Posteriormente, o autor compara a análise do *Gallup World Poll* (2006) com os dados de outra pesquisa, um questionário mundial de valores (1996), do *World Values Survey*, também relacionando com o *GDPpc* e contendo dados de 80 países. A análise da satisfação com a vida utilizando dados do *Gallup World Poll* é realizada também para dois grupos etários (pessoas com idade entre 15 e 25 anos e pessoas com mais de 60 anos). Em seguida, o autor faz análises da satisfação com a saúde por faixa etária e renda (*GDPpc*) e verifica que para a saúde, os efeitos da idade são muito maiores do que os efeitos da renda

nacional (*GDPpc*). A análise é feita com a utilização de um método estatístico de regressão linear.

O estudo confirma uma série de resultados anteriores da literatura e produz alguns resultados novos. Por exemplo, países de alta renda têm maior satisfação de vida do que países de baixa renda. A partir do gráfico da figura 1, o autor conclui que o crescimento da satisfação de vida em função do PIBpc tem inclinação mais acentuada entre os países mais pobres, onde os ganhos de renda são associados com os maiores aumentos de satisfação com a vida, mas continua substancial e positiva mesmo entre os países ricos, contrariando estudos da literatura, segundo os quais, existe certo nível crítico do *GDPpc*, acima do qual a renda não tem mais efeito sobre a satisfação com a vida. No estudo envolvendo faixas etárias, o autor conclui que para a maior parte do mundo há um declínio da satisfação da vida com a idade como mostra na figura 2.

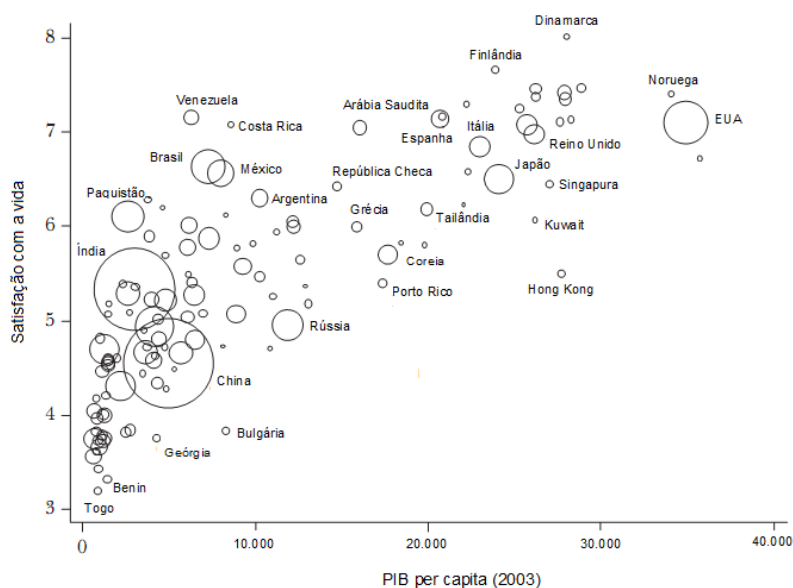


Figura 1 - O gráfico mostra a satisfação com a vida em função do *GDPpc*. Os círculos representam os países com diâmetro proporcional à população

Fonte: adaptado de Deaton (2008). Os nomes dos países foram traduzidos para o português.

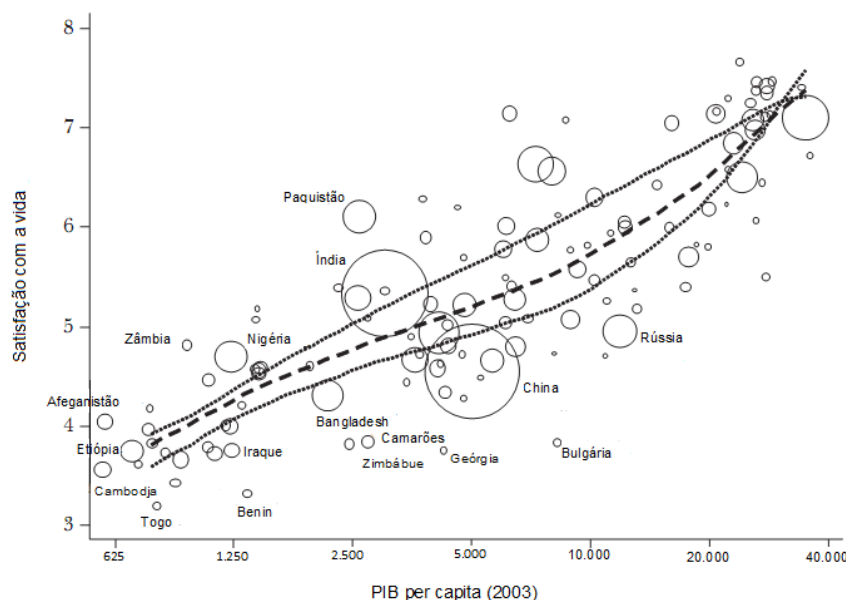


Figura 2 - O gráfico mostra a satisfação com a vida em função do *GDPpc* para as divisões por faixas etárias. A linha tracejada (intermediária) mostra os resultados gerais (sem divisão por idade), a linha superior mostra os resultados da faixa etária de 15 a 25 anos e a linha inferior mostra os resultados para os maiores de 60 anos. Os círculos representam os países com diâmetro proporcional à população. Fonte: adaptado de Deaton (2008). Os nomes dos países foram traduzidos para o português.

3.1.14 *The reliability of experts opinions in constructing a composite environmental index: the case of ESI 2005* (GIANNETTI *et al.*, 2009)

Giannetti *et al.* (2009) fazem um estudo baseado na opinião de especialistas a respeito da construção de índices ambientais utilizando a metodologia da lógica paraconsistente. Os autores utilizam uma análise de sensibilidade do Índice de Sustentabilidade Ambiental, recalculado em 2005 (*ESI-2005*) como exemplo para avaliar a confiabilidade das opiniões dos especialistas. Para esta análise foi utilizado o *ranking* de 146 países estudados no *ESI-2005*.

3.1.15 *Comparing energy accounting with well-known sustainability metrics: The case of Southern Cone Common Market, Mercosur* (GIANNETTI, ALMEIDA e BONILLA, 2010)

O trabalho de Giannetti *et al.* (2010) compara os resultados dos indicadores obtidos na análise em energia com cinco métricas de sustentabilidade globais propostas na literatura (*Ecological Footprint - EF*; *Surplus Biocapacity - SB*; *Environmental Sustainability Index - ESI*–

2005; *Wellbeing Index - WI*; e o conjunto *Ecosystem Services Product - ESP* e *Subtotal Ecological-economic Product - SEP*) e com indicadores aceitos mundialmente para desenvolvimento de países (*Human Development Index - HDI* e *Gross Domestic Product - GDP*). Essa comparação é realizada a partir de análise de correlação (índice de determinação, r^2), dividindo os indicadores em três grupos de acordo com as dimensões de sustentabilidade abordadas (econômica, social e ambiental), e adotando valores para os graus de correlação alto ($r^2 \geq 0,6$), médio ($0,4 \leq r^2 < 0,6$) e baixo ($r^2 < 0,4$). Os resultados obtidos são discutidos com a ajuda dos diagramas ternários de emergência.

O estudo confirma que ainda não existe uma métrica única que inclua todos os aspectos da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) e mostra que alguns indicadores podem ser agrupados para um resultado mais abrangente. Segundo Giannetti *et al.* (2010), a emergência pode proporcionar uma avaliação mais completa das dimensões da sustentabilidade quando uma única métrica é usada. Este estudo é realizado com dados dos países que fazem parte do Mercosul.

3.1.16 *Harnessing the power of the press with three indices of sustainable development* (MORSE, 2011)

Morse (2011) faz um estudo do nível de publicação na mídia escrita envolvendo três indicadores: Índice de Percepção de Corrupção, *CPI*; Índice de Desenvolvimento Humano, *HDI* e Pegada Ecológica, *EF*. O autor estuda o número de artigos que publicaram esses índices no Reino Unido no período de janeiro de 1990 a dezembro de 2009. A comunicação dos índices foi avaliada pelas seguintes características: número de artigos publicados em cada ano, mencionando o índice pelo menos uma vez; pela ponderação desses artigos feita a partir da circulação diária dos jornais onde os índices foram publicados e pela diversidade dos jornais em que estes foram citados. Os jornais foram divididos em categorias de preço: popular (P), médio preço (M) e melhor qualidade (Q). Os resultados do trabalho deste autor mostram que a Pegada Ecológica (*EF*) é o índice mais citado, com maior peso de circulação e de diversidade de jornais.

3.1.17 *Biocapacity vs Ecological Footprint of world regions: a geopolitical interpretation* (NICCOLUCCI *et al.*, 2012)

Niccolucci *et al.* (2012) fazem uma análise das tendências temporais da Pegada Ecológica e da Biocapacidade per capita com dados de cerca de 150 países, entre 1961 e 2007, para avaliar os diferentes caminhos do desenvolvimento da Pegada Ecológica e da Biocapacidade. Para isto, dividiram os países em quatro tipologias principais de acordo com os perfis característicos de tendências da Pegada Ecológica e da Biocapacidade, pois verificaram que em todos os países a taxa da Biocapacidade é decrescente, porém, em alguns a perda é ampla e rápida, e em outros é mais lenta e baixa. As quatro tipologias são: paralelo (7% dos países estudados), tesoura (43%), cunha (26%) e descida (24%), e estão representadas na figura 3. Os países cujos dados de longo prazo não estavam disponíveis e aqueles cujos perfis pareciam se aplicar a mais de um tipo de tipologia foram excluídos. Em seguida, os autores fazem uma análise combinada da Pegada Ecológica e da Biocapacidade com outros índices de aspectos diferentes e complementares da sustentabilidade, como aspectos sociais, econômicos e políticos: *HDI* (Índice de Desenvolvimento Humano), *EPI* (Índice de Desempenho Ambiental) e *ESI* (Índice de Sustentabilidade Ambiental), sendo que os autores consideram que a análise com outros indicadores torna a avaliação mais precisa. As características de cada perfil são explicadas com base nas tendências populacionais e no conjunto da Pegada Ecológica e da Biocapacidade com estes outros índices (*HDI*, *EPI* e *ESI*). Por fim, os autores sugeriram uma interpretação geopolítica das nações destacando o papel fundamental da Biocapacidade.

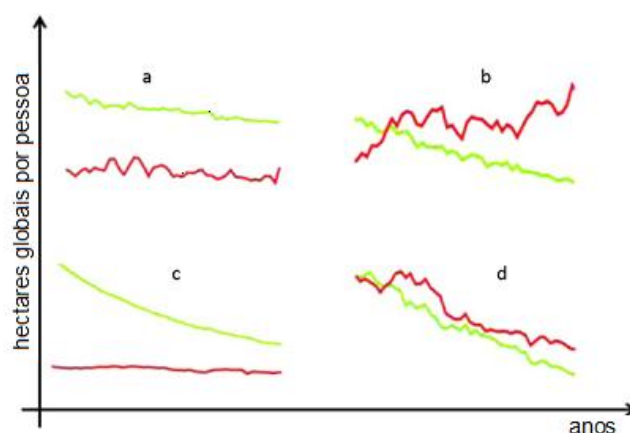


Figura 3 - Representação das quatro tipologias de tendências da Biocapacidade e da Pegada Ecológica: (a) paralelo, (b) tesoura, (c) cunha e (d) descida. A linha vermelha representa a Pegada Ecológica e a linha verde representa a Biocapacidade

Fonte: retirado de Niccolucci *et al.* (2012). As informações foram traduzidas para o português.

Os resultados do estudo mostram os diferentes contextos regionais e identificam países de elevado valor ecológico (nichos ecológicos), países onde mudanças irreversíveis já estão em curso, países em situação de risco e países vulneráveis, destacando a relação entre o crescimento populacional e o esgotamento de recursos. Os resultados também sugerem que a Pegada Ecológica per capita depende do nível de desenvolvimento econômico, das exportações, da urbanização e das condições sociais. Os autores concluem que mais de um indicador é necessário para medir o compromisso dos países em direção à sustentabilidade

A tabela 1 mostra um panorama geral dos artigos pesquisados e relacionados com a comparação de indicadores já existentes e também dos artigos pesquisados que propõem novos indicadores (agregando ou combinando os já existentes). Os artigos foram numerados de 3.1.1 a 3.1.17. A coluna 1 apresenta o número com que o artigo foi citado, a coluna 2 mostra o número de países estudados no artigo (no caso de estudo com regiões de um único país, foi citado o país, e ao lado, o número de regiões estudadas), a coluna 3 apresenta os indicadores envolvidos em cada artigo (para destaque, os índices em energia foram colocados em negrito), a coluna 4 informa se o trabalho utiliza análise estatística de correlação para comparação dos indicadores estudados e seus respectivos métodos, e a coluna 5 mostra se o artigo estudado propõe um novo indicador, compara os indicadores já existentes ou se faz as duas abordagens.

Os trabalhos encontrados na literatura procuram comparar os indicadores já existentes e correlacioná-los com o intuito de estabelecer qual deles seria o mais completo e qual abrange mais aspectos da sustentabilidade, ou propor novos indicadores (agregando ou combinando indicadores já existentes) para avaliar como a construção destes influencia nos resultados obtidos, utilizando o maior número de países possível. Entretanto, com exceção de Giannetti *et al.* (2010), que utiliza o Mercosul como caso de estudo e de Niccolucci *et al.* (2012), que divide os países por grupos de tendências da Pegada Ecológica e Biocapacidade, os trabalhos englobam comparações entre países sem considerar as características específicas de cada continente ou grupo de países.

Tabela 1 - Panorama geral dos artigos pesquisados

Item	Número de países estudados	Indicadores envolvidos	Estudos de correlação e respectivos métodos	Propõe e/ou compara indicadores
3.1.1	-----	I	-----	propõe
3.1.2	Itália (36 municípios da Província de Siena)	<i>ISEW, GDP, energia/ISEW e energia/GDP</i>	-----	compara
3.1.3	139	IDH, ISA e IDH _h	utiliza correlação sem citar o método	propõe e compara
3.1.4	134	<i>ESI, %CN, GDP</i>	-----	compara
3.1.5	120	<i>HDI, EF, ESI, WI, HWI, EWI, %R, %N, EIR, ESI, ETWI</i>	Pearson	propõe e compara
3.1.6	132	<i>EF, SB, ESI-2002, WI, HDI e GDP</i>	Pearson	compara
3.1.7	90	<i>HLY/Energia per capita, HLY/EF, HLY/emissões</i>	-----	propõe
3.1.8	-----	<i>EF, ESI e EMPIS: ESI e REN</i>	-----	compara
3.1.9	12	<i>EF, ESI e EMPIS: ESI e REN</i>	coeficiente de determinação (r^2)	compara
3.1.10	93	<i>HDI, EF e EF/Biocapacidade</i>	-----	compara
3.1.11	106	<i>F, E, S, B e P</i>	-----	propõe
3.1.12	146	<i>EF, IMR e HALE</i>	Kendall	compara
3.1.13	123	Índice de Satisfação e <i>GDPpc</i>	Regressão linear	compara
3.1.14	-----	<i>ESI-2005</i>	-----	-----
3.1.15	7	<i>EYR, EIR, ELR, ESI, EF, SB, ESI-2005, WI, ESP, SEP, HDI e GDP</i>	coeficiente de determinação (r^2)	compara
3.1.16	-----	<i>CPI, HDI e EF</i>	-----	compara
3.1.17	cerca de 150	<i>EF, Biocapacidade, HDI, EPI, ESI</i>	-----	compara

I: Impacto Ambiental (Identidade de Ehrlich); *ISEW*: Índice de Bem-Estar Econômico Sustentável; *GDP*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto); *GDPpc*: *Gross Domestic Product* per capita (Produto Interno Bruto per capita); *HDI*: *Human Development Index* (Índice de Desenvolvimento Humano); *ISA*: Índice de Sustentabilidade Ambiental; *IDHh*: Índice de Desenvolvimento Humano híbrido; *EYR*: *Emergy Yield Ratio* (Índice de Rendimento em Emergia); *EIR*: *Emergy Investment Ratio* (Índice de Investimento em Emergia); *ELR*: *Environmental Load Ratio* (Índice de Carga Ambiental); *ESI*: *Environmental Sustainability Index* (Índice de Sustentabilidade Ambiental); *%CN*: porcentagem de Capital Natural; *EF*: *Ecological Footprint* (Pegada Ecológica); *SB*: *Surplus Biocapacity* (Biocapacidade Excedente); *WI*: *Wellbeing Index* (Índice de Bem-Estar); *HWI*: *Human Wellbeing Index* (Índice de Bem-Estar Humano); *HWI*: *Ecosystem Wellbeing Index* (Índice de Bem-Estar Ambiental); *ESI-2005*: *Environmental Sustainability Index-2005* (Índice de Sustentabilidade Ambiental- 2002); *F*: *Full Spectrum Integrity* (Índice de Integridade Plena); *E*: *Ecological Integrity* (Integridade Ecológica); *S*: *Societal Integrity* (Integridade Social); *B*: *Individual Integrity* (Integridade Individual); *P*: *Physical Integrity* (Integridade Física); *IMR*: *Infant Mortality Rate* (Taxa de Mortalidade Infantil); *HALE*: *Health Adjusted Life Expectancy* (Expectativa de Vida Ajustada à Saúde).

3.2. Trabalhos pesquisados na literatura que envolvem o uso de análise de correlações

A teoria de análise de correlação está consolidada e publicada em vários livros (NETO, 1999; CALLEGARI-JACQUES, 2003; VIEIRA, 2003; LARSON e FARBER, 2004; BRUNI, 2010; BARBETTA *et al.*, 2010), mas existem publicações recentes em periódicos científicos de várias áreas que aplicam a teoria existente (NUNES *et al.*, 2005; JOSEPH, 2010; NIVEN e DEUTSCH, 2012; KALOGIROU, 2012).

Segundo Neto (1999), o coeficiente de correlação linear de Pearson tem as importantes propriedades de ser adimensional e de variar de -1 a +1. A vantagem de ser adimensional está no fato de seu valor não ser afetado pelas unidades adotadas, e, como o valor de r situa-se na faixa de $-1 \leq r \leq 1$, isto permite que, obtido certo valor de r , a interpretação torna-se fácil. Muitas vezes, embora o valor do coeficiente de correlação seja alto, não se pode tirar conclusões sobre causa e efeito. Segundo o autor, saber se um dado valor de r combinado com o respectivo tamanho da amostra n permite concluir que existe correlação linear entre as variáveis estudadas num nível de significância α , e deve-se fazer o teste pela expressão *t-Student* com $n - 2$ graus de liberdade. A partir deste teste, pode-se obter os valores críticos de r para a análise da amostra.

Callegari-Jacques (2003) afirma que o coeficiente de correlação de Spearman é a mais antiga estatística baseada em postos. Segundo o autor, foi desenvolvido em 1904 e exige que os valores das variáveis sejam ordenados. O coeficiente de Spearman varia entre -1 (correlação perfeita negativa) e +1 (correlação perfeita positiva), passando pelo valor 0 (ausência de correlação), da mesma forma que o coeficiente r de Pearson, sendo que as interpretações dos dois coeficientes de correlação (Spearman e Pearson) são semelhantes. O coeficiente de correlação de Spearman baseia-se nas diferenças entre os postos. Segundo o autor, o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente com as faixas de valores seguintes: fraca correlação linear para valores entre 0,0 e 0,3; moderada correlação linear para valores entre 0,3 e 0,6; forte correlação linear para valores entre 0,6 e 0,9 e correlação linear muito forte para valores entre 0,9 e 1,0.

Vieira (2003) define o coeficiente de correlação de Spearman como uma medida do grau de associação (ou dependência) de duas variáveis e uma alternativa não paramétrica para o coeficiente de correlação de Pearson. Segundo o autor, este coeficiente deve ser usado quando os dados observados são variáveis ordinais ou quando nenhuma das variáveis tem distribuição

normal. Larson e Farber (2004) definem correlação como uma relação entre duas variáveis. Os dados podem ser representados por pares ordenados (x, y) onde x é a variável independente (medida no eixo horizontal) e y é a variável dependente (medida no eixo vertical).

Nunes *et al.* (2005) utilizam testes estatísticos não paramétricos para comparação de dois métodos de amostragem de coleta de partículas em suspensão no ar (partículas atmosféricas): amostragem de elevado volume de ar e amostragem de baixo volume de ar. As concentrações atmosféricas dos aerossóis foram obtidas para várias espécies iônicas (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Cl^- , NO^{-3} e outras), considerando o volume de ar amostrado. Foi utilizado no estudo, como método paramétrico, a comparação emparelhada t-Student, e como métodos estatísticos não paramétricos, o teste de ordenação de valor absoluto de Wilcoxon, o coeficiente de correlação de Spearman e a regressão de Kendall. Segundo o autor, o grau de associação entre duas variáveis é observado a partir da análise de correlação, sendo que a correlação de Spearman baseia-se na ordenação de duas variáveis sem qualquer restrição quanto à distribuição de valores. Os autores afirmam que em Química da Atmosfera, tradicionalmente, são utilizados testes paramétricos para comparação, porém, verificaram no estudo, que ferramentas não paramétricas se mostraram mais adequadas, pois mesmo em casos em que se obtém maior dispersão de resultados a comparação é possível.

Segundo Bruni (2010), a análise de correlação determina um número que expressa uma medida numérica do grau de relação encontrada. Denomina-se simples a análise de correlação que envolve apenas duas variáveis, em que a amostra é formada por um conjunto de pares de valores. O resultado da análise de correlação linear é expresso na forma de um coeficiente de correlação, que determina o grau de relação linear obtido para os pares de valores das variáveis que formam a amostra analisada. Segundo Barbetta *et al.* (2010), o conceito de correlação refere-se a uma associação numérica entre duas variáveis, não implicando, necessariamente, relação de causa e efeito, ou mesmo uma estrutura com interesses práticos.

Joseph (2010) estudou a validade de duas hipóteses para verificar se a privatização de órgãos governamentais na Nigéria pode levar o país a um caminho de desenvolvimento econômico sustentável. Para cada hipótese, foram estudadas duas variáveis (X e Y) obtidas a partir de questionários bem estruturados e respondidos por 130 pessoas. As respostas das perguntas utilizadas no questionário foram divididas em cinco categorias: concordo plenamente, concordo, indeciso, discordo, discordo plenamente. As variáveis X e Y foram avaliadas a partir do número de respostas em cada uma das cinco possibilidades e, posteriormente,

correlacionadas entre si. A correlação entre essas duas variáveis, para cada hipótese, foi estudada com a ajuda do coeficiente de correlação de Pearson.

Segundo Niven e Deutsch (2012), quando a relação entre duas variáveis estudadas é realmente linear os coeficientes de correlação são iguais a 1 ou -1, mas mesmo ocorrendo poucos dados discrepantes entre as variáveis, esses valores de correlação decrescem significativamente. Segundo os autores, o tradicional coeficiente de correlação de Pearson é altamente afetado por dados discrepantes no diagrama de correlação (*outliers*), e o coeficiente de correlação de Spearman é menos sensível a esses valores discrepantes, embora ainda seja afetado pelos mesmos. Os autores afirmam que, com frequência, as correlações são obtidas a partir de um número pequeno de observações e que, quando o tamanho da amostra é pequeno, a incerteza nos valores de correlação pode ser muito grande, principalmente quando a correlação estimada é baixa. O trabalho destaca ainda que a incerteza no coeficiente de correlação é calculada baseada na correlação medida e no número de dados.

Kalogirou (2012) pesquisou a migração interna na Suécia a partir de estudo de correlações entre quatro variáveis: proporção de homens entre 35 e 44 anos de idade com educação elevada, proporção de homens entre 35 e 44 anos de idade divorciados, proporção de homens entre 16 e 64 anos de idade desempregados e salário médio. A análise das correlações é feita a partir dos coeficientes de correlação de Pearson. O autor utilizou dados de 290 municípios da Suécia e os dados utilizados são de 2008.

A partir dos artigos pesquisados envolvendo estudos de correlação, percebe-se que o coeficiente de correlação de Spearman, sendo um teste não paramétrico, uma vez que utiliza variáveis ordinais (postos), é o mais adequado para o estudo que se propõe neste trabalho. Este coeficiente é menos sensível a dados discrepantes no diagrama de correlação (NIVEN e DEUTSCH, 2012), e sua aplicação não exige que as variáveis em estudo tenham necessariamente uma distribuição normal (VIEIRA, 2003).

4. METODOLOGIA

Para comparar os indicadores foi empregada a contabilidade ambiental em energia de 106 países (NEAD, 2000). Os indicadores de energia desenvolvidos por Odum (1996) são comparados com indicadores de sustentabilidade e também com indicadores econômicos e sociais utilizados em todo o mundo. São feitas comparações entre os *rankings* obtidos para cada indicador. O grau de correlação entre os *rankings* é analisado utilizando uma matriz que resume os resultados obtidos para os países envolvidos no estudo e de grafos construídos a partir dos indicadores. São utilizados três indicadores de energia (Índice de Rendimento em Energia, Índice de Carga Ambiental e Índice de Sustentabilidade), que são comparados com dez indicadores conhecidos (Produto Interno Bruto, Produto Interno Bruto per capita, Índice de Desenvolvimento Humano, Índice de Felicidade, Expectativa de Vida, Índice de Democracia, Pegada Ecológica, Índice de Biocapacidade Excedente, Índice de Bem-Estar e Índice de Sustentabilidade Ambiental).

