

A EFICIÊNCIA DOS FATORES NATURAIS E NÃO NATURAIS PARA AS MAIORES ECONOMIAS MUNDIAIS

Thiago Costa Soares¹
Elaine Aparecida Fernandes²
Silvia Harumi Toyoshima³

Resumo:

O objetivo do presente artigo foi avaliar o nível de eficiência dos insumos naturais e não naturais para as maiores economias mundiais e agrupá-las a partir de suas características comuns quanto à eficiência desses recursos. O referencial teórico baseou-se na teoria do crescimento econômico, que considera os recursos naturais como um fator de produção. Metodologicamente, utilizou-se a análise fatorial por componentes principais para criar um indicador ambiental; a técnica *Data Envelopment Analysis* (DEA) para estimar os escores de eficiência relativa dos fatores de produção; e a análise de agrupamento para agrupar os países segundo os critérios de eficiência técnica. Os resultados mostraram que a eficiência média no uso dos insumos produtivos foi menor que 50%, o que indica que os fatores de produção não estão sendo corretamente utilizados ou que falta estrutura para utilizá-los no processo de produção. Observa-se que a grande maioria dos países apresentou problemas de ineficiência técnica e de escala.

Palavras-chave: Eficiência. Análise de cluster. Análise fatorial. Capital. Energia.

INTRODUÇÃO

O objetivo do presente artigo foi avaliar o nível de eficiência dos insumos naturais e não naturais para as maiores economias mundiais e agrupá-las a partir de suas características comuns quanto à eficiência desses recursos. Isto se justifica dada a escassez dos insumos produtivos, sobretudo os recursos naturais, e a

¹ Doutorando em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Economia pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. E-mail: thiago_sofia@hotmail.com

² Doutora em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. Professora adjunta III na mesma Universidade. E-mail: eafernandes@ufv.br

³ Doutora em Ciência Econômica pela Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil. Pós doutorado pela University of Illinois at Urbana-Champaign, USA. Professora associada da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, coordenadora do Programa de Mestrado em Economia na mesma universidade. Bolsista do IPEA no Programa Cátedras para o Desenvolvimento. E-mail: htsilvia@ufv.br



ineficiência na forma de geri-los, pois a gestão adequada desses recursos pode garantir crescimento econômico com maior qualidade de vida e ambiental. Apesar da análise do comportamento do capital ainda ser de suma importância para o sistema econômico, cresce a importância relativa dos fatores produtivos ligados ao meio ambiente. Segundo informações contidas no Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC – (2011), o aumento contínuo da produção de bens e serviços pode levar ao esgotamento dos recursos naturais para as futuras gerações.

Diante disso, o presente trabalho procurou colaborar um pouco mais para a literatura atual, estimando e analisando a eficiência dos fatores de produção naturais (energias alternativas e nucleares, energias renováveis, energias de combustíveis fósseis e energia elétrica), conforme Edenhofer, Bauer e Kriegler (2005), e não naturais (capital e trabalho) para as 80 maiores economias mundiais.

De forma geral, procurou-se estimar a eficiência técnica individual da utilização dos fatores de produção capital, trabalho e energia para as 80 maiores economias mundiais no ano de 2008. Especificamente, pretendeu-se: a) construir um indicador para o consumo energético; b) estimar a eficiência dos fatores capital, trabalho e energia; e c) agrupar os países conforme a semelhança de utilização dos recursos naturais e não naturais.

Existe uma discussão muito grande na literatura especializada a respeito da combinação ótima entre os insumos naturais e não naturais e, portanto, sobre a sua eficiência. Para a versão da economia tradicional (Economia Ambiental), capital e trabalho podem substituir recursos naturais, e, portanto, os limites impostos pela indisponibilidade destes podem ser superados pelo progresso técnico (SOLOW, 1986; STIGLITZ, 1974; HARTWICK, 1990; HOTELLING, 1931). Solow (1986) mostrou que, se a taxa de crescimento do progresso tecnológico for superior à taxa de degradação ambiental, as economias convergiriam à trajetória de crescimento econômico equilibrado mesmo em baixos níveis de recursos naturais.

De forma contrária, para os economistas ecológicos as dimensões econômicas dependem dos limites ecossistêmicos. Segundo eles, existe uma relação complementar entre o ecossistema e a economia, revelando a necessidade de se estabelecer uma escala ótima de produção que levaria a uma escala ótima de utilização dos recursos naturais. Portanto, o progresso tecnológico é importante para

umentar a eficiência na utilização dos recursos naturais, tanto os renováveis como os não renováveis, mas não suficiente para a existência de substituição entre capital, trabalho e recursos naturais sempre que necessário. Capital e recursos naturais são, na verdade, considerados como fatores complementares (usados conjuntamente) para essa corrente (DALY; FARLEY, 2004; ANDRADE; ROMEIRO, 2011; SACHS, 2003).

Mas e se os recursos naturais e não naturais não forem substitutos e nem combinados eficientemente? Em resposta positiva, quais os efeitos econômicos, ambientais e sociais? Embora sejam perguntas cruciais para o bem estar social, ainda estão longe de uma resposta definitiva. A partir dessa constatação, procurou-se determinar o nível de eficiência desses recursos produtivos a fim de observar a existência de problemas na sua utilização, e a forma com que os países se agrupam para diferentes níveis de eficiência.

Não foram encontrados na literatura trabalhos que tratem da eficiência de insumos naturais e não-naturais. Portanto, a contribuição deste estudo foi analisar a eficiência dos países quando comparadas as formas de gerir não apenas os recursos não naturais, como o capital e o trabalho, mas também os recursos naturais (energias alternativas e nucleares, energias renováveis, energias de combustíveis fósseis e energia elétrica) para poder, ao final, agrupá-los conforme os diferentes níveis de eficiência do capital, do trabalho e da energia.

Além da introdução, este artigo possui mais quatro seções. A segunda seção aborda o referencial teórico do artigo. A terceira apresenta o referencial analítico utilizado para construir o indicador ambiental, para estimar os escores de eficiência relativa entre os insumos e agrupar os países. A quarta apresenta os principais resultados encontrados. Já na quinta, apresenta-se as principais considerações finais sobre a temática.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Uma discussão importante que surgiu no último século foi aquela relacionada à gestão ideal dos estoques de recursos naturais. O comportamento econômico, até então considerado racional, foi questionado devido a falhas na provisão de bens públicos, principalmente no que diz respeito ao meio ambiente. Segundo Holcombe

(1997), os recursos naturais são considerados bens públicos, pois um indivíduo pode consumi-los sem gerar nenhum custo marginal adicional.⁴

Com o objetivo de incluir o meio ambiente na dinâmica do sistema econômico, Solow (1986) analisou o efeito do insumo natural sobre o crescimento, concluindo que se o efeito do fator tecnológico for maior que a taxa de consumo dos fatores ligados ao meio ambiente, o crescimento econômico pode ser sustentável. Contudo, é importante salientar que mesmo a tecnologia tendo avançado o suficiente para superar a taxa de desgaste dos fatores ambientais, a limitação dos recursos naturais e da terra pode se tornar um importante problema para o processo produtivo. Neste sentido, a gestão eficiente dos insumos produtivos, principalmente aqueles ligados ao meio ambiente, é extremamente importante.

A definição teórica pioneira de alocação eficiente, na presença de bens públicos, foi feita por Samuelson (1954 e 1955). Seu modelo prevê a existência de um planejador central (governo) que conhece todas as preferências da sociedade, seja no consumo ou na utilização dos insumos produtivos. O modelo considera a existência de um bem público (R) e um vetor de bens privados (y). A função de utilidade representativa é ilustrada pela expressão (1).

$$U_i = f_i(y, R) \quad (1)$$

em que $i = 1, 2, 3, \dots, n$ e U_i é a utilidade das famílias.