4.1 Contabilidade ambiental em energia

Por definição, energia é a energia solar disponível e utilizada direta ou indiretamente para obter um produto ou serviço, incluindo as contribuições da natureza e da economia (ODUM, 1996). A unidade de energia é o joule de energia solar (seJ).

A contabilidade ambiental em energia usa a energia solar incorporada como base de medida e contabiliza todos os processos necessários para obtenção dos insumos, inclusive a energia obtida da natureza que outras metodologias não consideram. Esta contabilidade permite avaliar o uso dos recursos e serviços ambientais e contabiliza valores da energia solar incorporada aos produtos e serviços. Consideram-se na síntese em energia todos os insumos necessários para obter um produto ou serviço, incluindo as contribuições da natureza (irradiação solar, chuva, vento, onda, maré, água de poço, solo, calor da Terra e biodiversidade) e as fornecidas pela economia (materiais, combustíveis, maquinário, mão de obra, serviços e pagamentos em dinheiro). A energia pode ser, também, utilizada para quantificar a produção da informação. Quanto maior o fluxo de energia em um processo, maior será seu suporte em termos de energia solar e, portanto, maior o custo do meio ambiente para mantê-lo.

A contabilidade ambiental em energia (ODUM, 1996) é uma metodologia que permite contabilizar os recursos naturais e econômicos que entram em um sistema utilizando uma

unidade comum, o joule de energia solar (seJ). Esta metodologia permite a utilização de vários indicadores a partir dos quais se pode avaliar a sustentabilidade dos países.

Os indicadores da contabilidade ambiental em energia dos 106 países do mundo (NEAD, 2000) são comparados neste estudo com dez indicadores conhecidos e retirados da literatura: NEAD (2000); Relatório de Desenvolvimento Humano (2010); *World Database of Happiness* (<http://worlddatabaseofhappiness.eur.nl>); *Human Development Report* (2000); *Democracy Index* (2011) e Wilson (2005).

4.1.1 Índices em energia

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

- 1º princípio: os recursos naturais não devem ser consumidos a uma velocidade que impeça sua recuperação.
- 2º princípio: a produção de bens não deve gerar resíduos que não possam ser absorvidos pelo ambiente de forma rápida e eficaz.

Foram retirados da literatura todos os fluxos de recursos dos países (NEAD, 2000). Os fluxos são divididos em energia dos recursos naturais renováveis (R), energia dos recursos naturais não renováveis (N) e energia dos recursos provenientes da economia (F). Os recursos naturais são considerados renováveis (R) quando são consumidos em velocidade menor do que a natureza é capaz de repor, caso contrário, se os recursos são consumidos mais rapidamente do que a natureza pode repor, o recurso natural passa a ser considerado não renovável (N).

A contabilidade ambiental em energia permite um estudo envolvendo a economia e o ambiente, relacionando os recursos naturais renováveis (R) e não renováveis (N) e os investimentos econômicos (F). Os fluxos de recursos identificados na contabilidade em energia permitem calcular os indicadores ambientais em energia.

- Índice de Rendimento em Energia (*Emergy Yield Ratio, EYR*): calculado pela relação entre a energia total e a energia proveniente da economia (expressão 1). Mostra a habilidade do país em utilizar os recursos locais.

Expressão 1: $EYR = (R + N + F) / F$

- Índice de Carga Ambiental (*Environmental Load Ratio, ELR*): calculado pela relação entre a soma da emergência dos recursos não renováveis e a emergência dos recursos provenientes do sistema econômico ($N + F$) e a emergência dos recursos renováveis (R) (expressão 2). Mostra a carga que o modelo de desenvolvimento do país impõe ao meio ambiente, considerando a utilização dos recursos naturais como fator principal em relação ao investimento econômico. Um *ELR* alto significa um alto estresse na utilização dos recursos naturais renováveis (R).

Expressão 2: $ELR = (N + F) / R$

- Índice de Sustentabilidade (*Environmental Sustainability Index, ESI*): segundo Brown e Ulgiati (2002), o índice é calculado pela relação entre o índice de rendimento em emergência e o índice de carga ambiental (expressão 3). O conceito de sustentabilidade está vinculado à maximização do rendimento (*EYR*) e à minimização do consumo dos recursos ambientais (*ELR*). Quanto maior a carga ambiental (*ELR*), menor será a sustentabilidade do país.

Expressão 3: $ESI = EYR / ELR$

4.2 Indicadores usuais de sustentabilidade

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

Este índice é tradicionalmente utilizado para medir o crescimento econômico dos países. É o valor monetário de todos os bens e serviços produzidos pela economia de um país durante um determinado período de tempo, geralmente um ano, e só inclui a questão econômica que está relacionada ao dinheiro (riqueza) que circula em um país (expressão 4). Este índice, indiretamente, relaciona a circulação de dinheiro com o grau de desenvolvimento do país. Os dados utilizados neste trabalho foram retirados da literatura no *National Environmental Accounting Database* (NEAD, 2000).

Expressão 4: $PIB = C + G + I + (X - M)$

onde C é o consumo privado (despesa das famílias em bens de consumo), G é o consumo público (despesa do Estado em bens de consumo), I é o investimento (despesa das empresas em investimento), X são as exportações e M são as importações.

- Produto Interno Bruto per capita ou PIBpc (*Gross Domestic Product per capita, GDPpc*)

É a razão do Produto Interno Bruto ou PIB (*Gross Domestic Product, GDP*) com a população de um determinado país. Os dados utilizados neste trabalho foram retirados da literatura no *National Environmental Accounting Database* (NEAD, 2000).

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

Índice econômico-social conhecido mundialmente para avaliar a qualidade de vida das populações (desenvolvimento humano). É calculado a partir de três dimensões: saúde (medida pela esperança de vida ao nascer), educação (medida pela média de anos de escolaridade e pelos anos de escolaridade esperados) e rendimento (rendimento nacional bruto per capita). Este índice é baseado na economia e na sociedade.

Os dados foram retirados do Relatório de Desenvolvimento Humano (2010), no qual são apresentados os índices do período de 1980 até 2010. Particularmente, foram utilizados os dados referentes ao ano 2000.

- Índice de Felicidade (*Happy Live Years, HLY*)

É obtido pelo produto da Expectativa de Vida (*Life Years - LY*) com o fator *H* (*Happiness score*), dividido por dez (VEENHOVEN, 2011). Este índice procura traduzir o número de anos da vida de um cidadão nos quais ele se considera feliz, de acordo com o fator *H*. Os dados de expectativa da vida (*LY*) foram extraídos do Relatório de Desenvolvimento Humano. Os valores de *H* (*Happiness score*), variando de um (ou zero) a dez, foram obtidos por pesquisas que medem o sentimento de felicidade das pessoas que habitam determinado país (COMMON, 2007). Os dados do Índice de Felicidade (*HLY*) utilizados neste trabalho foram retirados da literatura no *World Database of Happiness* (<http://worlddatabaseofhappiness.eur.nl>), site que fornece o *HLY* de 149 países entre os anos de 2000 e 2009.

- Expectativa de Vida (*Life Years, LY*)

Representa a quantidade de anos que vive em média a população de um país. Este é um indicador muito utilizado para se determinar o nível de desenvolvimento dos países, e é usado no cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*) e também no do Índice de

Felicidade (*HLI*) como medida de desenvolvimento social. Os dados foram retirados do *Human Development Report 2000* e são do ano 1998.

- Índice de Democracia (*Democracy Index*)

Este índice foi publicado pela revista *The Economist* para mostrar a democracia de 167 países. A *The Economist* avalia os países em cinco critérios: processo eleitoral e pluralismo, liberdades civis, funcionamento do governo, participação política e cultura política, com notas que vão de 0 a 10. Os países são classificados em quatro tipos de regimes: democracias plenas, democracias imperfeitas, regimes híbridos e regimes autoritários (ditatoriais).

Na literatura já existem quatro edições de Índices de Democracia: a primeira, publicada em 2007, mediu a situação de democracia dos países em setembro de 2006, a segunda mostra situação no final de 2008, a terceira de novembro de 2010 e a quarta reflete a situação de dezembro de 2011. Nesta última, a Noruega ficou com o maior resultado com um total de 9,80 pontos, enquanto a Coreia do Norte teve a menor nota, com 1,08. Os dados foram retirados da quarta edição do *The Economist Intelligence Unit's Index of Democracy 2011 (DEMOCRACY INDEX, 2011)*.

- Pegada Ecológica (*Ecological Footprint, EF*)

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

Este indicador fundamenta-se basicamente na capacidade de carga, que corresponde à máxima população que pode ser suportada indefinidamente no sistema. Segundo Rees e Wackernagel (1996), a base do conceito de sustentabilidade é a utilização dos recursos da natureza com a manutenção do capital natural, ou seja, o aproveitamento dos recursos naturais dentro da capacidade de carga do sistema. Esta ferramenta aborda as questões ambientais e não inclui os aspectos sociais e econômicos diretamente, porém, como esses influenciam no consumo de materiais e energia, a Pegada Ecológica os considera indiretamente. Os dados utilizados neste trabalho foram retirados de Wilson (2005) e são do ano de 2004.

- Índice de Biocapacidade Excedente (*Surplus Biocapacity, SB*)

A diferença entre Pegada Ecológica de um país e sua biocapacidade reflete um excedente de biocapacidade (se a pegada é menor que sua biocapacidade), ou deficit de biocapacidade (se a pegada ecológica é superior a sua biocapacidade disponível internamente). Nesse caso, um país é dependente de importações de recursos e serviços ecológicos de outras nações. O Índice de Biocapacidade Excedente (*SB*) é a diferença citada anteriormente, tornando-o um índice complementar da Pegada Ecológica. A proposta deste índice é feita com a pretensão de medir a sustentabilidade dos padrões de consumo, representa a diferença entre a área potencial de produção (terra produtiva e água) de um país e a sua pegada ecológica, representada por uma medida de terra em hectares equivalentes globais. Aborda apenas as questões ambientais. Os dados utilizados neste trabalho foram retirados de Wilson (2005) e são do ano de 2004.

- Índice de Bem-Estar (*Wellbeing Index, WI*)

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

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

Este Índice foi apresentado em 2002 no Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum, 2002*) por pesquisadores de duas universidades americanas: *Columbia University* e *Yale University*. O Índice de Sustentabilidade Ambiental se propõe a ser uma medida de tendência global para a sustentabilidade, desenvolvida para 142 países e consiste de cinco componentes: sistemas ambientais, redução do estresse ambiental, redução da vulnerabilidade humana, capacidade social e institucional e responsabilidade global. Cada um deles é composto por uma série de indicadores. Nesta primeira versão continha 68 variáveis referentes a 20 indicadores, resultando num valor agregado. O índice foi atualizado em 2005 (*ESI-2005*), e

foi calculado para 146 países com o acréscimo de mais um indicador totalizando 21 indicadores e 76 variáveis. Optou-se pelos dados de 2002 devido a sua maior proximidade com as informações utilizadas para os diversos indicadores.

Esse índice inclui questões econômicas, sociais e ambientais e apresenta uma abordagem orientada para tomada de decisões ambientais. Os dados utilizados neste trabalho foram retirados da literatura (WILSON, 2005) e são do ano 2002.

Neste trabalho, o estudo de correlações é feito comparando-se os *rankings* dos países para cada indicador e não entre os valores dos indicadores. Por exemplo, no estudo do *GDP*, o primeiro do *ranking* é o que possui mais dinheiro (EUA) e o último é o que possui menos dinheiro (Gâmbia). No estudo do indicador *ELR*, o primeiro do *ranking* é o que possui menor carga ambiental, que é o melhor em termos ambientais (República Centro-Africana) e o último no *ranking* é o que possui maior carga ambiental, ou seja, o pior em relação ao meio ambiente (Bélgica).

4.3 Análise de correlação

A análise de correlação é realizada a partir de diagramas de dispersão e do cálculo do coeficiente de correlação de Spearman (r_s). Um diagrama de dispersão é a representação dos pares de valores de uma amostra e pode ser usado para determinar se existe uma correlação linear entre duas variáveis. Nos diagramas deste trabalho, são apresentados os valores do coeficiente de determinação (r^2), associados às retas médias obtidas nos mesmos.

O coeficiente de correlação de Pearson pode ser utilizado para dados que seguem distribuição normal e o coeficiente de correlação de Spearman para dados que não seguem distribuição normal. O coeficiente de correlação de Spearman (r_s) baseia-se no *ranking* dos valores x e y e é largamente utilizado em análises de correlações e dados não paramétricos.

Todas as correlações entre indicadores foram baseadas nas informações dos 106 países envolvidos no estudo. Nesta avaliação, se ambas as variáveis aumentam simultaneamente, existe uma correlação positiva que varia entre 0 e 1. Se, por outro lado, ocorre uma relação inversa entre os indicadores (um aumenta enquanto o outro diminui), existe um coeficiente de correlação negativo que varia entre 0 e -1.

Quando o coeficiente de correlação linear é diferente de zero ($r \neq 0$) existe relação entre as variáveis x e y e quanto mais próximo o valor do coeficiente de correlação de Spearman estiver da unidade (1), maior é a relação entre as variáveis estudadas. A correlação nula é percebida quando o coeficiente de correlação linear (r) é nulo ($r = 0$), neste caso não há relação entre x e y e as variáveis ocorrem independentemente.

A análise estatística realizada neste estudo, inclui o coeficiente de determinação (r^2) e o coeficiente de correlação de Spearman (r_s).

4.3.1 Coeficiente de determinação (r^2)

O coeficiente de determinação (r^2) expressa o quadrado do coeficiente de correlação de Pearson (r) e representa a relação entre a variação explicada pelo modelo e a variação total (expressão 5). O coeficiente de determinação expressa o quanto de variação em relação à média é explicado pelo modelo linear construído. Os valores de r^2 podem variar de 0 a 1. Os gráficos que mostram os coeficientes de determinação (r^2) foram feitos no Excel 2010.

Expressão 5: $r^2 = \text{variação explicada} / \text{variação total}$

O valor de r^2 é a porcentagem de variação da variável dependente explicada pela variável independente, ou seja, mede a parcela de uma variável (y) que é explicada por outra variável (x). Um r^2 de 0,6 indica que as variáveis independentes explicam 60% da variação da variável dependente. Os outros 40% dependem de variáveis não estudadas ou ao acaso.

Existe correlação entre duas variáveis quando uma delas está relacionada com a outra de forma que o coeficiente r^2 tenha um valor razoável dentro da faixa previsível.

4.3.2 Coeficiente de postos de Spearman (r_s)

O coeficiente de correlação de postos de Spearman e denominado pela letra r_s , é uma medida de correlação não paramétrica entre duas variáveis. Para determiná-lo é necessário fazer a ordenação das variáveis, seguida da transformação dos valores absolutos em valores ordenados. As etapas para obtenção deste coeficiente são:

1ª etapa - Ordena-se do menor para o maior os valores das duas variáveis separadas e transforma-se os valores absolutos em valores ordenados (converte-se dados em postos).

2ª etapa - Calcula-se as diferenças (d) entre as duas variáveis (par de postos).

3ª etapa - As diferenças são elevadas ao quadrado (d^2) e depois somadas ($\sum d^2$).

4ª etapa - Determina-se os coeficientes de correlação de Spearman (r_s), utilizando a expressão 6:

$$r_s = \frac{1 - 6 \sum d^2}{n^3 - 3}$$

Expressão 6:

onde r_s é o coeficiente de correlação de Spearman, d é a diferença entre os postos e n é o número de pares de dados.

5ª etapa - Interpreta-se a existência ou não de correlação.

Para valores maiores ou iguais a 0,70 ($r_s \geq 0,70$) considerou-se correlação alta ou forte, para valores entre 0,40 e 0,70 ($0,40 \leq r_s < 0,70$) admitiu-se correlação média, os valores inferiores a 0,40 ($r_s < 0,40$) foram considerados de correlação baixa ou fraca e nos casos com valores próximos de zero admitiu-se correlação inexistente.

Complementando o estudo, foi feito um teste de análise de significância utilizando uma tabela com valores críticos para o coeficiente de correlação de Spearman (r_s), disponível em Zar (1999). Foram feitas as análises utilizando valores de níveis de significância menor que 1% ($\alpha \leq 0,01$), ou seja, que possuem confiabilidade estatística acima de 99% e também com níveis de significância menor que 5% ($\alpha \leq 0,05$), que traduz uma confiabilidade estatística acima de 95%, a partir do teste bicaudal.

4.4 Teoria dos grafos

Neste trabalho, visando uma melhor interpretação dos resultados foram criados grafos fundamentados nos indicadores estudados. Cada indicador foi representado como um **nó** do grafo. Quando há uma correlação entre dois indicadores, cria-se no grafo uma **ligação**. A esta ligação foi associado um número 1 (para as correlações baixas ou fracas), 2 (para as correlações médias) ou 3 (para as correlações altas ou fortes) quando as correlações entre as variáveis estudadas são positivas ou -1 (para correlações altas ou fracas), -2 (para correlações médias) ou -3 (para correlações altas ou fortes) quando as correlações são negativas. Não

havendo correlação entre as variáveis estudadas, os nós do grafo ficaram desconectados, ou seja, sem **ligação**.

Na elaboração desses grafos, utilizou-se uma representação aproximando-se os **nós** do centro do grafo quando as **ligações** são altas ou fortes e distanciando-os quando as **ligações** são baixas ou fracas, sendo que, para as **ligações** médias utilizou-se na representação uma distância intermediária.

Para facilitar o entendimento, foram adotadas cores diferentes para estas **ligações**, sendo utilizada a cor vermelha para correlação baixa ou fraca (1 ou -1), a cor azul para correlação média (2 ou -2) e a cor verde para correlação alta ou forte (3 ou -3). Após o teste com a análise de significância, algumas correlações fracas (1 ou -1) e/ou médias (2 ou -2) deixaram de existir, porém não foram retiradas e sim representadas nos grafos com uma **ligação** cinza clara, com a intenção de mostrar que dependendo da significância considerada, pode haver correlação entre os indicadores. A figura 4 mostra um **exemplo** de grafo com todas as características já comentadas, onde no centro do mesmo, é colocado no trabalho uma das frações de recursos *R*, *N* ou *F* ou um dos indicadores em emergia (*EYR*, *ELR* ou *ESI*).

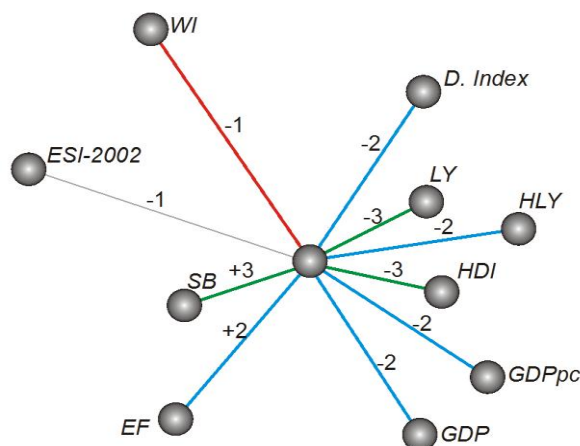


Figura 4 - Exemplo de grafo com ligações que representam correlação fraca (vermelha), correlação média (azul), correlação forte (verde) e também com a ligação que representa uma correlação que deixou de existir com a análise de significância (cinza)

4.5 Coleta de dados

Para realizar a contabilidade ambiental em emergia com cálculo de indicadores foram coletados os valores de *R* (emergia dos recursos naturais renováveis), *N* (emergia dos recursos

naturais não renováveis) e F (energia dos recursos provenientes da economia) dos países. Os dados de R, N e F foram coletados no *NEAD (2000)*. De posse da contabilidade em energia com os valores de R, N e F foram calculados os índices em energia, Índice de Rendimento em Energia, Índice de Carga Ambiental (ODUM, 1996) e Índice de Sustentabilidade (BROWN e ULGIATI, 2002) mostrados nas expressões 1, 2 e 3, respectivamente, que são utilizados para comparar os resultados obtidos com outros indicadores publicados na literatura.

Em seguida, foram coletados os dados referentes aos indicadores existentes na literatura: Pegada Ecológica (*EF*), Índice de Biocapacidade Excedente (*SB*), Índice da Felicidade (*HLI*), Expectativa de vida (*LY*), Produto Interno Bruto (*GDP*), Produto Interno Bruto per capita (*GDPpc*), Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*), Índice de Democracia (*D. Index*), Índice de Bem-Estar (*WI*) e Índice de Sustentabilidade Ambiental (*ESI-2002*).

A partir dos dados, foram feitos diagramas de correlação entre os diversos indicadores, obtendo-se os respectivos valores de r^2 (índice de determinação). Esses gráficos envolvem 106 países.

A partir dos dados obtidos foram elaboradas tabelas (apresentadas no CD, anexado ao final do trabalho) com os cálculos dos coeficientes de correlação de Spearman (r_s). A partir desses valores, construiu-se uma matriz com valores de coeficiente de correlação de Spearman (r_s). A seguir foi feito um estudo matricial atribuindo-se às correlações estudadas os números 0 (nenhuma correlação), 1 ou -1 (baixa correlação), 2 ou -2 (média correlação) e 3 ou -3 (alta correlação), conforme já descrito anteriormente (representação matricial dos grafos construídos).

Após a contabilidade ambiental em energia realizada para os 106 países, foram feitas separações por continentes (América, Europa, África e Ásia), por índice de democracia (democracia plena, democracia imperfeita, regime híbrido e regime autoritário) e por grupos de desenvolvimento humano – *HDI* (desenvolvimento humano muito elevado, desenvolvimento humano elevado, desenvolvimento humano intermediário e desenvolvimento humano baixo).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos de correlação foram construídos utilizando o *ranking* de 106 países, que abrangem aproximadamente 90% da população mundial, para as frações de recursos (R, N e F), os indicadores em emergência (*EYR*, *ELR* e *ESI*), Pegada Ecológica (*EF*), Índice da Biocapacidade Excedente (*SB*), Índice de Felicidade (*HLY*), Expectativa de vida (*LY*), Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*), Produto Interno Bruto (*GDP*), Produto Interno Bruto per capita (*PIBpc*), Índice de Democracia (*Democracy Index-2011*), Índice de Bem-Estar (*WI*) e Índice de Sustentabilidade Ambiental (*ESI-2002*). Devido à falta de dados do Índice de Felicidade (*HLY*) de dois dos 106 países (Gabão e Gâmbia), todos os estudos que envolvem Índice de Felicidade foram feitos para 104 países.

A tabela 2A, apresenta a matriz de correlação com os valores do coeficiente de determinação (r^2) que aparecem nos diagramas de dispersão, como por exemplo, os que são mostrados nas figuras 5 e 6.

Os coeficientes de correlação de Spearman das frações R, N e F e dos indicadores em emergência (*EYR*, *ELR* e *ESI*) com os 10 indicadores estudados foram calculados para os 106 países e os memoriais de cálculo são apresentados nos anexos: *GDP* (anexos A.1 a A.6 do CD), *GDPpc* (anexos B.1 a B.6 do CD), *HDI* (anexos C.1 a C.6 do CD), *HLY* (anexos D.1 a D.6 do CD), *LY* (anexos E.1 a E.6 do CD), *EF* (anexos F.1 a F.6 do CD), *SB* (anexos G.1 a G.6 do CD), *D. Index* (anexos H.1 a H.6 do CD), *WI* (anexos I.1 a I.6 do CD) e *ESI-2002* (anexos J.1 a J.6 do CD). A tabela 2B mostra os valores das correlações de Spearman (r_s) entre todos os indicadores estudados e, ao lado dos valores, foi colocado um asterisco (*) para menos de 1% de nível de significância ($\alpha \leq 0,01$), e dois asteriscos (**) para menos de 5% de nível de significância ($\alpha \leq 0,05$).

Um dimensionamento mais simples das correlações de Spearman entre os índices estudados é mostrado na tabela 2C. Foram atribuídos os seguintes valores: 0 para nenhuma correlação, 1 para baixa correlação, 2 quando a correlação é média e 3 para correlação alta, seguindo os critérios adotados e já comentados. A tabela 2C é baseada na tabela 2B, conforme valores considerados.

Tabela 2A - Matriz de correlação com os coeficientes de determinação (r^2) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos (para os 106 países)

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1
N	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	-0,4	-0,3	< 0,1	< 0,1
<i>EYR</i>	-0,2	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	0,3	0,5	-0,2	< 0,1
<i>ELR</i>	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,4	-0,1	0,2	0,5	< 0,1	< 0,1
<i>ESI</i>	-0,2	-0,4	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2	0,3	0,6	< 0,1	< 0,1

Tabela 2B - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos (para os 106 países)

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	0,4*	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,4*	< 0,1	< 0,1
N	0,8*	0,4*	0,4*	0,4*	0,4*	0,2*	-0,3*	-0,2*	< 0,1	< 0,1
F	0,9*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,6*	-0,6*	-0,5*	0,4*	0,2*
<i>EYR</i>	-0,4*	-0,6*	-0,7*	-0,5*	-0,7*	-0,6*	0,5*	0,7*	-0,4*	-0,2*
<i>ELR</i>	-0,4*	-0,6*	-0,6*	-0,4*	-0,6*	-0,4*	0,5*	0,7*	-0,3*	< 0,1
<i>ESI</i>	-0,5*	-0,6*	-0,7*	-0,5*	-0,7*	-0,5*	0,5*	0,8*	-0,3*	-0,1

Tabela 2C - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos e dimensionados de forma mais simples (para os 106 países)

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0
N	3	2	2	2	2	1	-1	-1	0	0
F	3	3	3	3	3	2	-2	-2	2	1
<i>EYR</i>	-2	-2	-3	-2	-3	-2	2	3	-2	-1
<i>ELR</i>	-2	-2	-2	-2	-2	-2	2	3	-1	0
<i>ESI</i>	-2	-2	-3	-2	-3	-2	2	3	-1	0

R: recursos naturais renováveis; N: recursos naturais não renováveis; F: recursos provenientes da economia; *EYR*: *Energy Yield Ratio* (Índice de Rendimento em Energia); *ELR*: *Environmental Load Ratio* (Índice de Carga Ambiental); *ESI*: *Environmental Sustainability Index* (Índice de Sustentabilidade Ambiental); *GDP*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto); *GDPpc*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto per capita); *HDI*: *Human Development Index* (Índice de Desenvolvimento Humano); *HLY*: *Happy Life Years* (Índice da Felicidade); *LY*: *Life years* (Expectativa de vida); *EF*: *Ecological Footprint* (Pegada Ecológica); *SB*: *Surplus Biocapacity* (Biocapacidade Excedente); *Democracy Index* (Índice de Democracia); *WI*: *Wellbeing Index* (Índice de Bem-Estar); *ESI-2002*: *Environmental Sustainability Index-2002* (Índice de Sustentabilidade Ambiental- 2002).

Correlação entre os indicadores avaliados e a fração de recursos renováveis (R)

Exceto para o Produto Interno Bruto (*GDP*) e a Biocapacidade Excedente (*SB*), mostrados nas figuras 5 e 6, não há correlação entre a fração R e os indicadores avaliados, o que indica que nenhum deles considera os recursos renováveis de que um país dispõe para avaliar seu desenvolvimento.

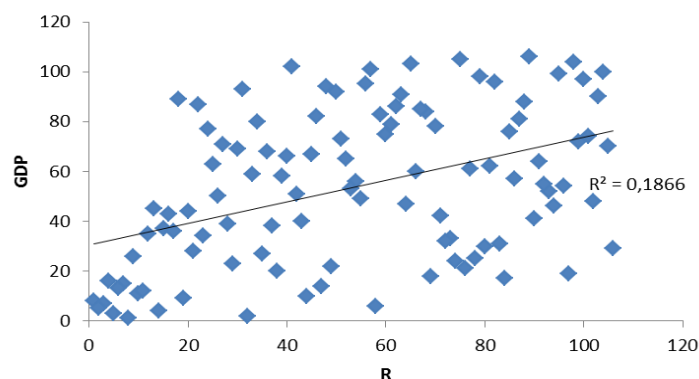


Figura 5 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos renováveis (R) e o Produto Interno Bruto (GDP) para 106 países

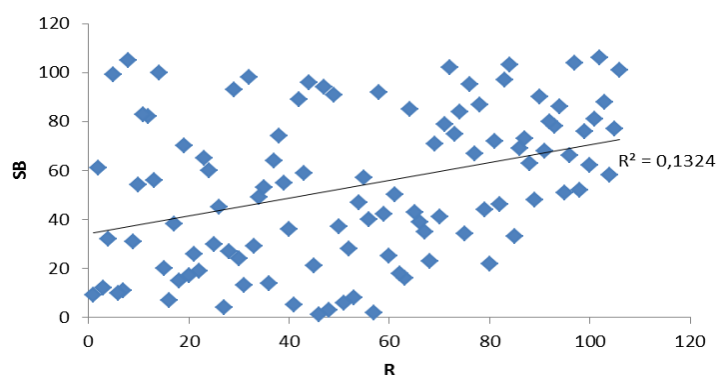


Figura 6 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos renováveis (R) e o Índice Biocapacidade Excedente (SB) para 106 países

Para facilitar a visualização das correlações dos coeficientes de Spearman apresentados nas tabelas, foram criados grafos estabelecendo a relação entre os recursos renováveis (R), os recursos não renováveis (N), os recursos provenientes da economia (F) e os indicadores de energia (*EYR*, *ELR* e *ESI*) com os 10 indicadores estudados para os 106 países. Os grafos para os 106 países estudados são mostrados nas figuras 7, 13, 22, 26, 27 e 28.

Na confecção dos grafos, os índices de energia (*EYR*, *ELR* e *ESI*) e os recursos R, N e F foram colocados sempre no centro dos grafos, pois de todos os estudos encontrados na literatura, os índices de energia são considerados aqueles que abrangem mais aspectos da sustentabilidade e também os que se correlacionam com o maior número de indicadores (GIANNETTI *et al.*, 2010; SICHE, *et al.*, 2008).

Neste trabalho, os grafos foram tomados como base para estabelecer correlações dos

índices de energia com os 10 indicadores estudados. O estudo amplia a discussão para um número grande de países e com maior quantidade de indicadores. Giannetti *et al.* (2010) fazem um estudo apenas para os países do Mercosul e com menos indicadores, e também introduzem a possível influência do grau de desenvolvimento econômico e humano (IDH) e do regime de governo (Índice de Democracia) na sustentabilidade.

Observando as tabelas 2B e 2C, que apresentam os dados dos coeficientes de Spearman dos 106 países e o grafo mostrado na figura 7, percebe-se que existe uma média correlação apenas do recurso natural renovável (R) com o Produto Interno Bruto (*GDP*) e com a Biocapacidade Excedente (*SB*); com os outros indicadores não existe correlação.

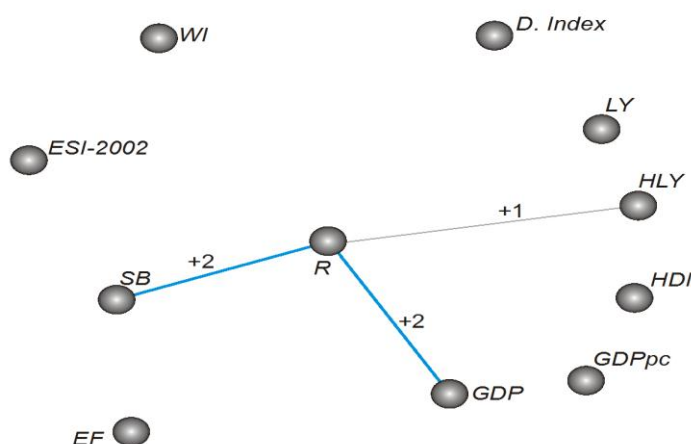


Figura 7 - Grafo que mostra a fração dos recursos naturais renováveis (R) com os 10 indicadores estudados

A correlação entre o recurso natural renovável (R) e a biocapacidade excedente (SB) é esperada, já que ambos tratam dos recursos naturais disponíveis para a utilização em cada país. A correlação entre o recurso natural renovável (R) e o *GDP* sugere uma relação indireta entre o crescimento econômico e a existência de recursos naturais renováveis.

Correlação entre os indicadores avaliados e a fração de recursos não renováveis (N)

As correlações de N (recursos não renováveis) com os indicadores propostos na literatura, com exceção do Índice de Bem-Estar (*WI*) e do Índice de Sustentabilidade Ambiental (*ESI-2002*) também são significativas apesar de alguns índices apresentarem baixa correlação: Pegada Ecológica (*EF*), Biocapacidade Excedente (*SB*), Índice de Democracia (*Democracy*)

Index), Índice de Felicidade (*HLY*) e Índice Expectativa de Vida (*LY*). As figuras 8, 9, 10, 11 e 12 mostram a correlação entre a fração *N* e os indicadores: *GDP*, *GDPpc*, *HDI*, *HLY* e *LY*.

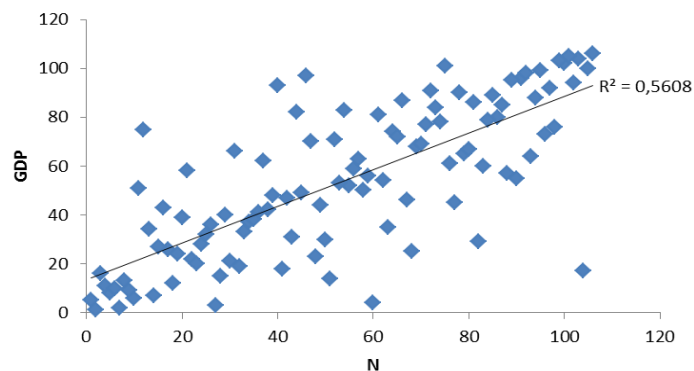


Figura 8 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos não renováveis (*N*) e o Produto Interno Bruto (*GDP*) para 106 países

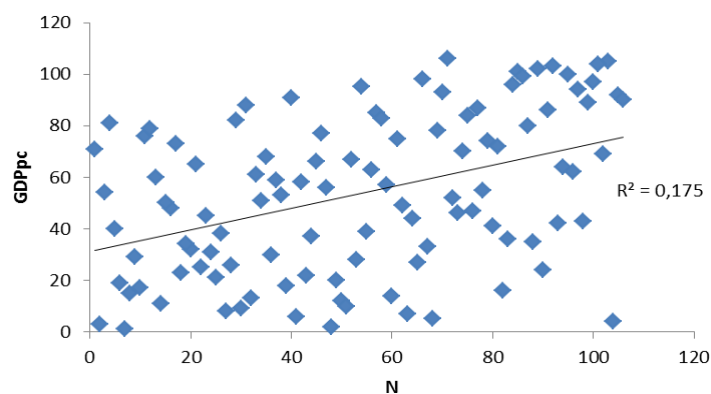


Figura 9 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos não renováveis (*N*) e o Produto Interno Bruto per capita (*GDPpc*) para 106 países

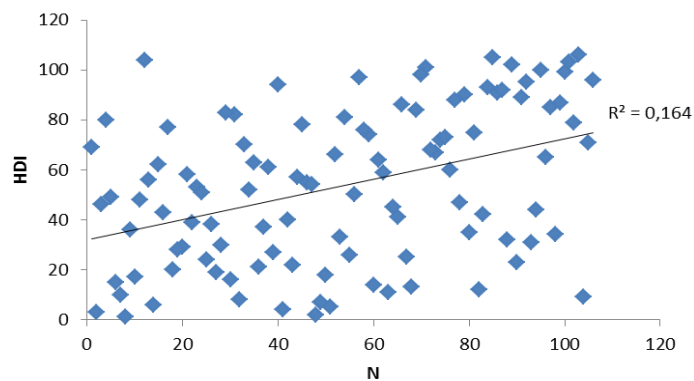


Figura 10 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos não renováveis (N) e o Índice de Desenvolvimento Humano (HDI) para 106 países

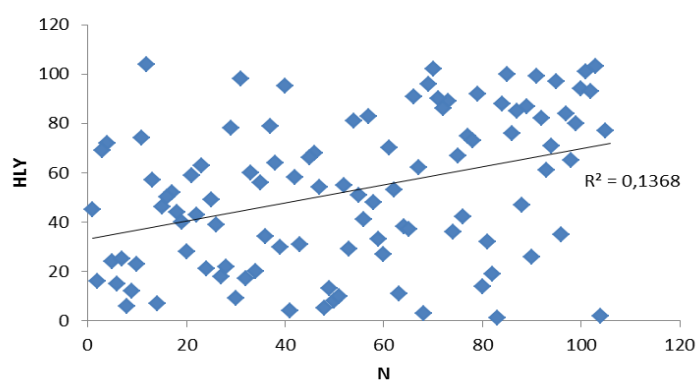


Figura 11 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos não renováveis (N) e o Índice de Felicidade (HLY) para 104 países

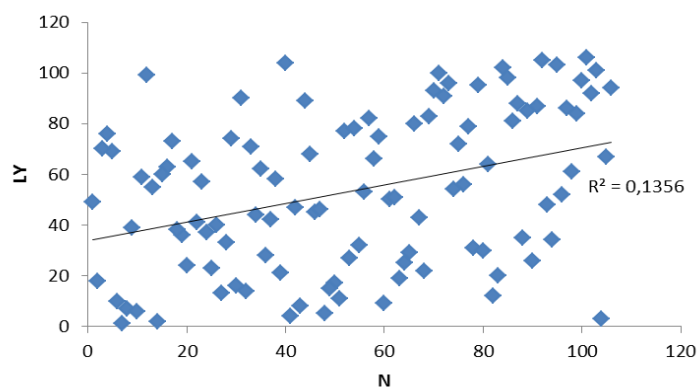


Figura 12 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos não renováveis (N) e o Índice de Expectativa de vida (LY) para 106 países

As tabelas 2B e 2C e o grafo da figura 13 mostram que existe correlação do recurso natural não renovável (N) com a maioria dos indicadores, excluindo-se apenas o Índice de Bem-Estar (*WI*) e o Índice de Sustentabilidade Ambiental (*ESI-2002*), com os quais não existe correlação. Existe correlação alta apenas com o Produto Interno Bruto (*GDP*) e correlações médias com o Produto Interno Bruto per capita (*GDPpc*) e com o Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*).

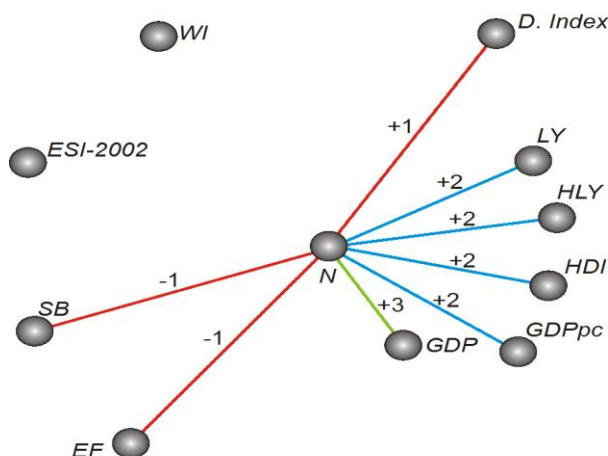


Figura 13 - Grafo que mostra a fração dos recursos naturais não renováveis (N) com os 10 indicadores estudados

Os resultados parecem mostrar que quase todos os indicadores levam em consideração as riquezas naturais não renováveis de cada país (riquezas tradicionais como minérios, combustíveis fósseis e outros), reforçando a ideia de que estes indicadores estão baseados no conceito de que o desenvolvimento está diretamente associado à riqueza do país (neste caso, nos recursos que o país dispõe para alavancar seu crescimento econômico).

Correlação entre os indicadores avaliados e a fração de recursos provenientes da economia (F)

Observa-se nas tabelas 2B e 2C e no grafo representado na figura 22 que a maioria dos indicadores apresentados na literatura, com exceção do Índice de Bem-Estar (*WI*) e do Índice de Sustentabilidade Ambiental - 2002 (*ESI-2002*), têm alta ou média correlação com F, a parcela de recursos que é proveniente do sistema econômico mundial e é utilizada pelos países. A correlação entre F e os indicadores tradicionais PIB (*GDP*) e PIB per capita (*GDPpc*) é esperada e os gráficos de dispersão são mostrados nas figuras 14 e 15. Entretanto, a correlação acima de 0,4 desta fração com indicadores como o *HDI* (figura 16), *HLY* (figura 17), *LY* (figura 18), *EF* (figura 19), *SB* (figura 20) e *D. Index* (figura 21), mostra que estes

indicadores, apesar de proporem uma medida alternativa para o desenvolvimento, ainda são fortemente dependentes dos valores que associam desenvolvimento com crescimento econômico.

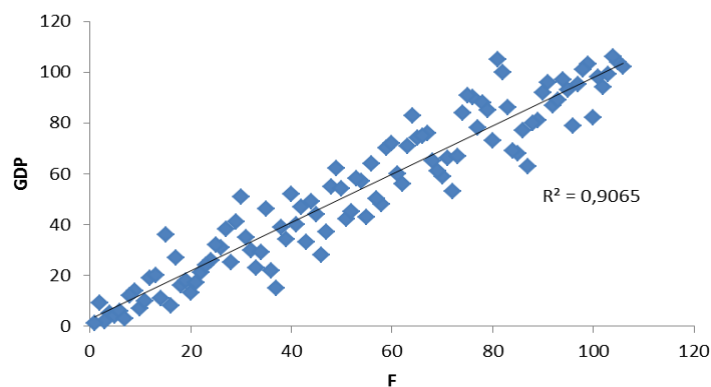


Figura 14 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Produto Interno Bruto (GDP) para 106 países

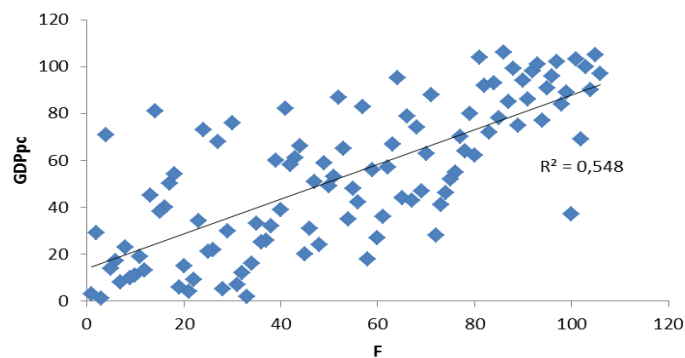


Figura 15 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Produto Interno Bruto per capita (GDPpc) para 106 países

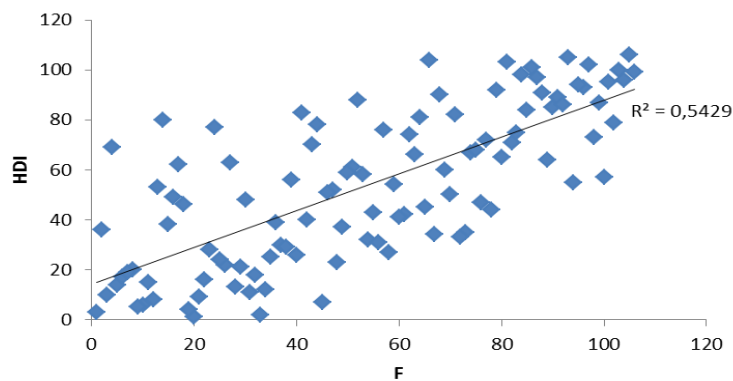


Figura 16 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Índice de Desenvolvimento Humano (HDI) para 106 países

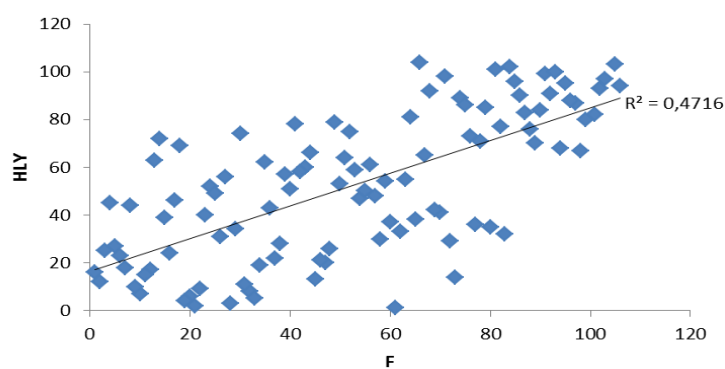


Figura 17 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Índice de Felicidade (HLY) para 104 países

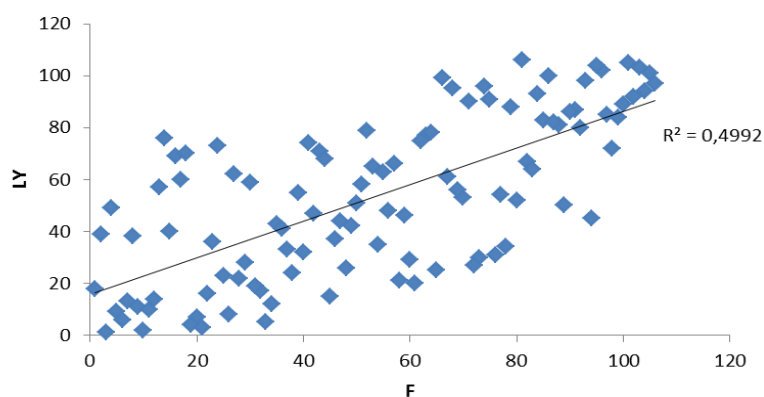


Figura 18 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Índice de Expectativa de Vida (LY) para 106 países

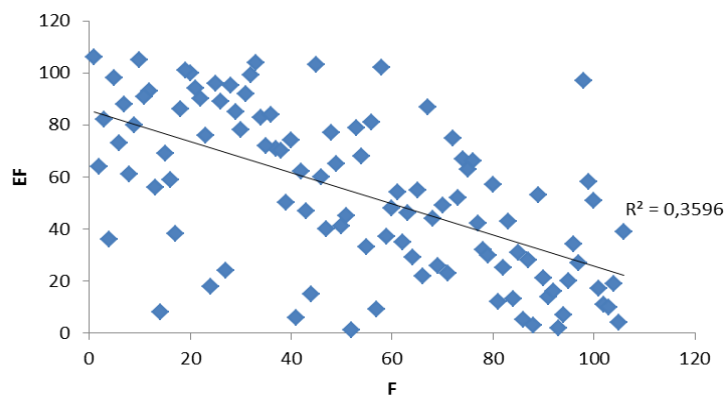


Figura 19 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e a Pegada Ecológica (EF) para 106 países

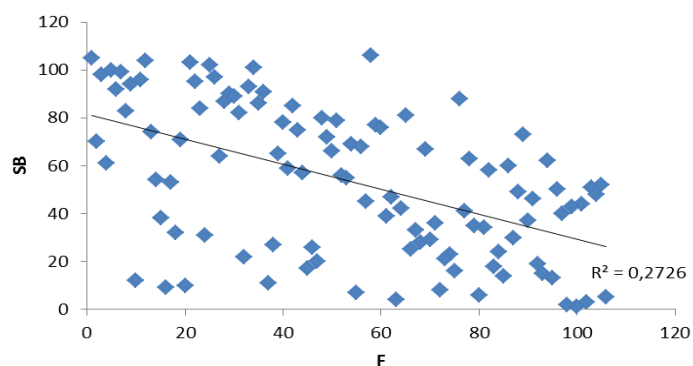


Figura 20 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e a Biocapacidade Excedente (SB) para 106 países

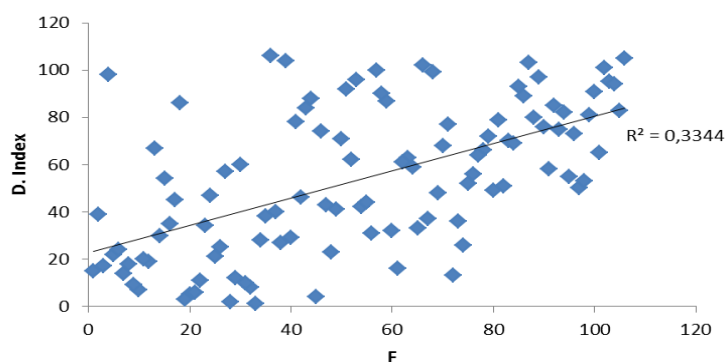


Figura 21 - Diagrama de dispersão entre a fração de recursos econômicos (F) e o Índice de Democracia (D. Index) para 106 países

As tabelas 2B e 2C e o grafo apresentado na figura 22 mostram que existe correlação da parcela dos recursos provenientes da economia (F) com todos os indicadores estudados, mostrando que o dinheiro (economia) tem muita influência na sociedade, e consequentemente, na construção e na composição dos indicadores que são concebidos para atender, em tese, a necessidade social de entender e controlar o estado do mundo.

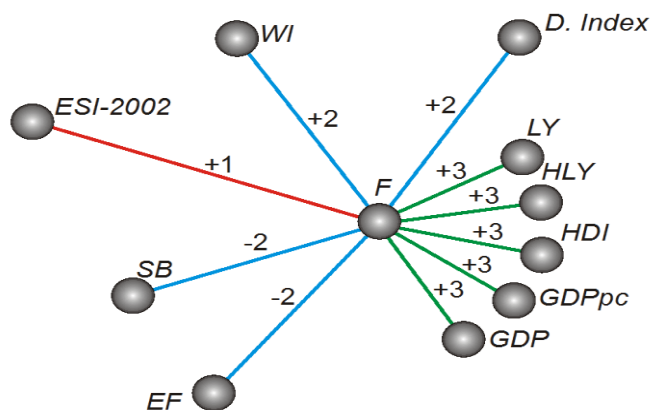


Figura 22 - Grafo que mostra a fração dos recursos provenientes da economia (F) com os 10 indicadores estudados

Aqui também se pode observar que os 10 indicadores estudados levam em consideração os recursos econômicos como sendo necessários para o bem-estar e a sustentabilidade dos países. Como esperado, as correlações mais fortes se dão com o *GDP*, *GDPpc*, *HDI*, *HLY* e o *LY*. No caso do *HDI* e do *LY*, fica clara a importância de um sistema econômico saudável para garantir o desenvolvimento humano e a expectativa de vida média dos cidadãos. Para o *D. Index* e o *WI*, percebe-se que uma economia saudável é considerada necessária, mas não tão importante. O mesmo vale em menor grau para o *ESI-2002*. Entretanto, para *EF* e *SB* há uma correlação negativa, o que corrobora que o desenvolvimento, como é pensado atualmente, não leva ainda em consideração os recursos naturais disponíveis (*SB*) ou seu consumo (*EF*).

Correlação entre os indicadores avaliados e os índices em energia (*EYR*, *ELR* e *ESI*)

Os indicadores da contabilidade em energia incluem as três frações de recursos para avaliar a sustentabilidade de um sistema. Os resultados mostrados nas tabelas 2A, 2B e 2C deixam claro que os indicadores propostos para medida de desenvolvimento não incluem esta parcela (R). Além disto, quando a fração R é incluída, a correlação se torna negativa, como mostrado nos exemplos da figura 23, que aponta as correlações do Índice de Felicidade (*HLY*)

com os indicadores de energia (*EYR*, *ELR* e *ESI*), na figura 24, que mostra as correlações do Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*) com os indicadores de energia (*EYR*, *ELR* e *ESI*), e na figura 25, que mostra as correlações do Índice Expectativa de Vida (*LY*) com os indicadores de energia (*EYR*, *ELR* e *ESI*).

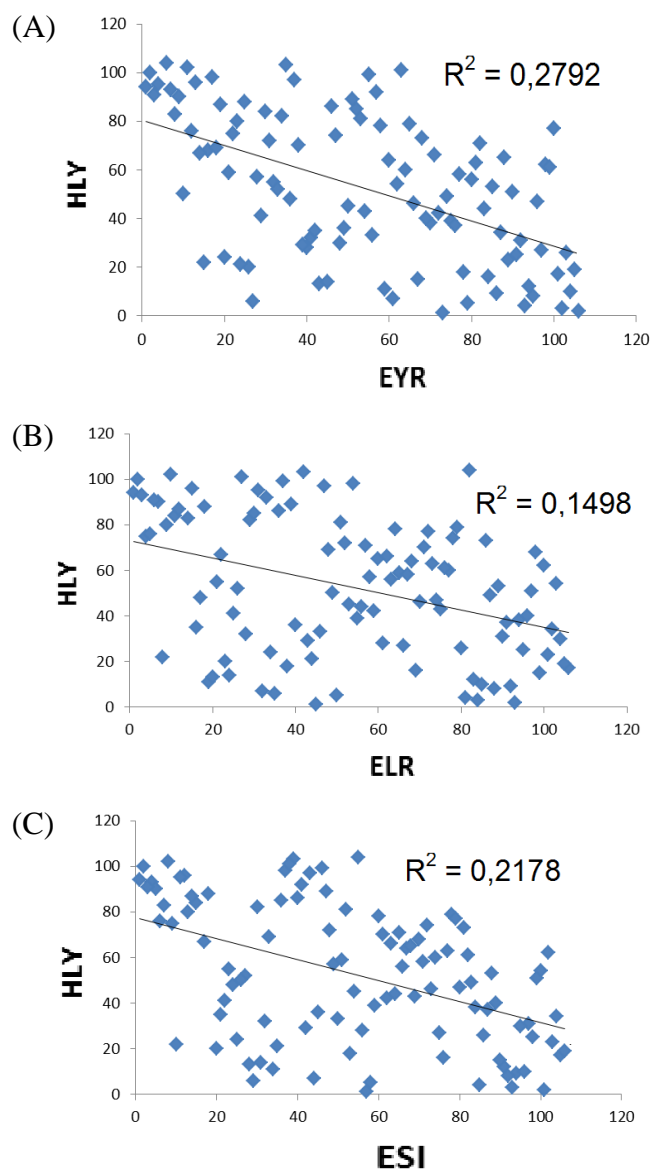


Figura 23 - Diagramas de dispersão para 104 países entre os índices em energia: *EYR* (A), *ELR* (B) e *ESI* (C) e o Índice de Felicidade (*HLY*)

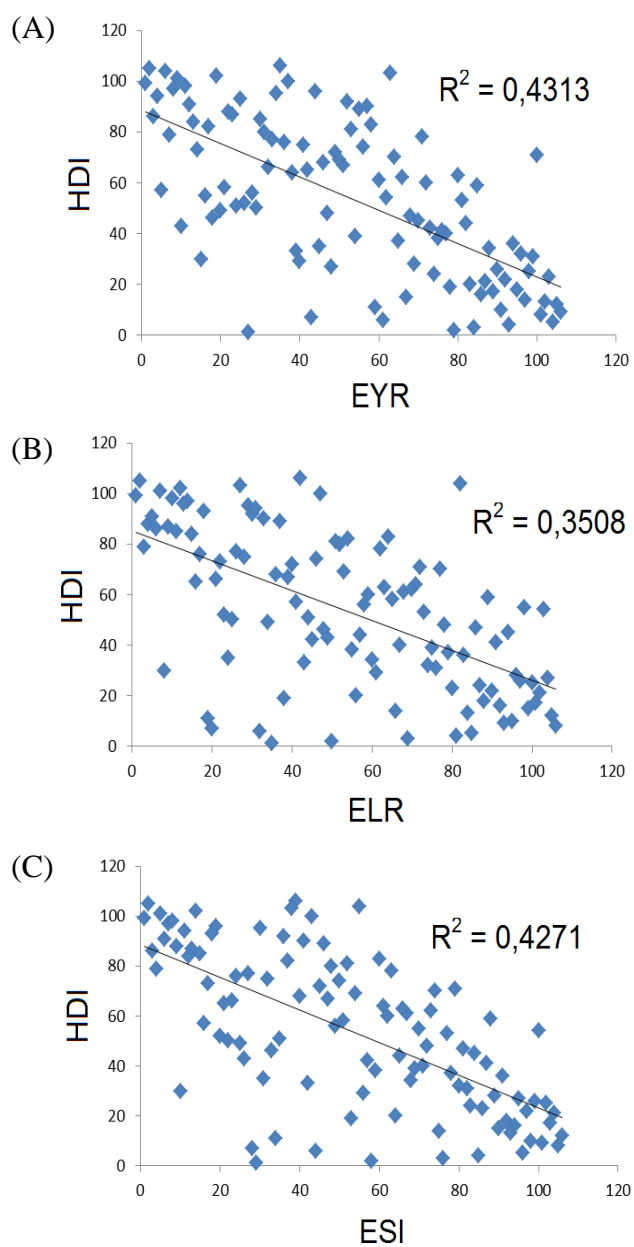


Figura 24 - Diagramas de dispersão para 106 países entre os índices em energia: *EYR* (A), *ELR* (B) e *ESI* (C) e o Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*)

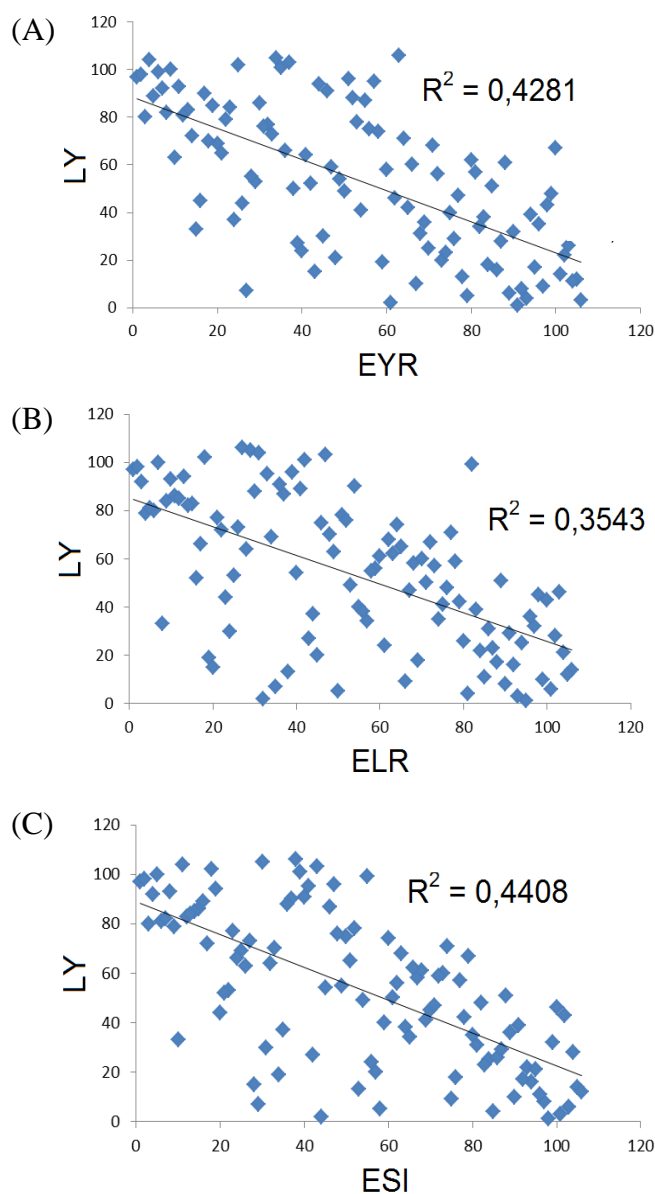


Figura 25 - Diagramas de dispersão para 106 países entre os índices em energia: *EYR* (A), *ELR* (B) e *ESI* (C) e a Expectativa de Vida (*LY*)

Nas tabelas 2B e 2C e nos grafos com os indicadores de energia que são mostrados nas figuras 26, 27 e 28, observa-se que existem correlações (positivas e negativas) com todos os indicadores, exceto do Índice de Carga Ambiental (*ELR*) com o Indicador de Sustentabilidade Ambiental (*ESI-2002*).

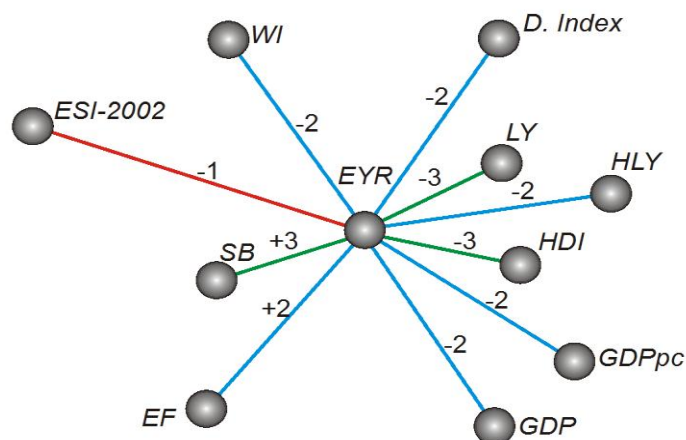


Figura 26 - Grafo que mostra o Índice de Rendimento em Emergia (*EYR*) com os 10 indicadores estudados

O índice de rendimento em emergia (*EYR*) é um indicador que mostra a relação entre o que é apropriado de recursos locais e gratuitos (*R* e *N*) em relação ao que vem de fora do sistema ($EYR = R+N+F/F$), ou seja, mostra as contribuições do ambiente local para o sistema como um todo. No grafo (figura 26) se observa que todos os indicadores possuem correlações médias ou fortes com o *EYR*, com exceção do *ESI-2002*. Este resultado mostra que este indicador, que relaciona de forma simples a quantidade de recursos de um país, é bastante abrangente e poderia ser utilizado no lugar de qualquer um dos outros indicadores.

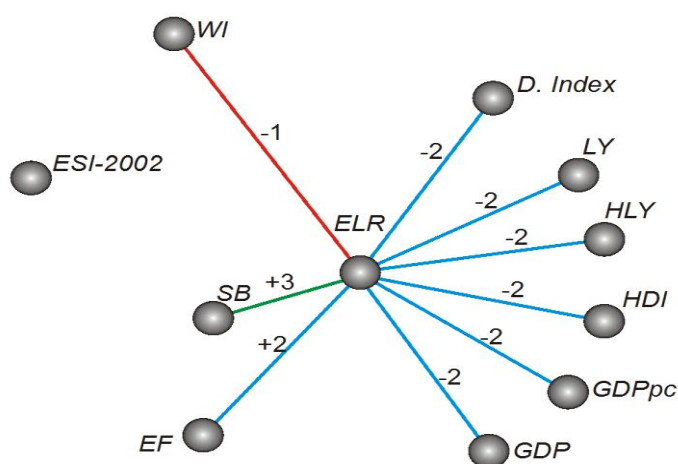


Figura 27 - Grafo do Índice de Carga Ambiental (*ELR*) com os 10 indicadores estudados

O índice de carga ambiental (*ELR*) é um indicador que mostra a relação entre o que deve ser usado com parcimônia (*F* e *N*), e o que poderia ser utilizado em termos sustentáveis

(R), ($ELR = F+N/R$), ou seja, mostra o estresse do ambiente local, seja porque se esgotam os recursos naturais não renováveis (N), ou porque se depende de muitos recursos de fora do país (F). No grafo (figura 27) se observa que todos os indicadores (com exceção de *EF* e *SB*) não fazem esta distinção importante. Parece que, para a maioria dos indicadores, contar com recursos (sejam eles R, N ou F) é suficiente - não há diferença entre o tipo de recurso empregado. É interessante notar que não há correlação entre o *ELR* e o *ESI-2002*. O *ESI-2002* considera as condições ambientais como a qualidade e quantidade de água, a qualidade do ar e os vários tipos de emissões (SOx, NOx etc.) e visa a redução do estresse ambiental. Esta não correlação pode ser devida à maneira como este estresse é colocado no cálculo e vale uma investigação mais profunda. É interessante notar, também, que só há correlação positiva com o *EF* e o *SB*.

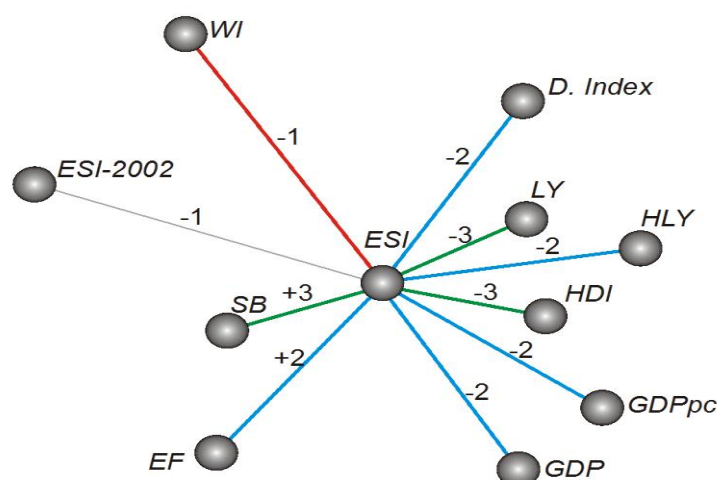


Figura 28 - Grafo que mostra o Índice de Sustentabilidade (*ESI*) com os 10 indicadores estudados

Um alto valor do Indicador de Sustentabilidade *ESI* (EYR/ELR) relaciona um alto *EYR*, ou seja, o uso de recursos locais e gratuitos para o desenvolvimento (R e N) e baixo estresse ambiental *ELR* (o máximo de uso de recursos renováveis – R). O grafo da figura 28 confirma as observações feitas para cada indicador, que todos eles consideram a disponibilidade de recursos como essencial para o desenvolvimento e a sustentabilidade, mas que não diferenciam o tipo de recurso (se é renovável ou não). Assim, pode-se sugerir que todos eles, com exceção dos de energia, consideram o desenvolvimento como dependente da disponibilidade de recursos, mas não levam em consideração sua disponibilidade em longo prazo (este só seria possível com a utilização dos recursos naturais renováveis - Rs) e falham

ao avaliar o desenvolvimento sustentável. Como no índice de carga ambiental (*ELR*), só se vê correlação positiva com o *EF* e o *SB*.

Apesar da emergia não propor a medição da parte social, existe alta ou média correlação desta última com alguns indicadores em emergia, mostrando que o que é medido na contabilidade ambiental indiretamente está relacionado com os resultados da área social. Um resumo das correlações encontradas entre os índices estudados com a classificação do grau de correlação é mostrado na tabela 3, levando em consideração as dimensões de sustentabilidade que cada métrica abrange.

Tabela 3 - Classificação das métricas selecionadas, incluindo as dimensões de sustentabilidade de cada métrica, e o grau de correlação de Spearman (r_s) entre elas

Métrica	Dimensões de Sustentabilidade			Grau de correlação		
	Econômica	Social	Ambiental	Alta ou Forte $r_s \geq 0,7$	Média $0,4 \leq r_s < 0,7$	Baixa ou Fraca $r_s < 0,4$
GDP	★			F, N	R, EYR, ELR, ESI	--
GDPpc	★			F	N, EYR, ELR, ESI	--
HDI	★	★		F, EYR, ESI	N, ELR	--
HLY	★	★		F	N, EYR, ELR, ESI	--
LY	★	★		F, EYR, ESI	N, ELR	--
Dem. Index		★			F, EYR, ELR, ESI	N
EF			★	--	F, EYR, ELR, ESI	N
SB			★	EYR, ELR, ESI	R, F	N
WI		★	★		F, EYR	ELR, ESI
ESI - 2002	★	★	★			F, EYR

R: recursos naturais renováveis; N: recursos naturais não renováveis; F: recursos provenientes da economia; *EYR*: *Emergy Yield Ratio* (Índice de Rendimento em Emergia); *ELR*: *Environmental Load Ratio* (Índice de Carga Ambiental); *ESI*: *Environmental Sustainability Index* (Índice de Sustentabilidade Ambiental); *GDP*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto); *GDPpc*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto per capita); *HDI*: *Human Development Index* (Índice de Desenvolvimento Humano); *HLY*: *Happy Life Years* (Índice da Felicidade); *LY*: *Life years* (Expectativa de vida); *EF*: *Ecological Footprint* (Pegada Ecológica); *SB*: *Surplus Biocapacity* (Biocapacidade Excedente); *Democracy Index* (Índice de Democracia); *WI*: *Wellbeing Index* (Índice de Bem-Estar); *ESI-2002*: *Environmental Sustainability Index-2002* (Índice de Sustentabilidade Ambiental- 2002).

Os indicadores de emergência (*EYR*, *ELR* e *ESI*) têm correlações com todos os indicadores estudados, o que sugere que, se empregados somente eles, podem dar um resultado satisfatório, sem a necessidade de indicadores complementares.

Destaca-se que, em geral, as frações de recursos classificados de acordo com a metodologia de emergência (R, N e F) também se correlacionam com os 10 indicadores estudados, dando uma ideia dos fluxos que são considerados importantes para cada indicador.

5.1 Estudo comparativo dos países por continentes

Os 106 países estudados foram separados por continentes e foram construídos diagramas de dispersão para as frações R, N, F e os indicadores de emergência (*EYR*, *ELR* e *ESI*) com os 10 indicadores usuais de sustentabilidade.

Os cálculos dos valores dos coeficientes de correlação de Spearman (r_s) são apresentados no memorial de cálculo nos anexos K.1 a K.10 do CD (América), L.1 a L.10 do CD (Europa), M.1 a M.10 do CD (África) e N.1 a N.10 do CD (Ásia).

As tabelas 4A, 5A, 6A e 7A mostram as correlações com os coeficientes de determinação (r^2) dos indicadores estudados nos principais continentes do mundo (América, Europa, África, Ásia).

As tabelas 4B, 5B, 6B e 7B mostram os valores das correlações dos indicadores estudados em cada um dos continentes do mundo (América, Europa, África, Ásia), utilizando o coeficiente de correlação de Spearman (r_s). Foi adotado um asterisco (*) para nível de significância menor que 1% ($\alpha \leq 0,01$) e dois asteriscos (**) para nível de significância menor que 5% ($\alpha \leq 0,05$), e as tabelas 4C, 5C, 6C e 7C mostram os coeficientes de correlação de Spearman dimensionados de forma mais simples com os números 0, 1, 2 e 3, conforme já discutido.

América

As tabelas 4A, 4B e 4C mostram as correlações entre os indicadores estudados para a América.

Tabela 4A - Matriz de correlação com os coeficientes de determinação (r^2) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da América

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	0,6	0,1	0,2	0,2	< 0,1	< 0,1	0,3	0,2	0,1	0,3
N	0,8	0,1	0,3	0,1	< 0,1	0,1	0,3	< 0,1	0,1	< 0,1
F	0,8	0,1	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
<i>EYR</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	0,2	< 0,1	0,5	< 0,1	0,1
<i>ELR</i>	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	0,5	< 0,1	0,4
<i>ESI</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	0,2	< 0,1	0,6	< 0,1	0,4

Tabela 4B - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da América

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	0,8*	0,3	0,4**	0,4**	< 0,1	0,2	-0,5**	0,4**	0,3	0,5**
N	0,9*	0,3	0,5**	0,3	0,1	0,3	-0,5**	< 0,1	0,3	0,1
F	0,9*	0,3	0,6*	0,5**	0,4**	0,5**	-0,5**	-0,2	0,2	< 0,1
<i>EYR</i>	0,1	< 0,1	-0,2	-0,2	-0,4**	-0,4**	< 0,1	0,7*	0,2	0,4**
<i>ELR</i>	< 0,1	< 0,1	-0,3	< 0,1	-0,3	-0,4**	< 0,1	0,7*	< 0,1	0,6*
<i>ESI</i>	< 0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,4**	-0,4**	0,1	0,8*	0,2	0,6*

Tabela 4C - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos e dimensionados de forma mais simples para os países da América

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	3	0	2	2	0	0	-2	2	0	2
N	3	0	2	0	0	0	-2	0	0	0
F	3	0	2	2	2	2	-2	0	0	0
<i>EYR</i>	0	0	0	0	-2	-2	0	3	0	2
<i>ELR</i>	0	0	0	0	0	-2	0	3	0	2
<i>ESI</i>	0	0	0	0	-2	-2	0	3	0	2

R: recursos naturais renováveis; N: recursos naturais não renováveis; F: recursos provenientes da economia; *EYR*: *Emergy Yield Ratio* (Índice de Rendimento em Emergia); *ELR*: *Environmental Load Ratio* (Índice de Carga Ambiental); *ESI*: *Environmental Sustainability Index* (Índice de Sustentabilidade Ambiental); *GDP*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto); *GDPpc*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto per capita); *HDI*: *Human Development Index* (Índice de Desenvolvimento Humano); *HLY*: *Happy Life Years* (Índice da Felicidade); *LY*: *Life years* (Expectativa de vida); *EF*: *Ecological Footprint* (Pegada Ecológica); *SB*: *Surplus Biocapacity* (Biocapacidade Excedente); *Democracy Index* (Índice de Democracia); *WI*: *Wellbeing Index* (Índice de Bem-Estar); *ESI-2002*: *Environmental Sustainability Index-2002* (Índice de Sustentabilidade Ambiental- 2002).

Europa

As tabelas 5A, 5B e 5C mostram as correlações entre os indicadores estudados para a Europa.

Tabela 5A - Matriz de correlação com os coeficientes de determinação (r^2) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da Europa

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	0,5	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
N	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	0,1	< 0,1	0,2
F	0,9	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,1	< 0,1
<i>EYR</i>	< 0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	0,2	0,2
<i>ELR</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1
<i>ESI</i>	< 0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1

Tabela 5B - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da Europa

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	0,7*	0,5*	0,4*	0,4*	0,3**	0,3**	-0,5*	-0,3**	0,2	-0,1
N	0,6*	0,1	0,1	0,1	0,2	< 0,1	-0,2	-0,3**	< 0,1	-0,5*
F	0,9*	0,7*	0,7*	0,6*	0,7*	0,6*	-0,6*	-0,7*	0,4*	-0,1
<i>EYR</i>	-0,2	-0,4*	-0,5*	-0,5*	-0,4*	-0,5*	0,3**	0,2	-0,4*	-0,5*
<i>ELR</i>	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3**	-0,2	< 0,1	0,3**	< 0,1	< 0,1
<i>ESI</i>	-0,3**	-0,3**	-0,4*	-0,4*	-0,4*	-0,4*	0,2	0,4*	-0,2	-0,1

Tabela 5C - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos e dimensionados de forma mais simples para os países da Europa

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	3	2	2	2	1	1	-2	-1	0	0
N	2	0	0	0	0	0	0	-1	0	-2
F	3	3	3	2	3	2	-2	-3	2	0
<i>EYR</i>	0	-2	-2	-2	-2	-2	1	0	-2	-2
<i>ELR</i>	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0
<i>ESI</i>	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	2	0	0

R: recursos naturais renováveis; N: recursos naturais não renováveis; F: recursos provenientes da economia; *EYR*: *Energy Yield Ratio* (Índice de Rendimento em Energia); *ELR*: *Environmental Load Ratio* (Índice de Carga Ambiental); *ESI*: *Environmental Sustainability Index* (Índice de Sustentabilidade Ambiental); *GDP*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto); *GDPpc*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto per capita); *HDI*: *Human Development Index* (Índice de Desenvolvimento Humano); *HLY*: *Happy Life Years* (Índice da Felicidade); *LY*: *Life years* (Expectativa de vida); *EF*: *Ecological Footprint* (Pegada Ecológica); *SB*: *Surplus Biocapacity* (Biocapacidade Excedente); *Democracy Index* (Índice de Democracia); *WI*: *Wellbeing Index* (Índice de Bem-Estar); *ESI-2002*: *Environmental Sustainability Index-2002* (Índice de Sustentabilidade Ambiental- 2002).

África

As tabelas 6A, 6B e 6C mostram as correlações entre os indicadores estudados para a África.

Tabela 6A - Matriz de correlação com os coeficientes de determinação (r^2) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da África

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,3	< 0,1	< 0,1
N	0,7	0,2	0,2	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F	0,6	0,3	0,2	0,1	0,3	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
EYR	< 0,1	< 0,1	0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,4	< 0,1	< 0,1
ELR	0,2	0,2	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1
ESI	0,1	0,2	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,3	< 0,1	< 0,1

Tabela 6B - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da África

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	0,3**	< 0,1	< 0,1	-0,2	< 0,1	-0,2	0,1	0,6*	-0,2	0,1
N	0,8*	0,5*	0,4**	0,3**	0,4**	< 0,1	-0,3**	< 0,1	< 0,1	0,3**
F	0,8*	0,5*	0,5*	0,4**	0,5*	0,2	-0,3**	-0,3**	< 0,1	0,2
EYR	-0,2	-0,3**	-0,4**	-0,5*	-0,3**	-0,3**	0,2	0,7*	< 0,1	0,1
ELR	-0,5*	-0,5*	-0,4**	-0,2	-0,3**	-0,1	0,3**	0,5*	< 0,1	-0,2
ESI	-0,3**	-0,5*	-0,4**	-0,3**	-0,3**	-0,2	0,3**	0,6*	-0,2	-0,1

Tabela 6C - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos e dimensionados de forma mais simples para os países da África

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0
N	3	2	2	1	2	0	-1	0	0	1
F	3	2	2	2	2	0	-1	-1	0	0
EYR	0	-1	-2	-2	-1	-1	0	2	0	0
ELR	-2	-2	-2	0	-1	0	1	2	0	0
ESI	-1	-2	-2	-1	-1	0	1	2	0	0

R: recursos naturais renováveis; N: recursos naturais não renováveis; F: recursos provenientes da economia; EYR: *Emergy Yield Ratio* (Índice de Rendimento em Emergia); ELR: *Environmental Load Ratio* (Índice de Carga Ambiental); ESI: *Environmental Sustainability Index* (Índice de Sustentabilidade Ambiental); GDP: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto); GDPpc: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto per capita); HDI: *Human Development Index* (Índice de Desenvolvimento Humano); HLY: *Happy Life Years* (Índice da Felicidade); LY: *Life years* (Expectativa de vida); EF: *Ecological Footprint* (Pegada Ecológica); SB: *Surplus Biocapacity* (Biocapacidade Excedente); Democracy Index (Índice de Democracia); WI: *Wellbeing Index* (Índice de Bem-Estar); ESI-2002: *Environmental Sustainability Index-2002* (Índice de Sustentabilidade Ambiental- 2002).

Ásia

As tabelas 7A, 7B e 7C mostram as correlações entre os indicadores estudados para a Ásia.

Tabela 7A - Matriz de correlação com os coeficientes de determinação (r^2) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da Ásia

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1
N	0,6	0,2	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F	0,9	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
<i>EYR</i>	0,3	0,6	0,5	0,4	0,5	0,2	0,1	0,4	< 0,1	< 0,1
<i>ELR</i>	< 0,1	0,7	0,6	0,3	0,6	< 0,1	0,4	0,6	< 0,1	< 0,1
<i>ESI</i>	0,2	0,7	0,7	0,4	0,7	< 0,1	0,3	0,6	< 0,1	< 0,1

Tabela 7B - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos para os países da Ásia

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	0,6*	- 0,2	-0,2	< 0,1	-0,2	0,2	0,5*	0,3	< 0,1	-0,2
N	0,8*	0,4**	0,3	0,3	0,3	0,1	- 0,1	-0,1	-0,3	-0,3
F	0,9*	0,6*	0,4**	0,5*	0,4**	0,4**	< 0,1	-0,3	< 0,1	-0,1
<i>EYR</i>	-0,6*	-0,8*	-0,7*	-0,6*	-0,7*	-0,4**	0,3	0,6*	-0,1	< 0,1
<i>ELR</i>	-0,2	-0,8*	-0,8*	-0,6*	-0,8*	< 0,1	0,6*	0,8*	0,2	< 0,1
<i>ESI</i>	-0,4**	-0,9*	-0,8*	-0,7*	-0,8*	-0,2	0,6*	0,8*	< 0,1	< 0,1

Tabela 7C - Matriz de correlação de Spearman (r_s) entre as frações de recursos R, N, F e os indicadores de energia com os indicadores conhecidos e dimensionados de forma mais simples para os países da Ásia

	<i>GDP</i>	<i>GDPpc</i>	<i>HDI</i>	<i>HLY</i>	<i>LY</i>	<i>D. Index</i>	<i>EF</i>	<i>SB</i>	<i>WI</i>	<i>ESI -2002</i>
R	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0
N	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
F	3	2	2	2	2	2	0	0	0	0
<i>EYR</i>	-2	-3	-3	-2	-3	-2	0	3	0	0
<i>ELR</i>	0	-3	-3	-2	-3	0	2	3	0	0
<i>ESI</i>	-2	-3	-3	-3	-3	0	2	3	0	0

R: recursos naturais renováveis; N: recursos naturais não renováveis; F: recursos provenientes da economia; *EYR*: *Energy Yield Ratio* (Índice de Rendimento em Energia); *ELR*: *Environmental Load Ratio* (Índice de Carga Ambiental); *ESI*: *Environmental Sustainability Index* (Índice de Sustentabilidade Ambiental); *GDP*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto); *GDPpc*: *Gross Domestic Product* (Produto Interno Bruto per capita); *HDI*: *Human Development Index* (Índice de Desenvolvimento Humano); *HLY*: *Happy Life Years* (Índice da Felicidade); *LY*: *Life years* (Expectativa de vida); *EF*: *Ecological Footprint* (Pegada Ecológica); *SB*: *Surplus Biocapacity* (Biocapacidade Excedente); *Democracy Index* (Índice de Democracia); *WI*: *Wellbeing Index* (Índice de Bem-Estar); *ESI-2002*: *Environmental Sustainability Index-2002* (Índice de Sustentabilidade Ambiental- 2002).

Para facilitar a visualização das correlações dos coeficientes de Spearman foram criados grafos das frações de recursos R, N, F e dos indicadores em energia *EYR*, *ELR* e *ESI* com os 10 indicadores estudados para cada continente (América, Europa, África e Ásia). Os grafos são mostrados nas figuras 29, 30, 31, 32, 33 e 34.

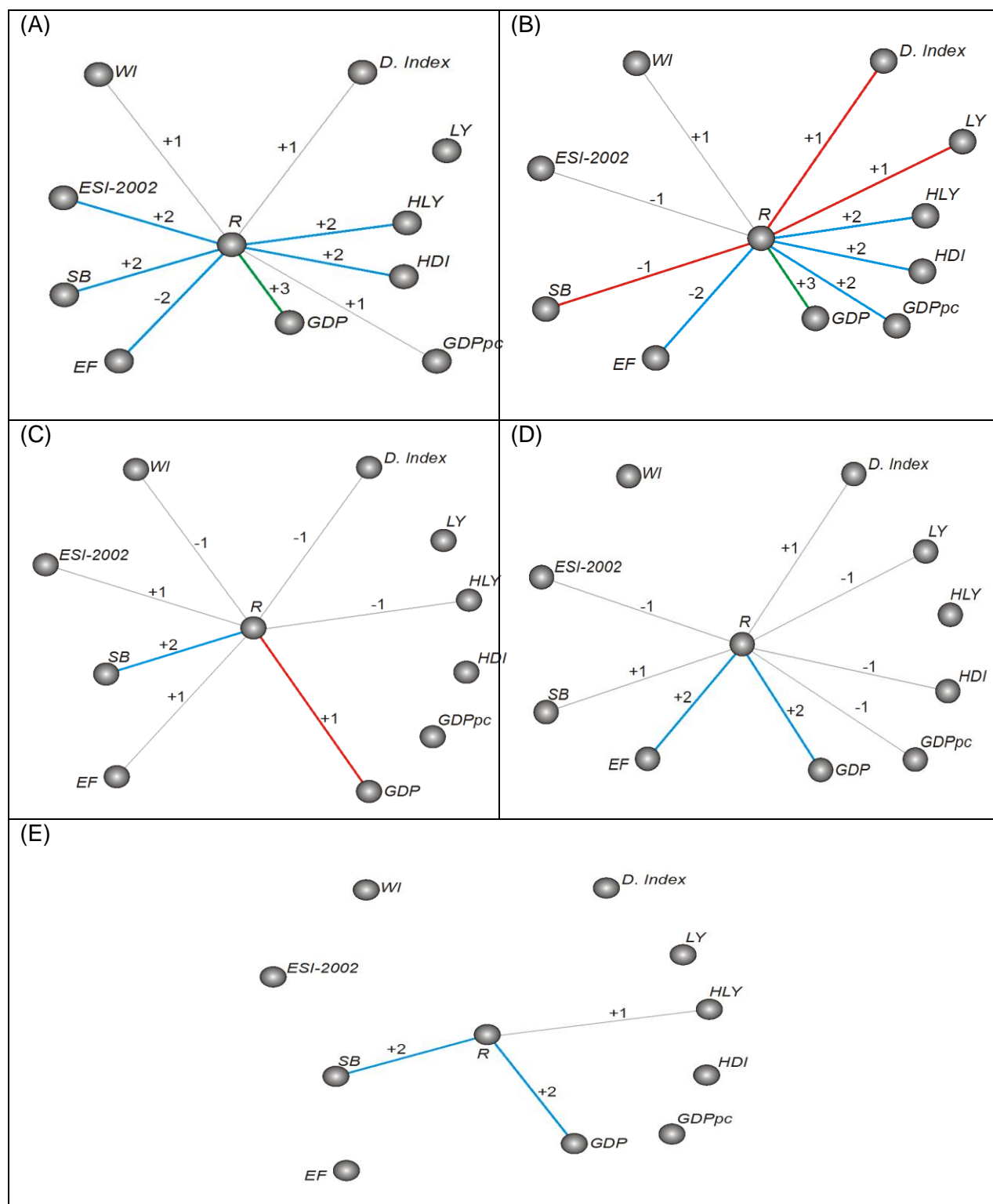


Figura 29 - Grafos que mostram a fração de recursos naturais renováveis (R) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América (A), Europa (B), África (C), Ásia (D) e com os 106 países (E)

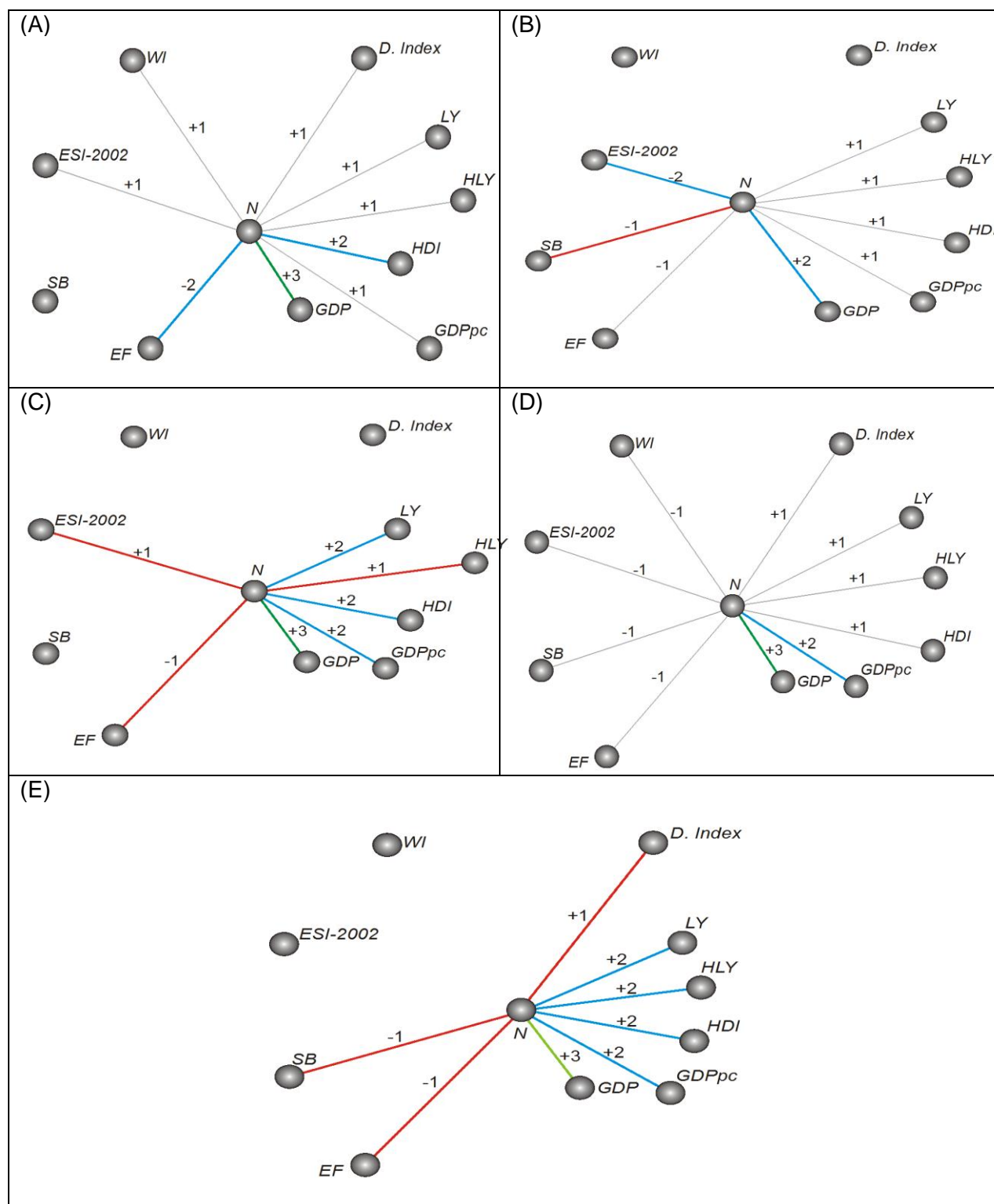


Figura 30 - Grafos que mostram a fração de recursos naturais não renováveis (N) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América (A), Europa (B), África (C), Ásia (D) e com os 106 países (E)

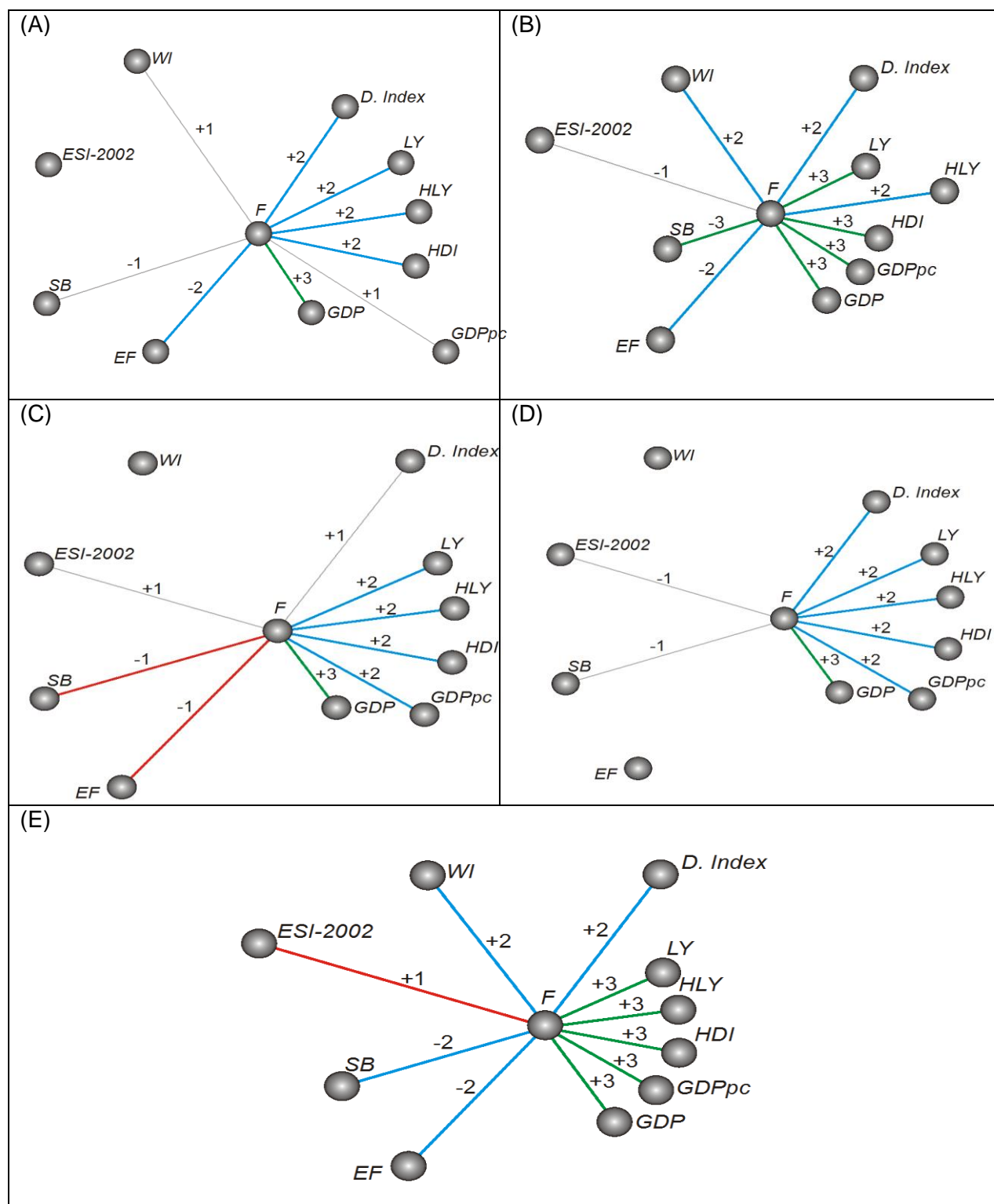


Figura 31 - Grafos que mostram a fração de recursos provenientes da economia (F) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América (A), Europa (B), África (C), Ásia (D) e com os 106 países (E)

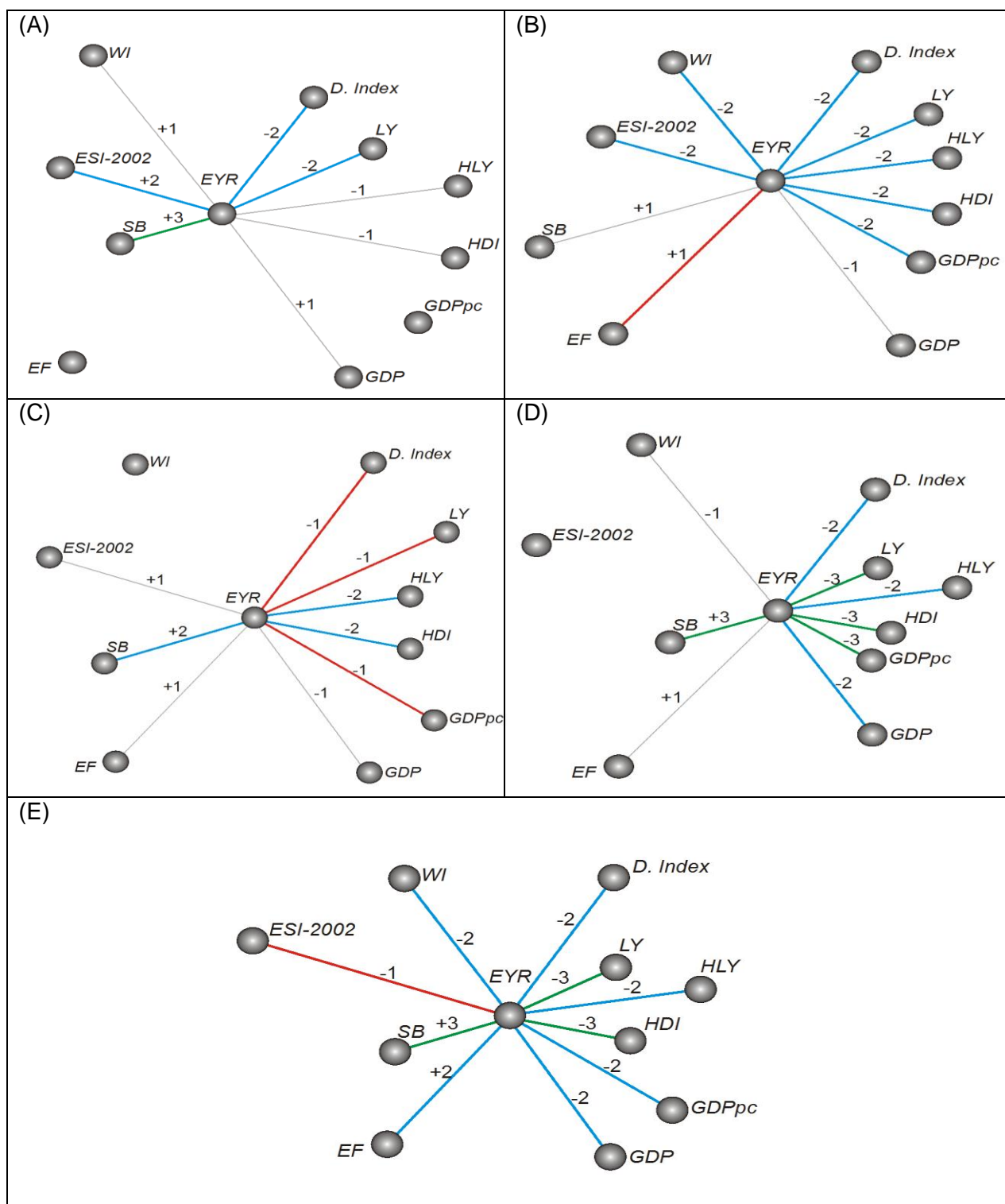


Figura 32 - Grafos que mostram o Índice de Rendimento em Energia (EYR) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América (A), Europa (B), África (C), Ásia (D) e com os 106 países (E)

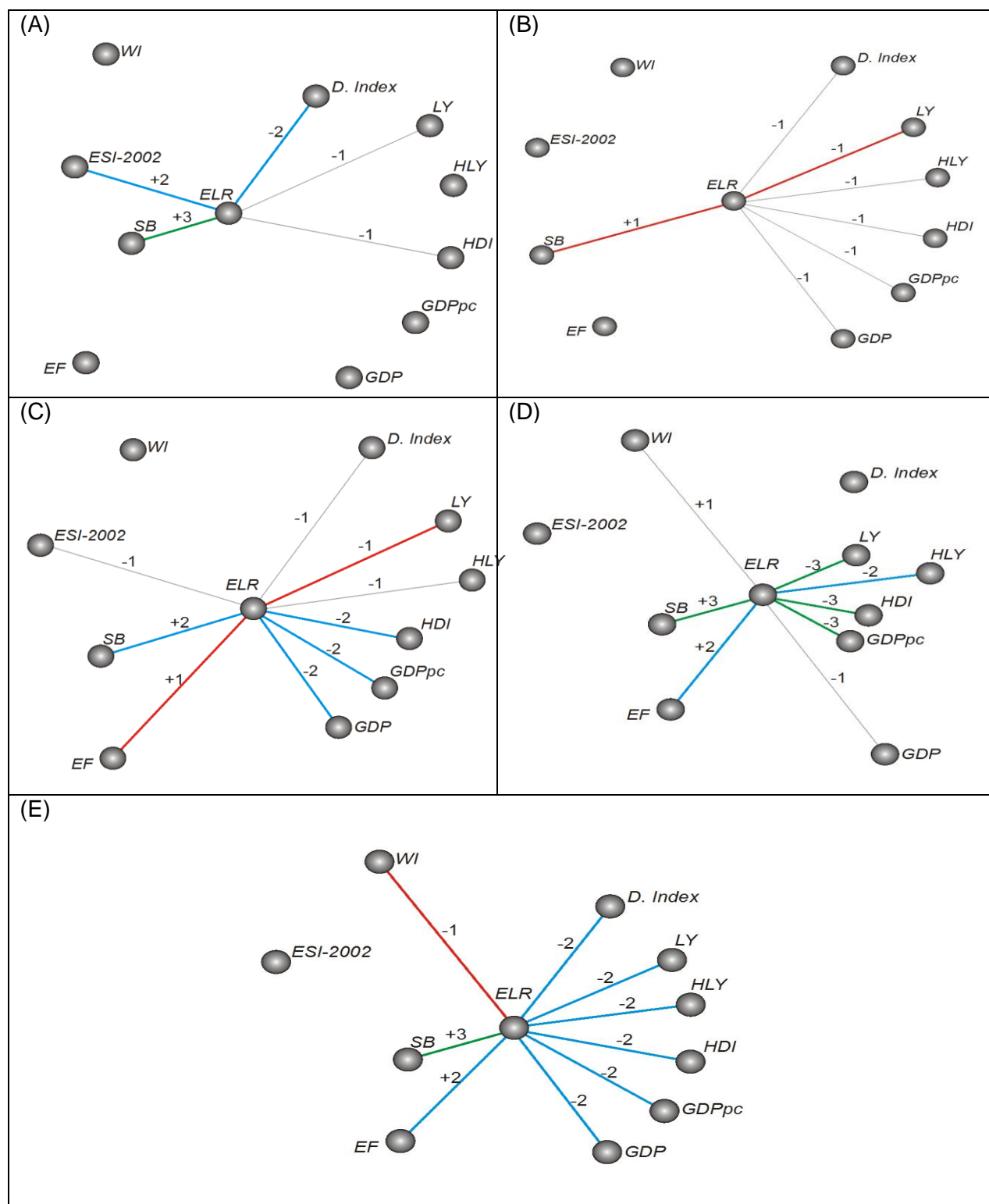


Figura 33 - Grafos que mostram o Índice de Carga Ambiental (ELR) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América (A), Europa (B), África (C), Ásia (D) e com os 106 países (E)

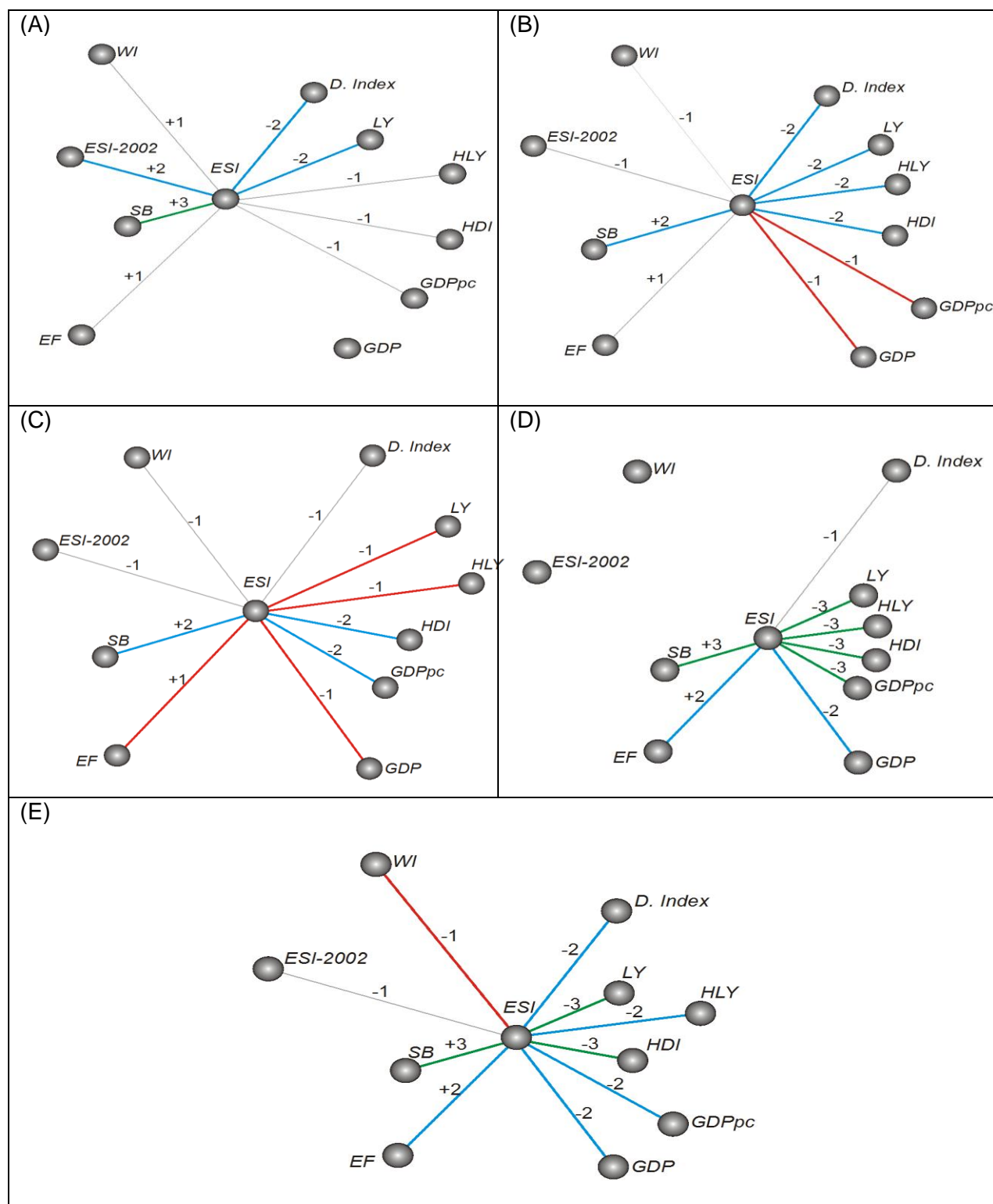


Figura 34 - Grafos que mostram o Índice de Sustentabilidade (ESI) com os 10 indicadores estudados para os continentes: América (A), Europa (B), África (C), Ásia (D) e com os 106 países (E)

Percebe-se que os grafos que representam a fração dos recursos renováveis (R) no centro, com os indicadores estudados de todos os continentes, são diferentes do grafo da fração dos recursos renováveis (R) com os indicadores para os 106 países (mundo), e também são diferentes entre si. Entretanto, pode-se observar, que tanto o grafo que representa a África (figura 29 C) como o da Ásia (figura 29 D), que são continentes mais heterogêneos no que se refere a diferenças geográficas e níveis de desenvolvimento econômico, são os que mais se aproximam daquele que representa o planeta (figura 29 E).

No caso dos grafos que representam a fração dos recursos naturais não renováveis (N), pode-se observar novamente que o continente africano (figura 30 C) é o que mostra maior aderência com os resultados do mundo, apresentando correlações positivas apenas com os indicadores socioeconômicos.

No caso do estudo da fração dos recursos provenientes da economia (F), observa-se que em todos os continentes ocorrem correlações com a maioria dos indicadores estudados. Varia se há ou não correlação com o *ESI-2002* e o *WI*, que em geral não ocorre nos grafos dos países africanos (figura 31 C), e asiáticos (figura 31 D), em todos os estudos com os países separados por continentes. Estes resultados podem sugerir que estes dois indicadores foram concebidos e construídos com considerações que refletem o modo de entender o desenvolvimento na América e na Europa, e que não necessariamente pode descrever os modelos de desenvolvimento utilizados na África e na Ásia. Para os outros indicadores, há variação de intensidade nas correlações, mas quase sempre elas existem.

As observações feitas para os recursos não renováveis (N) e recursos provenientes da economia (F), reforçam a ideia de que todos os indicadores levam em conta as riquezas com uso econômico de cada país, mas os resultados podem variar dependendo das características das regiões.

Observando os grafos do *EYR* no centro com os outros indicadores, se nota que para a Europa (figura 32 B), há correlação do mesmo com quase todos os indicadores, mostrando uma situação mais parecida com o grafo dos 106 países. Pode-se notar também, que na África (figura 32 C) e na Ásia (figura 32 D) o indicador *EYR* (que não faz diferença entre países desenvolvidos ou não, e, somente apresenta a razão entre o uso de recursos) não se correlaciona com indicadores como o *ESI-2002* (que conta as instituições para lidar com problemas ambientais) ou o *WI*, que foram concebidos com "uma ideia de desenvolvimento" de

primeiro mundo (o vigente) e não se aplicam (ou não são totalmente adequados) a esses continentes. Neste estudo, verificou-se também, correlação do *EYR* com o *ESI-2002* na América (figuras 32 A e 35 B). Quando foi estudada a América do Sul isoladamente (figura 35 A), essa correlação não existia, ou seja, só passou a existir quando foram incluídos os países da América do Norte e Central como os EUA e o Canadá. As tabelas com os dados da América do Sul são apresentadas nos anexos Y.1 a Y.11 do CD.

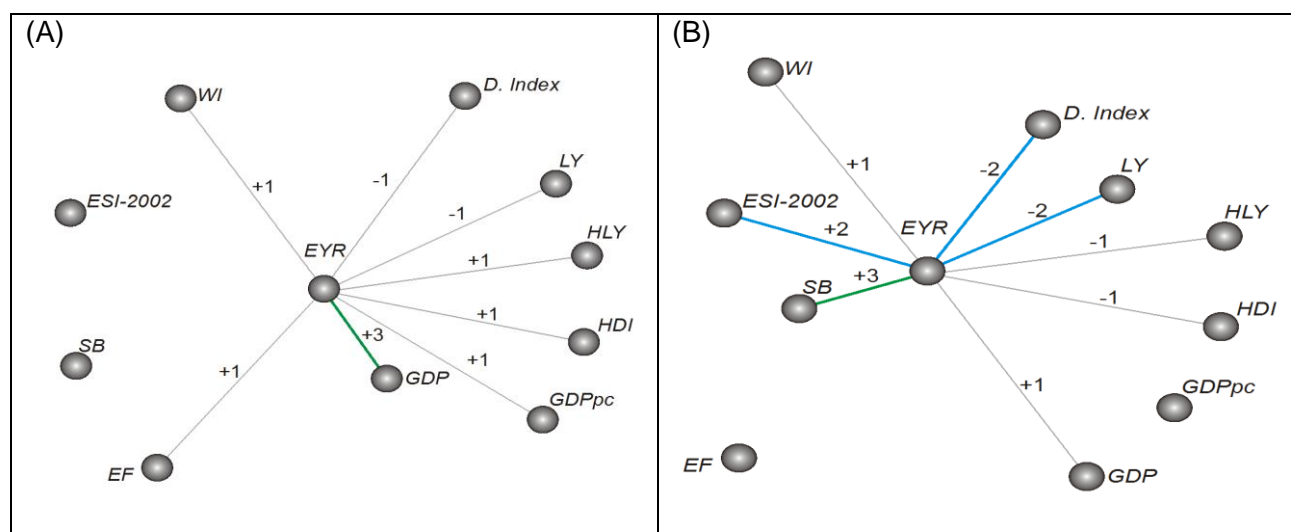


Figura 35 - Grafos que mostram o Índice de Rendimento em Energia (*EYR*) com os 10 indicadores estudados para a América do Sul (A) e para o continente americano – América (B)

Os resultados dos grafos do *EYR* no centro podem sugerir que os dois indicadores (*ESI-2002* e *WI*) refletem o desenvolvimento na América e na Europa, e que não são adequados para descrever os modelos de desenvolvimento utilizados nos continentes mais heterogêneos (África e Ásia). Este modelo, principalmente para a Europa, valoriza instituições e ações para a preservação do meio ambiente (por isso, os países europeus estão no alto destes *rankings*), mas não valorizam (ao menos não com a importância necessária) a existência de recursos R (que os países da Europa, em especial, não têm mais).

Os grafos do *ELR* no centro com os indicadores estudados (para todos os continentes) mostram que tanto o grafo que representa a África (figura 33 C) como o da Ásia (figura 33 D), que são continentes mais heterogêneos com relação ao desenvolvimento econômico e carga ambiental, são os que mais se aproximam daquele que representa o planeta (figura 33 E).

Os resultados mostram que o Índice de Sustentabilidade (*ESI*) é o indicador que traz

menos diferenças entre os resultados para cada continente e o resultado para os 106 países (mundo). Esse resultado é explicado devido ao *ESI* ser um indicador agregado, que considera não só a contribuição dos países para a economia mundial, como o estresse ambiental de cada nação.

5.2 Estudo comparativo dos países por grupos de democracia

Os 106 países estudados foram separados por grupos de democracia (democracia plena, democracia imperfeita, regime híbrido e regime autoritário) e depois construídos gráficos de correlação para R, N, F e indicadores em emergência (*EYR*, *ELR* e *ESI*) com os 10 indicadores usuais de sustentabilidade.

Os cálculos dos valores dos coeficientes de correlação de Spearman (r_s) são apresentados no memorial de cálculo nos anexos O.1 a O.10 do CD (democracia plena), P.1 a P.10 do CD (democracia imperfeita), Q.1 a Q.10 do CD (regime híbrido), R.1 a R.10 do CD (regime autoritário).

São apresentadas as tabelas que mostram as correlações dos indicadores estudados e separados por grupos de democracia (democracia plena, democracia imperfeita, regime híbrido e regime autoritário) nos anexos S.1, S.2 e S.3 do CD. Para facilitar a visualização das correlações dos coeficientes de Spearman foram criados grafos das frações de recursos R, N, F e dos indicadores em emergência *EYR*, *ELR* e *ESI* com os 10 indicadores estudados para cada grupo de país, conforme o seu regime de democracia. Os grafos são mostrados nas figuras 36, 37, 38, 39, 40 e 41.

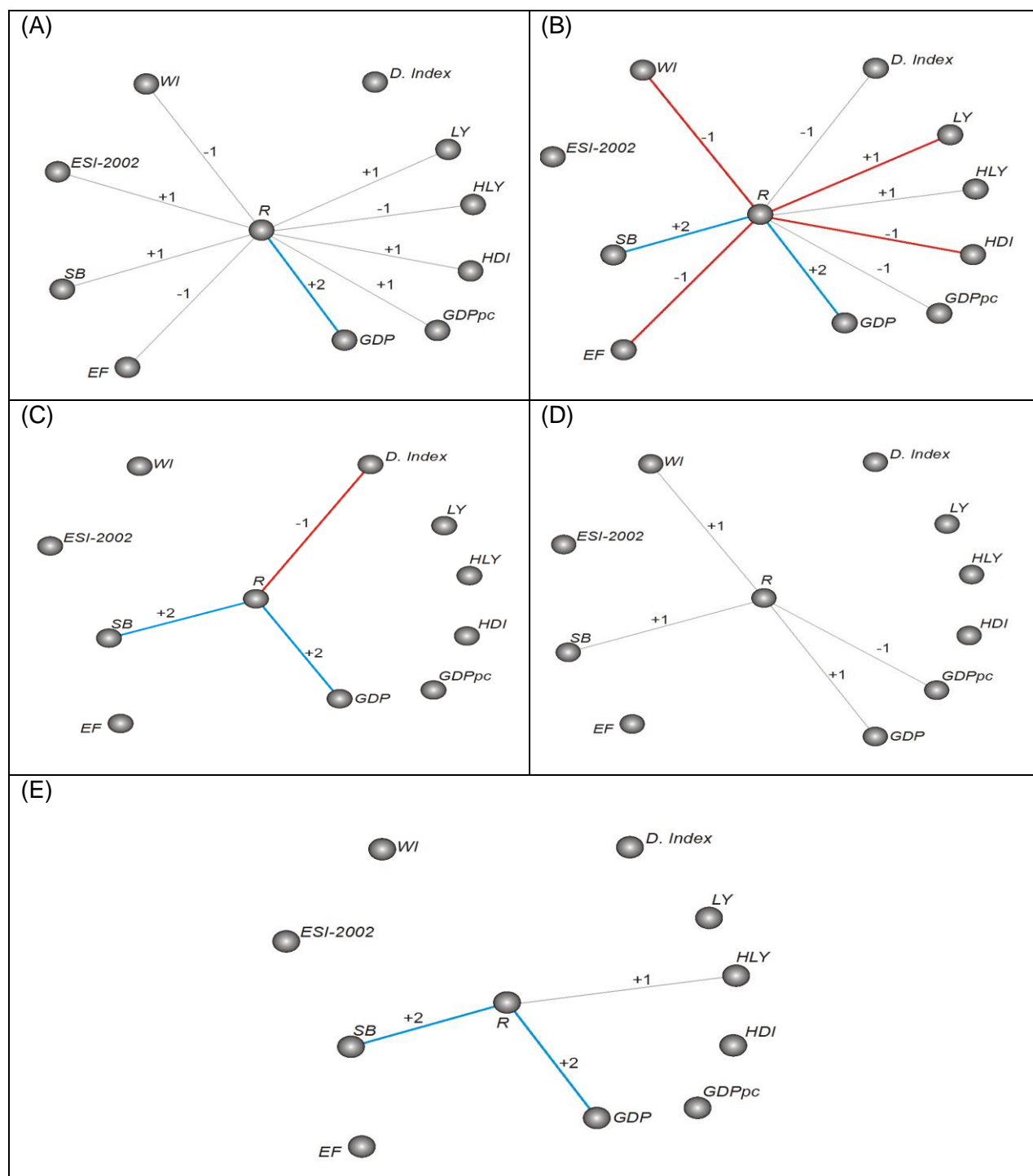


Figura 36 - Grafos que mostram a fração de recursos renováveis (R) com os 10 indicadores estudados para os países com democracia plena (A), com democracia imperfeita (B), com regime híbrido (C), com regime autoritário (D) e com os 106 países (E)

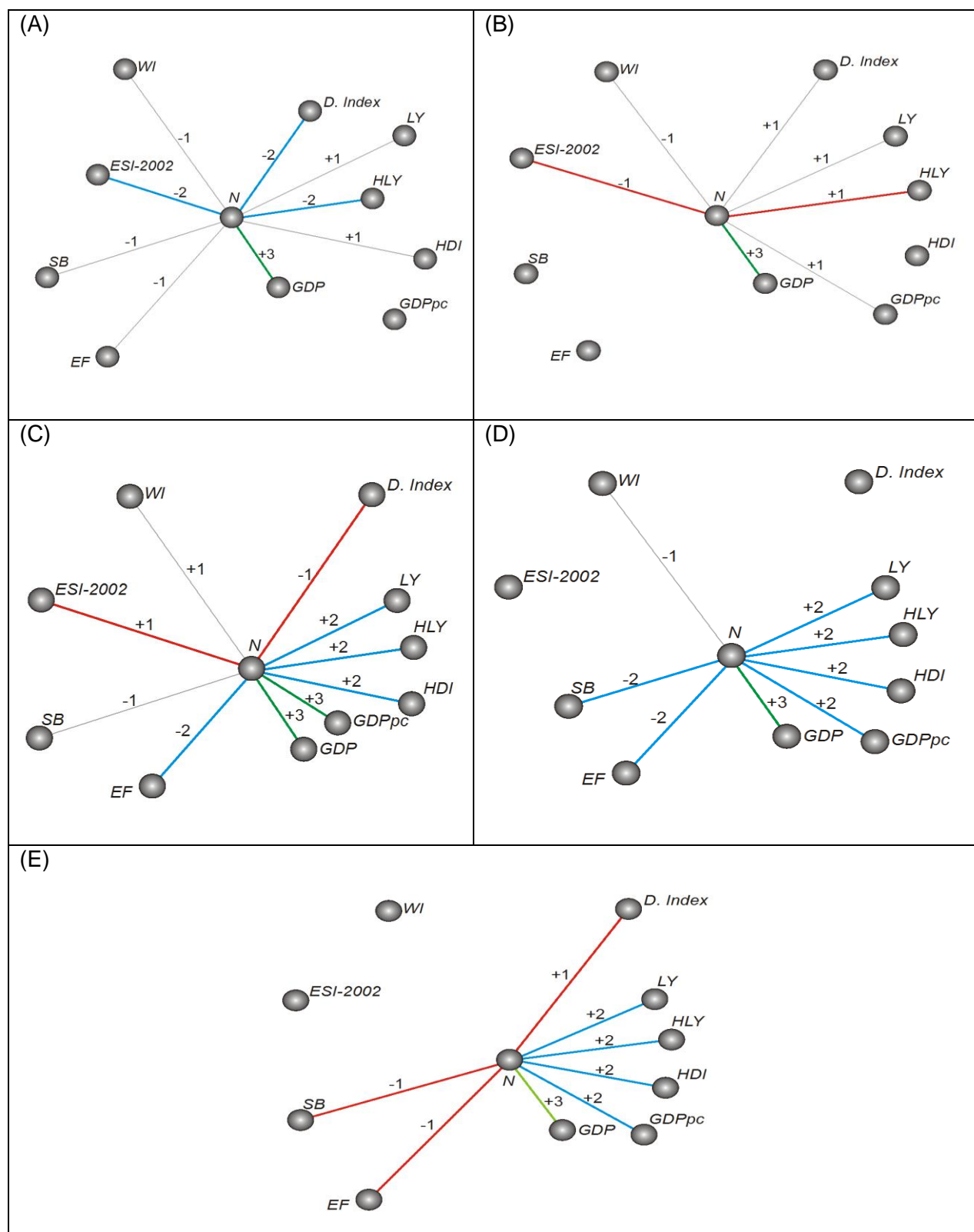


Figura 37 - Grafos que mostram a fração de recursos não renováveis (N) com os 10 indicadores estudados para os países com democracia plena (A), com democracia imperfeita (B), com regime híbrido (C), com regime autoritário (D) e com os 106 países (E)

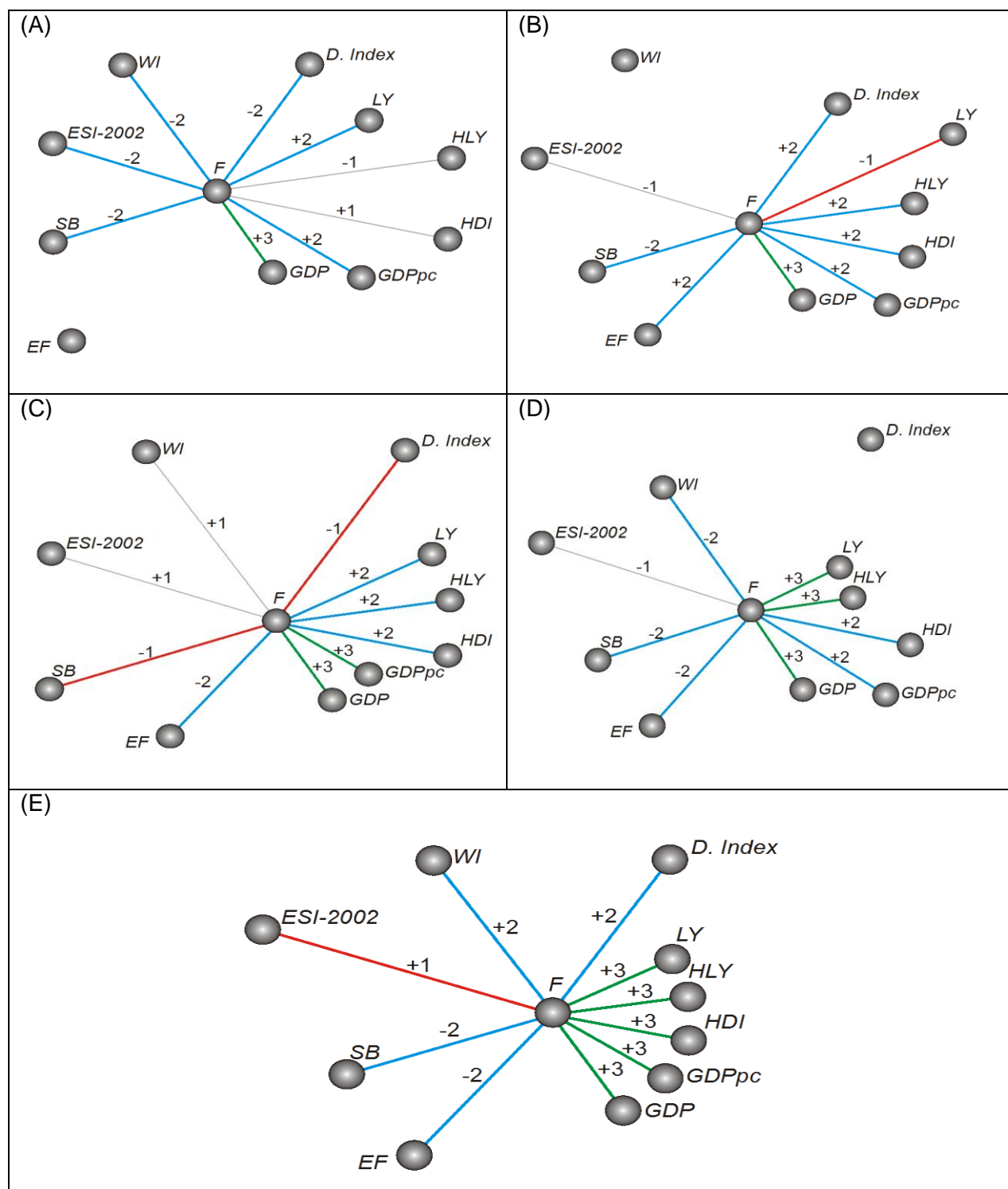


Figura 38 - Grafos que mostram a fração de recursos provenientes da economia (F) com os 10 indicadores estudados para os países com democracia plena (A), com democracia imperfeita (B), com regime híbrido (C), com regime autoritário (D) e com os 106 países (E)

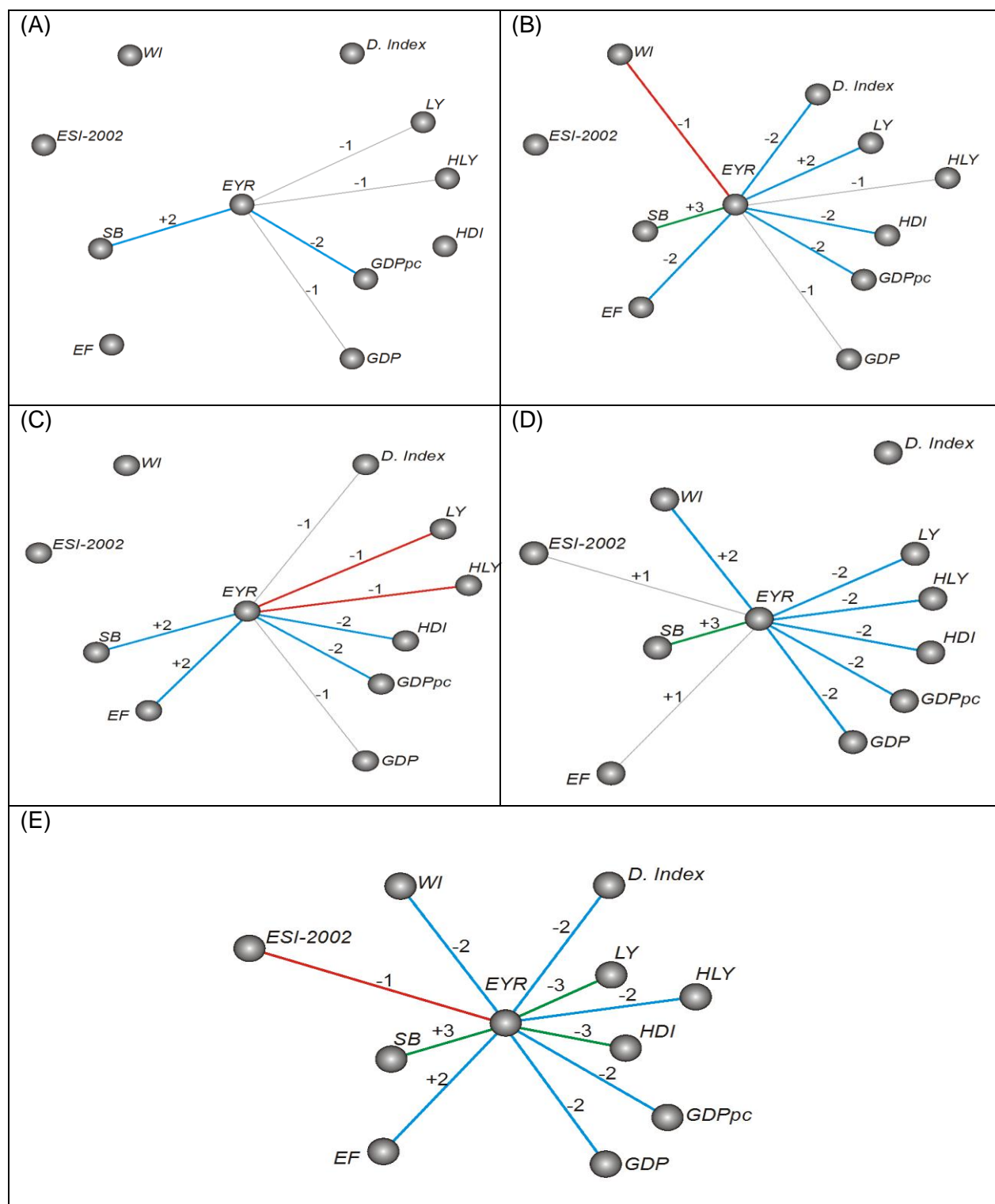


Figura 39 - Grafos que mostram o índice de rendimento em energia (EYR) com os 10 indicadores estudados para os países com democracia plena (A), com democracia imperfeita (B), com regime híbrido (C), com regime autoritário (D) e com os 106 países (E)

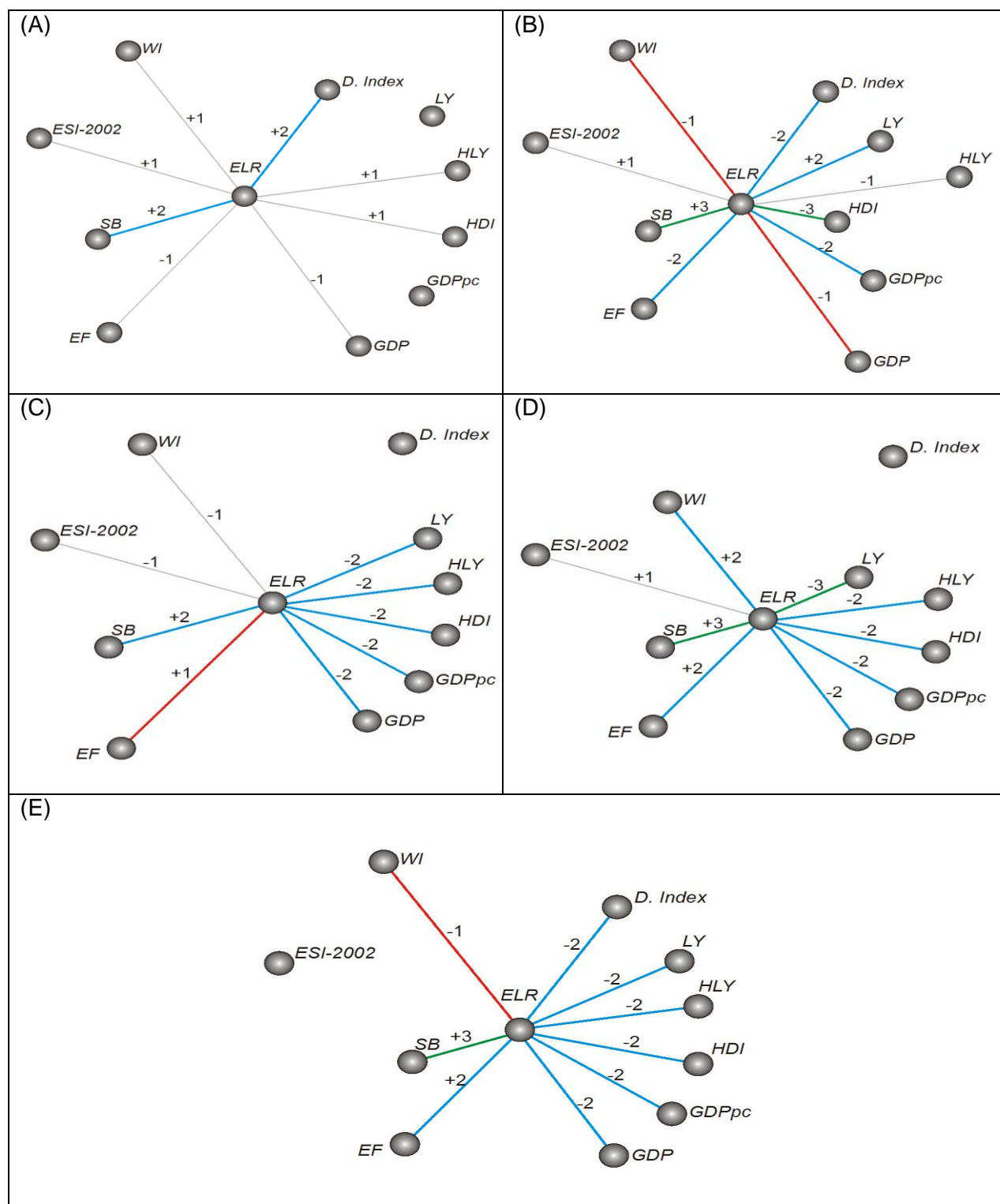


Figura 40 - Grafos que mostram o índice de carga ambiental (ELR) com os 10 indicadores estudados para os países com democracia plena (A), com democracia imperfeita (B), com regime híbrido (C), com regime autoritário (D) e com os 106 países (E)

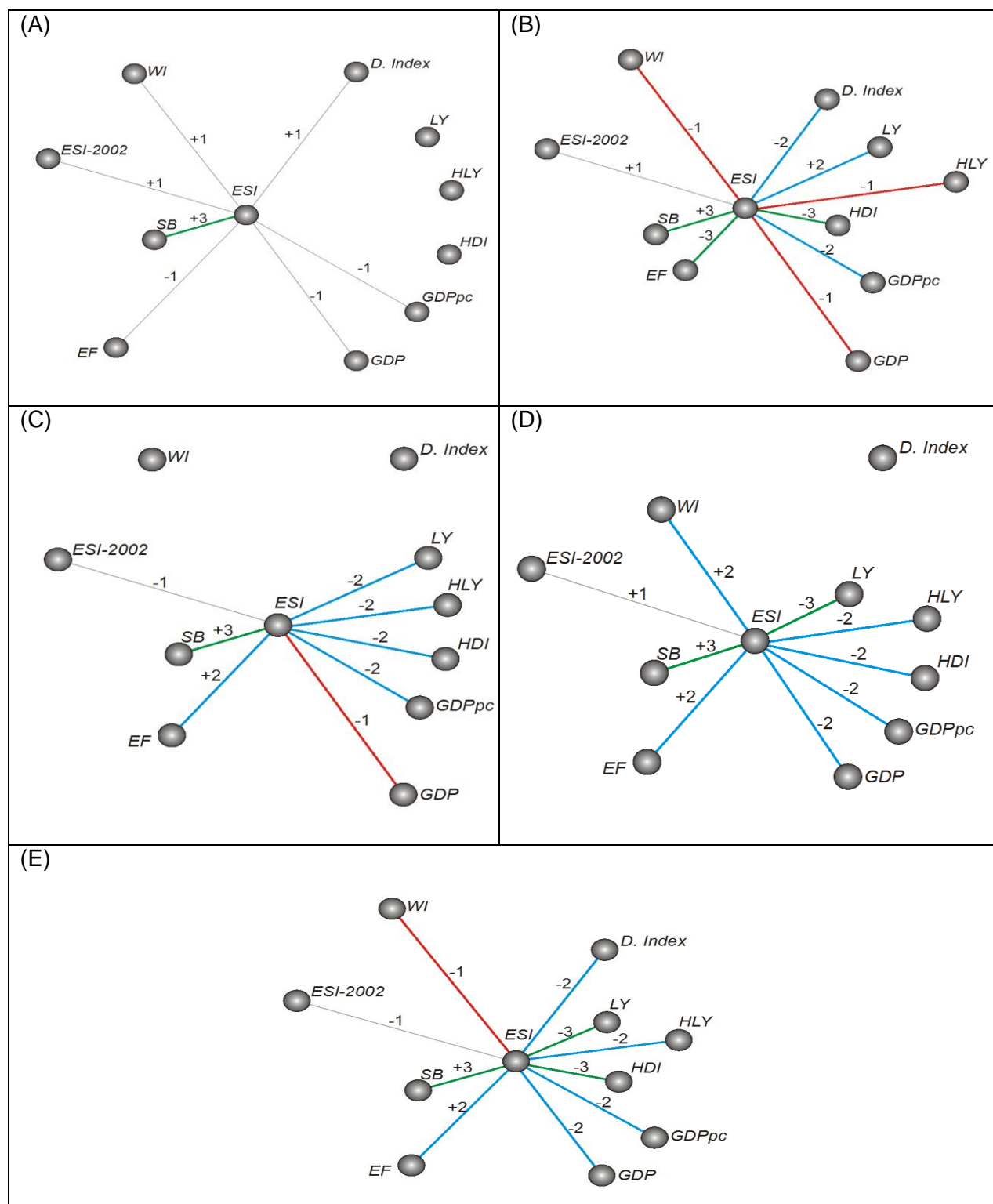


Figura 41 - Grafos que mostram o índice de sustentabilidade (ESI) com os 10 indicadores estudados para os países com democracia plena (A), com democracia imperfeita (B), com regime híbrido (C), com regime autoritário (D) e com os 106 países (E)

Observa-se nas tabelas que são apresentadas nos anexos S.1, S.2 e S.3 do CD e nos grafos das figuras 36, 37, 38, 39, 40 e 41, que as correlações entre os indicadores para os grupos de democracia, também foram menores que quando estudados os 106 países do mundo.

Observando os grafos da figura 36, percebe-se que a correlação da fração de recursos renováveis (R) do regime híbrido é a que mais se assemelha ao encontrado para os 106 países do mundo (sem distinção por regimes de democracia). Exceto no grafo do regime autoritário, a correlação de R com o *GDP* se mantém.

Os grafos de correlações da fração de recursos naturais não renováveis (N) separados por grupos de democracia são mostrados na figura 37. Há correlação forte de N com o *GDP* para todos os quatro regimes de democracia e, tanto para o regime híbrido como para o autoritário, se observam correlações com os indicadores socioeconômicos similares às observadas para o mundo.

Os grafos de correlações da fração de recursos provenientes do sistema econômico (F) são mostrados na figura 38. Percebe-se que, para esta fração de recursos, o grafo de correlação do regime de democracia plena é o que menos se assemelha ao encontrado para os 106 países do mundo.

Os grafos de correlações do índice de rendimento em energia (*EYR*), do índice de carga ambiental (*ELR*) e de índice de sustentabilidade (*ESI*) são mostrados nas figuras 39, 40 e 41.

Observando as figuras 39, 40 e 41, percebe-se que os grafos com os índices em energia *EYR*, *ELR* e *ESI* no centro e separados por tipo de democracia específica, os que menos se assemelham ao desses mesmos indicadores feitos para os 106 países (mundo) são os da democracia plena. O grafo do índice de sustentabilidade (*ESI*) dos 106 países, que faz a razão dos dois índices (*EYR/ELR*), fica muito semelhante ao da democracia imperfeita.

Para os grafos com o índice em energia *EYR* no centro, *SB* e *GDPpc* se mantêm para todos os regimes. O primeiro tem caráter ambiental e o segundo socioeconômico, o que pode reforçar a ideia de que o *EYR* seria suficiente para cobrir todos os aspectos que são avaliados pelos outros indicadores. No caso do *ELR*, somente a correlação com o *SB* se mantêm para todos os regimes, o que reafirma a utilidade deste indicador para avaliar a disponibilidade de recursos ambientais de um país. Exceto no caso dos países com democracia plena, o *ESI* se

correlaciona tanto com os indicadores de caráter puramente ambiental (*EF* e *SB*), quanto com os indicadores socioeconômicos (*GDP*, *GDPpc*, *HDI*, *HLI* e *LY*), o que sugere que este indicador aprimora o *EYR*, incluindo a preocupação com o estresse ambiental e a necessidade de recursos naturais renováveis para a sustentabilidade.

5.3 Estudo comparativo dos países por grupos de desenvolvimento humano

Os 106 países estudados foram separados por grupos de desenvolvimento humano (desenvolvimento humano muito elevado, desenvolvimento humano elevado, desenvolvimento humano intermediário e desenvolvimento humano baixo) e construídos gráficos de correlação para *R*, *N*, *F* e os indicadores em energia (*EYR*, *ELR* e *ESI*) com os 10 indicadores usuais de sustentabilidade.

Os cálculos dos valores dos coeficientes de correlação de Spearman (r_s) são apresentados no memorial de cálculo nos anexos T.1 a T.10 do CD (desenvolvimento humano muito elevado), U.1 a U.10 do CD (desenvolvimento humano elevado), V.1 a V.10 do CD (desenvolvimento humano intermediário), W.1 a W.10 do CD (desenvolvimento humano baixo).

São apresentadas as tabelas que mostram as correlações dos indicadores estudados e separados por grupos de desenvolvimento humano (desenvolvimento humano muito elevado, desenvolvimento humano elevado, desenvolvimento humano intermediário e desenvolvimento humano baixo) nos anexos do CD, X.1, X.2 e X.3. Para facilitar a visualização das correlações dos coeficientes de Spearman foram criados grafos das frações de recursos *R*, *N*, *F* e dos indicadores em energia *EYR*, *ELR* e *ESI* com os 10 indicadores estudados para cada grupo de países, conforme o seu desenvolvimento humano. Os grafos são mostrados nas figuras 42, 43, 44, 45, 46 e 47.

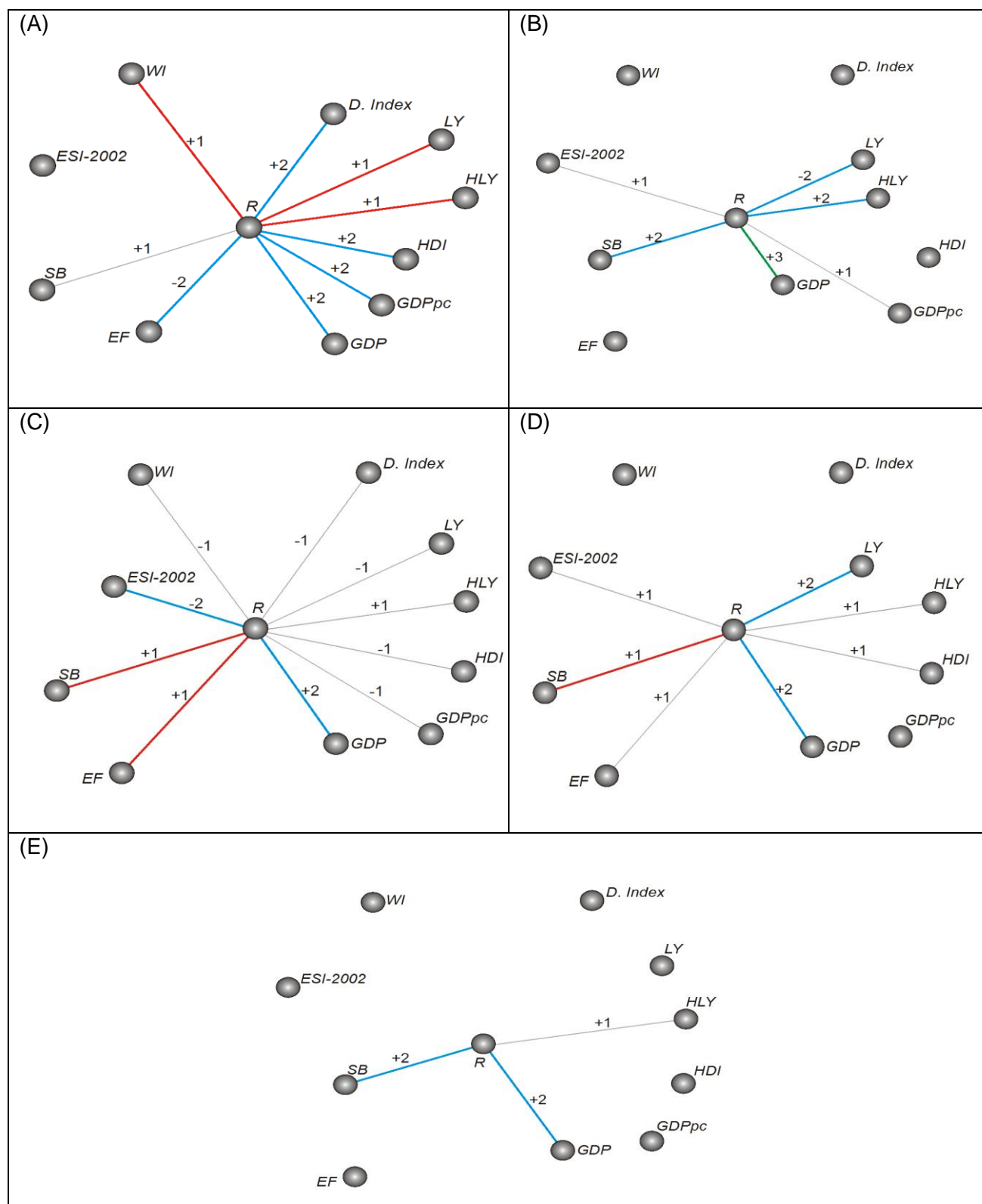


Figura 42 - Grafos que mostram a fração de recursos renováveis (R) com os 10 indicadores estudados para os países com desenvolvimento humano muito elevado (A), com desenvolvimento humano elevado (B), com desenvolvimento humano intermediário (C), com desenvolvimento humano baixo (D) e com os 106 países (E)

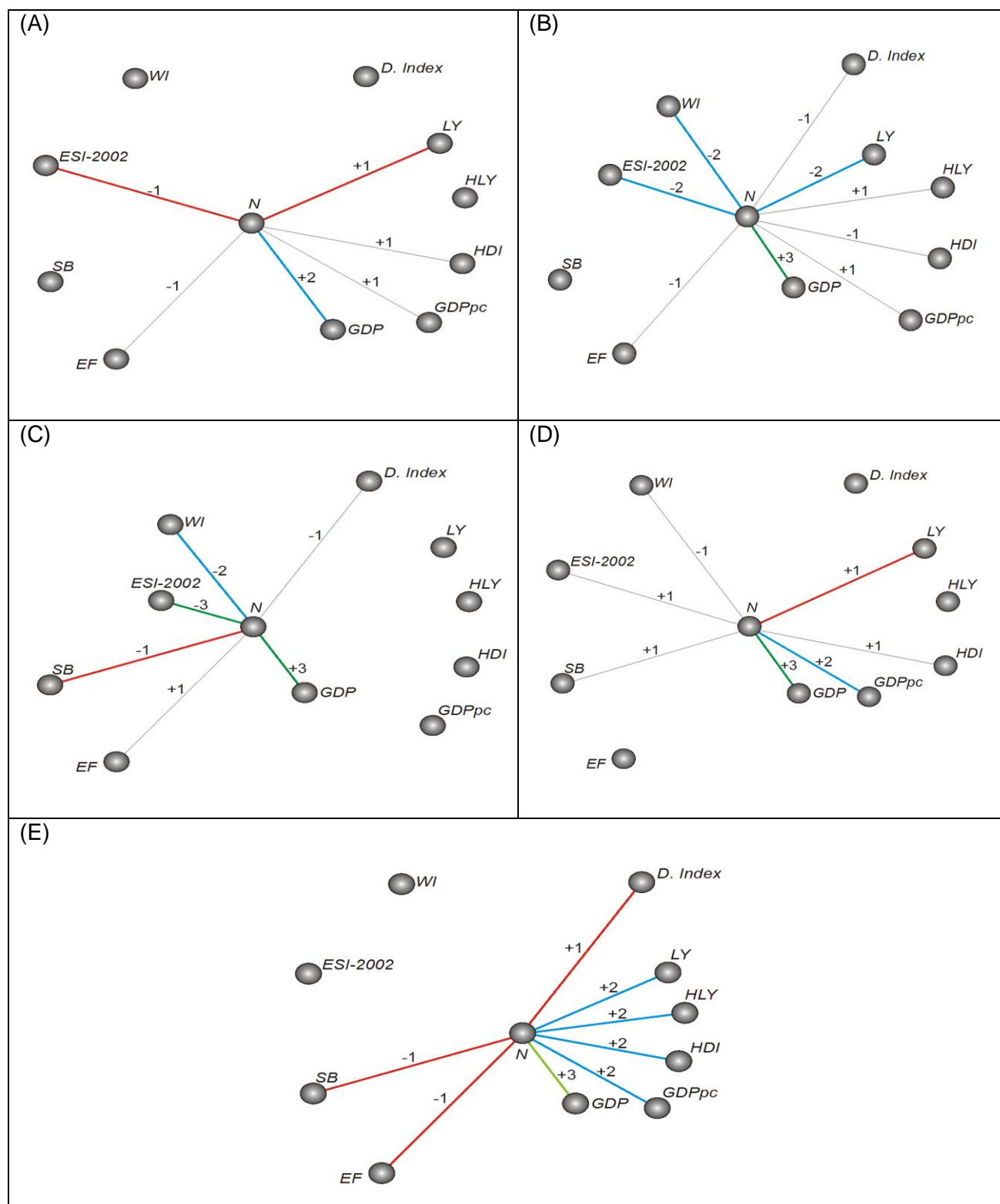


Figura 43 - Grafos que mostram a fração de recursos não renováveis (N) com os 10 indicadores estudados para os países com desenvolvimento humano muito elevado (A), com desenvolvimento humano elevado (B), com desenvolvimento humano intermediário (C), com desenvolvimento humano baixo (D) e com os 106 países (E)

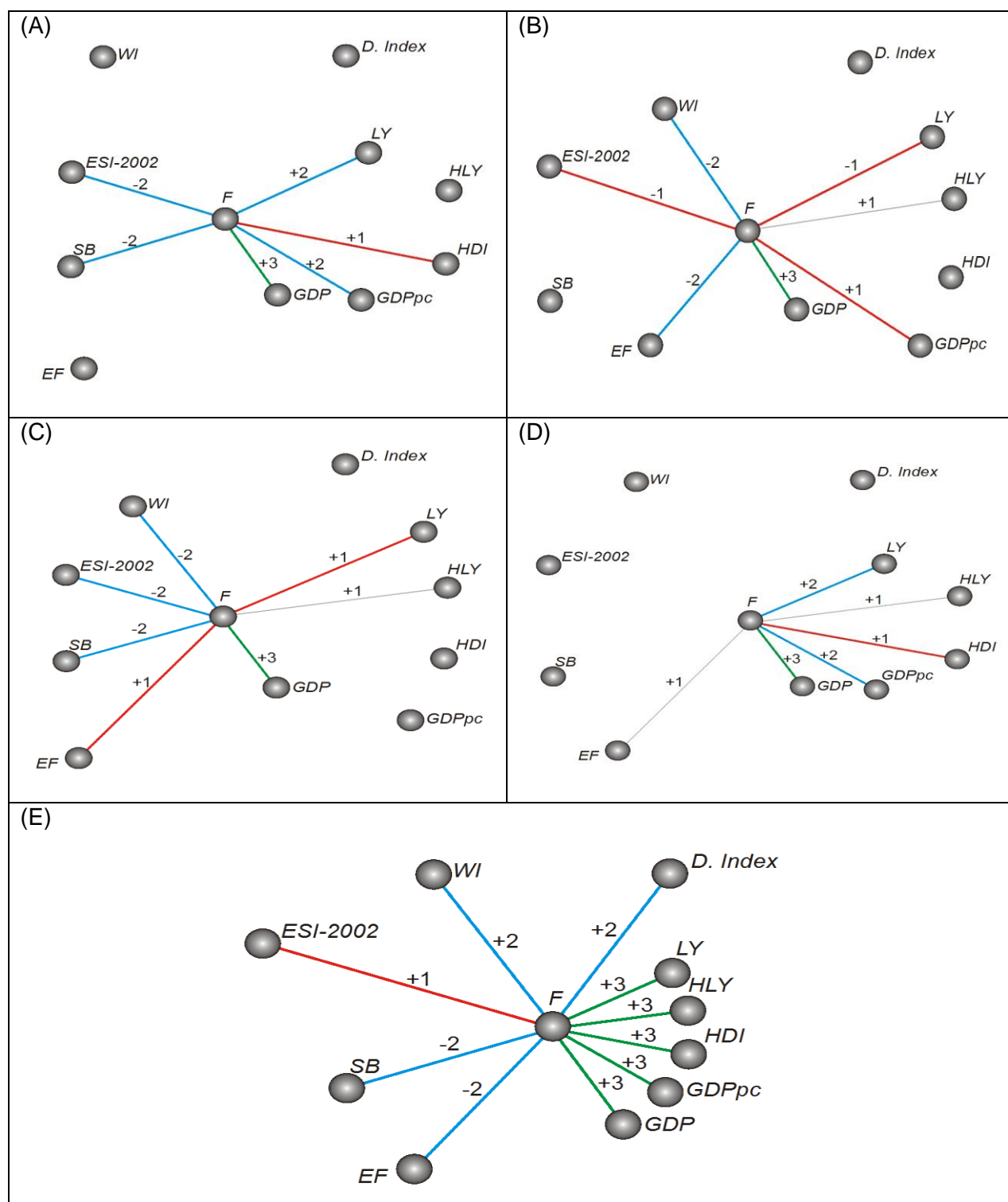


Figura 44 - Grafos que mostram a fração de recursos provenientes da economia (F) com os 10 indicadores estudados para os países com desenvolvimento humano muito elevado (A), com desenvolvimento humano elevado (B), com desenvolvimento humano intermediário (C), com desenvolvimento humano baixo (D) e com os 106 países (E)

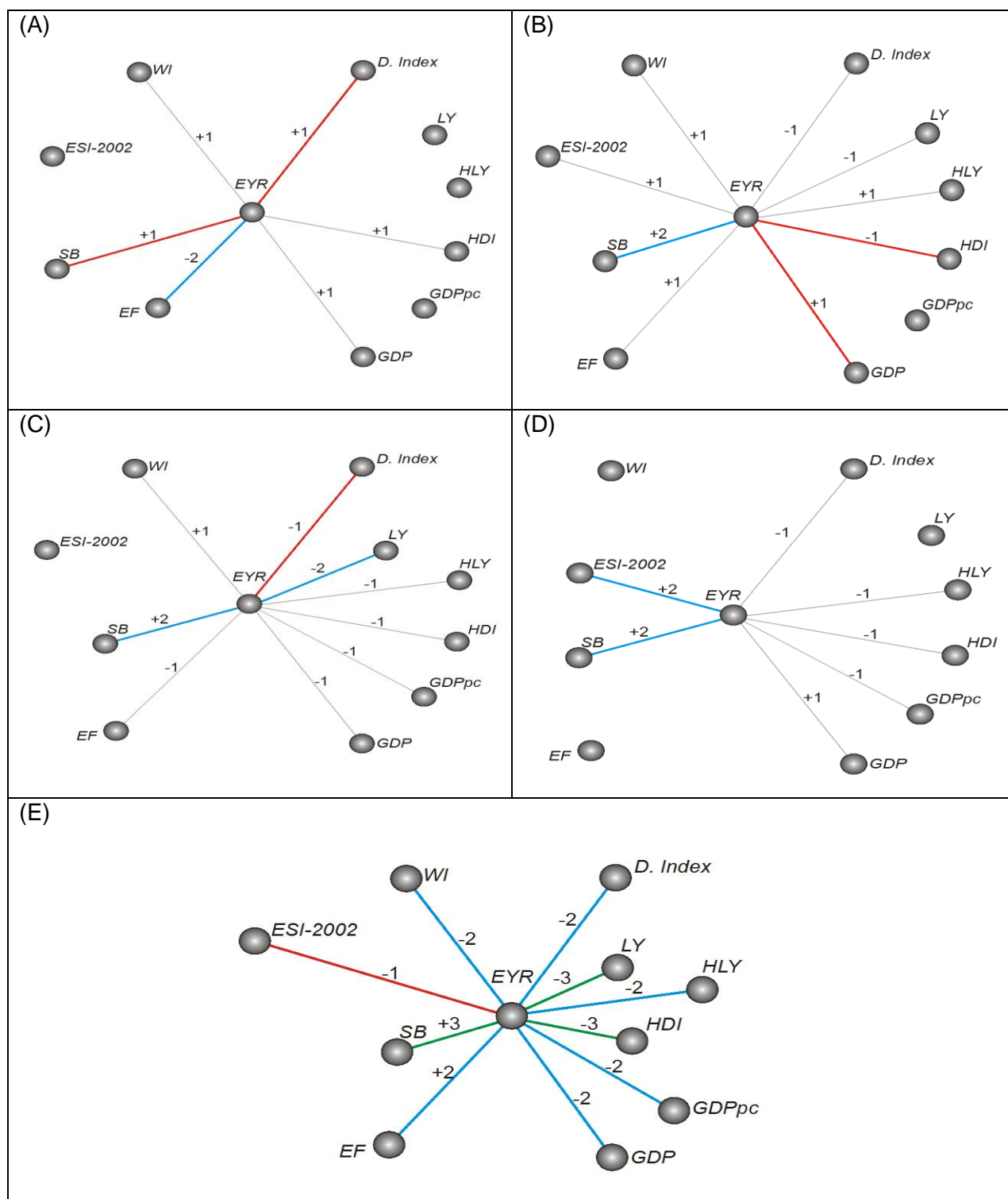


Figura 45 - Grafos que mostram o índice de rendimento em energia (EYR) com os 10 indicadores estudados para os países com desenvolvimento humano muito elevado (A), com desenvolvimento humano elevado (B), com desenvolvimento humano intermediário (C), com desenvolvimento humano baixo (D) e com os 106 países (E)

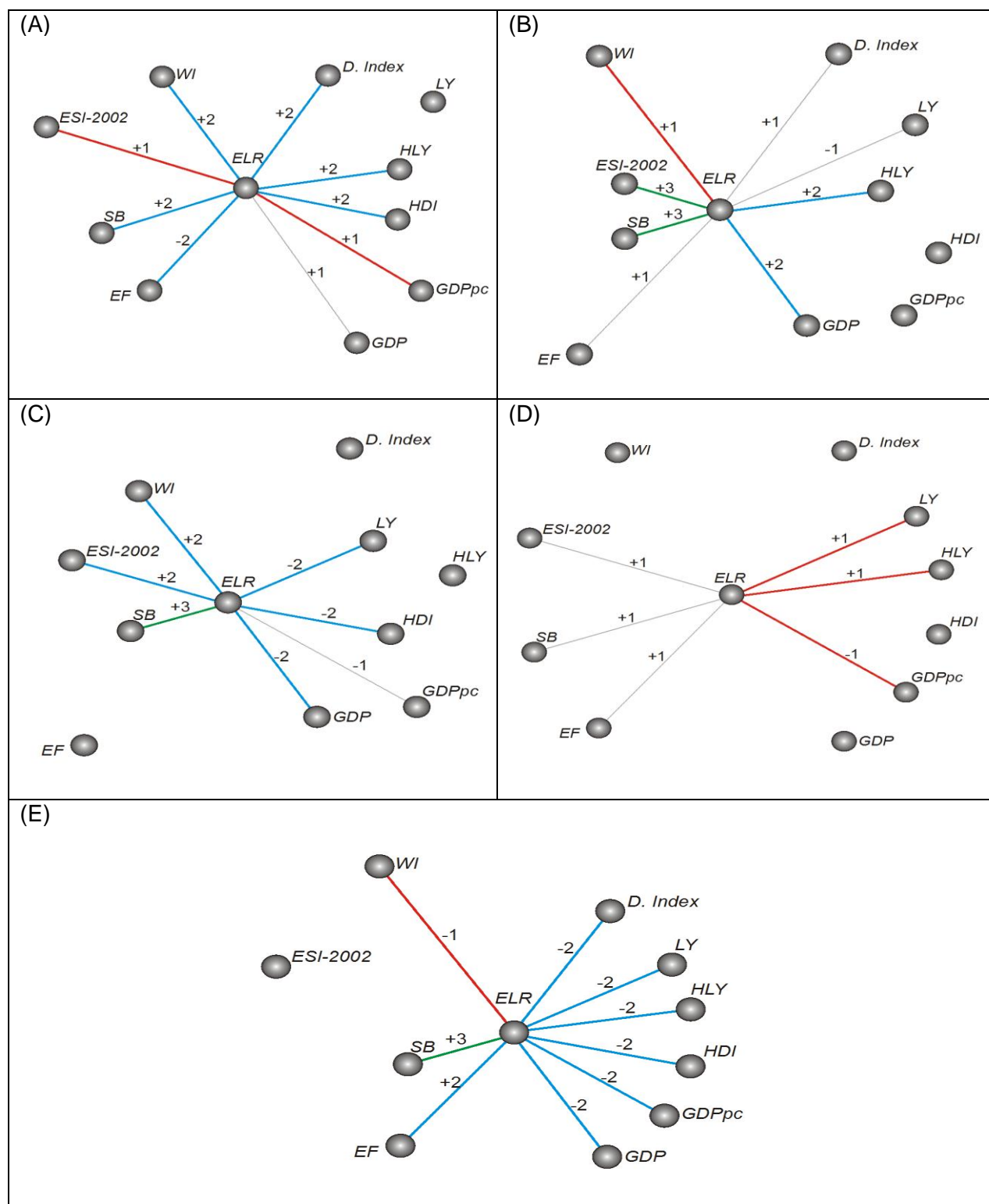


Figura 46 - Grafos que mostram o índice de carga ambiental (ELR) com os 10 indicadores estudados para os países com desenvolvimento humano muito elevado (A), com desenvolvimento humano elevado (B), com desenvolvimento humano intermediário (C), com desenvolvimento humano baixo (D) e com os 106 países (E)

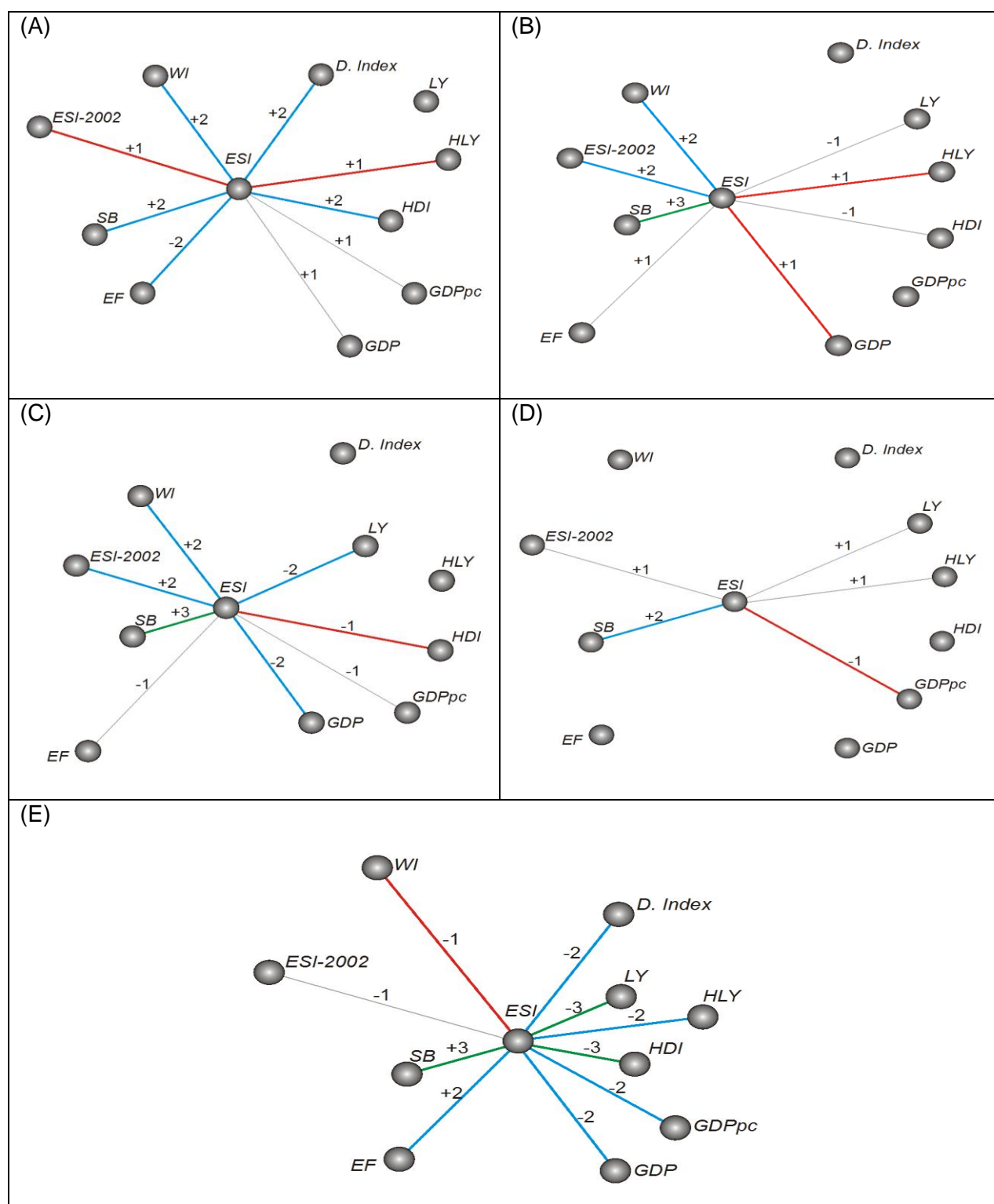


Figura 47 - Grafos que mostram o índice de sustentabilidade (ESI) com os 10 indicadores estudados para os países com desenvolvimento humano muito elevado (A), com desenvolvimento humano elevado (B), com desenvolvimento humano intermediário (C), com desenvolvimento humano baixo (D) e com os 106 países (E)

Observa-se nas tabelas que são apresentadas nos anexos X.2 e X.3 e nos grafos das figuras 42, 43, 44, 45, 46 e 47, que as correlações entre os indicadores para os grupos de países que são separados por grupos de desenvolvimento humano, também foram menores que quando se estudou os 106 países do mundo, exceto para os grafos centrados na fração de recursos renováveis (R) onde surgem correlações.

Os grafos de correlações da fração de recursos naturais renováveis (R), recursos naturais não renováveis (N) e recursos provenientes da economia (F) são mostrados nas figuras 42, 43 e 44. Percebe-se a partir dos mesmos, que para todos os grupos de países separados por faixa de desenvolvimento humano, não existe semelhança entre o grafo dos 106 países e os grafos com as divisões por grupos. Entre todos só a correlação entre R e *GDP* se mantém, o mesmo comportamento ocorre para os grafos centrados nas frações de recursos N e F, onde as correlações entre N e *GDP* e entre F e *GDP* se mantém nos quatro grupos.

Ocorreu correlação alta também dos indicadores em energia (*ELR* e *ESI*) com o índice de Biocapacidade Excedente (*SB*) nos grupos de *HDI* elevado e intermediário. Nos grafos centrados no índice em energia *EYR* não há correlações altas.

6. CONCLUSÕES

Por meio das correlações entre os indicadores foi possível conhecer a abrangência de cada um deles, e estabelecer para um estudo multimétrico sobre o desenvolvimento sustentável de nações quais seriam redundantes (como *GDP* e *GDPpc*) e quais seriam complementares (como *EF* e *GDP*).

Concluiu-se que o conjunto de indicadores em emergia (*EYR*, *ELR* e *ESI*) é mais completo e inclui (mesmo que indiretamente) os aspectos sociais, uma vez que apresentou correlação alta ou média com indicadores que envolvem a área social, tais como, o Índice de Desenvolvimento Humano (*HDI*), o Índice de Felicidade (*HLY*), o Índice de Expectativa de Vida (*LY*) e o Índice de Democracia (*D. Index*).

Variando os critérios para o estudo da amostra, como a separação por continentes, por grupos de regime democrático e por grupos de desenvolvimento humano se pode perceber que as correlações encontradas são, em geral, menores do que aquelas obtidas com os 106 países do mundo. A queda tem duas razões, uma é a diminuição do tamanho das amostras (o que é esperado estatisticamente) e a outra, a característica de cada amostra, que é acentuada. No caso da divisão por continentes, por exemplo, acentuam-se as características geográficas e, portanto, se está avaliando conjuntos de países com meio ambiente parecido (clima, posição no planeta etc.).

A queda de correlações ocorre principalmente no Índice de Bem-Estar (*WI*) e no Índice de Sustentabilidade Ambiental (*ESI-2002*). A construção destes indicadores privilegia a visão de desenvolvimento que é valorizada pelas sociedades desenvolvidas (Europa, EUA e outros), mas que não refletem necessariamente o bem-estar ou a sustentabilidade dos países asiáticos e africanos.

A separação por regime democrático procura evidenciar a influência da organização política na sustentabilidade. Os resultados sugerem que o *EYR* seria suficiente para cobrir todos os aspectos que são avaliados pelos outros indicadores. Com a inclusão do *ELR*, que mantém a correlação com o *SB* para todos os regimes, se pode sugerir que o *ESI*, que se correlaciona tanto com os indicadores de caráter puramente ambiental quanto com os indicadores socioeconômicos, poderia fornecer uma avaliação mais completa (ou justa)

incluindo a preocupação com o estresse ambiental e a necessidade de recursos naturais renováveis para a sustentabilidade.

Na separação por grupos de desenvolvimento humano, evidencia-se a combinação de desenvolvimento econômico tradicional (*GDP* per capita) com o bem-estar social (representado pela saúde e a educação). Os grafos de correlações da fração de recursos naturais renováveis (*R*), para todos os grupos de países separados por faixas de IDH, não mostram semelhança com o grafo dos 106 países. Entre todos os grupos de IDH, somente a correlação entre *R* e *GDP* se mantém. O mesmo comportamento ocorre para os grafos centrados nas frações de recursos *N* e *F*. Para índices em emergência, observou-se que o *ESI* mantém correlação tanto com os indicadores de caráter puramente ambiental, como com os de caráter socioeconômicos.

Os resultados sugerem, portanto, que o indicador em emergência agregado (*ESI*), que considera não só a contribuição dos países para a economia mundial, como o estresse ambiental de cada nação, é o indicador que traz menos diferenças entre os resultados para cada continente e o resultado para os 106 países e pode ser empregado para avaliar tanto a amostra total como seus subconjuntos.

7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Fazer um estudo matricial de correlações envolvendo todos os indicadores estudados (os três índices em energia e os 10 indicadores usuais de sustentabilidade). Neste trabalho, já foi feito um estudo preliminar, tendo sido obtida uma matriz com todas as possíveis correlações (anexos Z.1 e Z.2). Pretende-se continuar este estudo, fazendo-se uma análise profunda a partir desta matriz e de possíveis grafos, buscando uma definição mais detalhada de quais indicadores são mais representativos para o estudo de sustentabilidade.

Ampliar o estudo envolvendo correlações entre todos os indicadores já citados no parágrafo anterior, centrando os grafos nos indicadores ambientais: Pegada Ecológica (*EF*) e Biocapacidade Excedente (*SB*).

Aprofundar o estudo das significâncias das correlações utilizando outros métodos estatísticos e compará-los ao método de Spearman, utilizado neste trabalho.

8. REFERÊNCIAS

- BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. **Estatística para cursos de Engenharia e Informática**. São Paulo: Atlas, 3ª ed. 2010.
- BROWN, M. T.; ULGIATI, S., 2002. Emergy Evaluations and Environmental Loading of Electricity Production Systems, **Journal of Cleaner Production**, 10, 321-334.
- BRUNI, A. L. **Estatística Aplicada à Gestão Empresarial**. São Paulo: Atlas, 2ª edição, 2010..
- BURKHARDT, H. **Sustaining Life on Earth: Environmental and Human Health through Global Governance**. Edited by Colin L. Soskolne – Lexington Books. United Kingdom. 51-61. 2008.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Estatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- CMMAD. **Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Nosso Futuro Comum. Rio de Janeiro. Fundação Getulio Vargas. 1998.
- COHEN, M. J. *et al.* Soil, Water, Fish and Forests: Natural Capital in the Wealth of Nations. **Proceedings of the 4th Biennial Emergy Research Conference**. Center for Environmental Policy, Gainesville, Florida, 2006.
- COMMON M. Measuring national economic performance without using prices. **Ecological Economics** 64, 92-102. 2007.
- DALY, H. Towards some operational principles of sustainable development. **Ecological Economics** 2, 1–6. 1990.
- DEATON, A. Income, Health and Well-Being around the World: Evidence from the Gallup World Poll. **Journal of Economic Perspectives**. V.22, N.2, 53-72. 2008. Disponível em: www.princeton.edu/~deaton/papers.html. Acessado em março de 2012.
- DECLARAÇÃO DE JOANESBURGO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/RelatorioGestao/Rio10/Riomaisdez-/documentos/680-DeclaracaoPoliticaJoanesburgo.doc>.149.wiz. Acessado em fevereiro de 2012.
- DEMOCRACY INDEX 2011: Democracy under stress. **The Economist Intelligence Unit's Index of Democracy 2011**. Disponível em: https://www.eiu.com/public/topical_report.aspx?campaignid=DemocracyIndex2011. Acessado em abril de 2012.
- EHRlich, P. R.; HOLDREN, J. P. Impact of Population Growth. **Science**. 171, 1212-1217. 1971.
- GIANNETTI, B. F. *et al.* The reliability of experts' opinions in constructing a composite environmental index: the case of ESI 2005. **Journal of Environmental Management**. 90, 2448-2459. 2009.
- GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; BONILLA, S. H. Comparing emergy accounting with well-known sustainability metrics: The case of Southern Cone Common Market, Mercosur. **Energy Policy**. 38, 3518-3526. 2010.

HUMAN DEVELOPMENT REPORT 2000. Publicado por **United Nations Development Programme (UNDP)**. New York.

KALOGIROU, S. Testing local versions of correlation coefficients. **Jahrbuch Für Regional Wissenschaft**. 32, 45-61. 2012.

KING, D. V. *et al.* Comparative Analysis of Indicators of Well-being Using Environmental Accounting. **Proceedings of the 4th Biennial Emery Research Conference**. Center for Environmental Policy, Gainesville, Florida. 2007.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2ª ed. 2004. Título original: *Elementary statistics*. Tradução e revisão técnica: Cyro de Carvalho Patarra.

MARTINS, A. R. P.; FERRAZ, F. T.; COSTA, M. M. Sustentabilidade Ambiental como Nova Dimensão do Índice de Desenvolvimento Humano dos Países. **Revista do BNDS**, Rio de Janeiro. V.13, N.26, 139–162. 2006.

MORAN, D. D. *et al.* Measuring sustainable development – Nation by nation. **Ecological Economics**. 64, 470–474. 2008.

MORSE, S. Harnessing the power of the press with three indices of sustainable development. **Ecological Indicators**. 11, 1681–1688. 2011.

NETO, P. L. O. C. **Estatística**. Edgard Blucher. São Paulo, 1977.

NEAD, 2000. **National Environmental Accounting Database**. Disponível em: <http://www.emergysystems.org/Nead.php>. Acessado em abril/2010.

NICCOLUCCI, V. *et al.* Biocapacity vs Ecological Footprint of world regions: A geopolitical interpretation. **Ecological Indicators**. 16, 23–30. 2012.

NIVEN, E. B.; DEUTSCH, C. V. Calculating a robust correlation coefficient and quantifying its uncertainty. **Computers & Geosciences**. 40, 1–9. 2012.

NUNES, M. J. *et al.* Comparação de duas metodologias de amostragem atmosférica com ferramenta estatística não paramétrica. **Química Nova**. 28, 179-182. 2005.

ODUM, H. T. **Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making**. New York: John Wiley & Sons, INC, 1996.

PRESCOTT-ALLEN, R. **The Well-Being of Nations: A Country-by-Country Index of Quality of Life and the Environment**. Island Press, Washington, DC. 2001.

RAINHAM, D.; McDowell, I.; KREWSKI, D. **Sustaining Life on Earth: Environmental and Human Health through Global Governance**. Edited by Colin L. Soskolne – Lexington Books. United Kingdom. 171-193. 2008.

REES, W.; WACKERNAGEL, M. **Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth**. New Society Publishers, Gabriola Island, BC. 1996.

RELATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO HUMANO 2007/2008. Publicado para o Programa das

Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

RELATÓRIO DO DESENVOLVIMENTO HUMANO DE 2010. **A verdadeira riqueza das nações**: vias para o desenvolvimento humano. Edição do 20º aniversário, 2010. Publicado para o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

SICHE, R. *et al.* Sustainability of nations by indices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emergy performance indices. **Ecological Economics**. 66, 628–637. 2008.

SICHE, R. *et al.* Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**. v.X, n. 2, 137–148. 2007.

TIEZZI, E. *et al.* Emergy Evaluation of Welfare: A Case Study in Italy. **Proceedings of the 3rd Biennial Emergy Research Conference**. Center for Environmental Policy, Gainesville, Florida. 2004.

VEENHOVEN, R. **World Database of Happiness**, Erasmos University Rotterdam, The Netherlands. Disponível em: <http://worlddatabaseofhappiness.eur.nl>. Acessado em agosto de 2011.

VIEIRA, S. **Bioestatística**: tópicos avançados. São Paulo: Elsevier, 2ª ed. 2003.

WILSON, J. S. **A comparison of sustainable development indicator metrics and the need for ecological thresholds which way are we going?**. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Arts at Dalhousie University Halifax, Nova Scotia. 2005.

WILSON, J.; TYEDMERS, P.; PELOT, R. Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics. **Ecological Indicators**. 7, 299–314. 2007.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Prentice Hall. Fourth edition. EUA, 1999.