A função de produção utilizada nos estudos estocásticos baseia-se na forma funcional proposta em Solow (1986), que possui o seguinte formato:

$$y(t) = K(t)^\alpha R(t)^\beta T(t)^\gamma [A(t)L(t)]^{1-\alpha-\beta-\gamma} \quad (2)$$

em que $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $\gamma > 0$, $\alpha + \beta + \gamma \leq 1$, e $K(t)$, $R(t)$, $T(t)$, $A(t)L(t)$ são os estoques de capital, recursos naturais, a quantidade disponível de terra e o trabalho em sua forma eficiente, respectivamente. A variação do capital no tempo pode ser descrita por $\dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t)$, em que $sY(t)$ é a proporção da produção poupada e $\delta K(t)$ a parcela depreciada do capital. As variações do trabalho e do avanço tecnológico são constantes em n e g , respectivamente. Nesse modelo, a quantidade do fator terra é fixa. Já a tendência dos recursos naturais é declinar com o seu uso. Assim,

⁴ Os bens públicos são conceituados de acordo com duas características principais: a não-exclusão e a não-rivalidade no consumo. A primeira característica diz que as pessoas não podem ser impedidas de consumir esse tipo de bem. A segunda característica mostra que o custo marginal de prover um bem público para um indivíduo adicional é zero, ou seja, o consumo por parte de uma pessoa não reduz a disponibilidade do bem para outra. A defesa nacional é um exemplo clássico de bem público puro. Para maiores detalhes ver Varian (1992).

pode-se assumir que $\dot{R}(t) = bR(t)$, em que $\dot{R}(t)$ é a variação dos recursos naturais no tempo; b , o parâmetro que indica a velocidade do desgaste dos recursos naturais; e $R(t)$ representa o estoque de recursos naturais. A presença dos fatores produtivos relacionados ao meio ambiente na função de produção faz com que a convergência do fator estoque de capital por unidade de trabalho efetivo não se realize por diferenciação direta. A estratégia utilizada por Solow (1986) foi logaritmizar a expressão (2) de ambos os lados e diferenciá-la no tempo.

Neste contexto, o conjunto de possibilidade de produção de dada economia pode ser representado pela expressão (3).

$$F(y, K(t), R(t), T(t), L(t)) \leq 0 \quad (3)$$

Para obter a alocação eficiente de insumos e produtos utilizados, o governo escolhe o vetor y que maximiza a utilidade da primeira família dados os níveis de utilidade das demais famílias e a fronteira de possibilidade de produção da economia. Neste ponto, a taxa marginal de substituição deve ser igual à taxa marginal de transformação entre os bens para todas as famílias.

2 REFERENCIAL ANALÍTICO

2.1 CONSTRUÇÃO DO INDICADOR “RECURSOS NATURAIS”

O procedimento metodológico utilizado neste estudo consistiu primeiramente em criar um indicador para o fator energético. A técnica utilizada foi a análise fatorial por componentes principais, que tem o objetivo de descrever o comportamento de um conjunto de dados através de um número reduzido de variáveis (fatores).⁵

O método de escolha da quantidade de fatores é baseado no valor das raízes características e na variação explicada por elas. Entende-se por raiz característica os autovalores calculados a partir da matriz de correlação das variáveis para se obter os parâmetros das combinações lineares entre o indicador ambiental e as variáveis energéticas originais. Se a raiz característica for maior que a unidade e/ou explicar mais de 70% da variação dos dados, escolhe-se esse fator na formação do

⁵ Para maiores detalhes ver Mingoti (2007) e Soares, Zobot e Ribeiro (2011).

indicador. Os escores fatoriais, ou seja, as variáveis latentes criadas a partir das variáveis energéticas podem ser visualizadas por meio da expressão (4).

$$\text{IND}_n = \left(\sum_{i=1}^j F_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

em que IND_n é o indicador ambiental para a n-ésima nação. F_i são os escores fatoriais estimados pelo método de componentes principais. Os pesos das variáveis incluídas no Índice do Fator Ambiental (expressão 5) são dados pela importância relativa de cada variável no indicador ambiental (expressão 4) (regressão por Mínimos Quadrados Ordinários – MQO – do indicador ambiental contra as variáveis padronizadas pela distribuição normal). Para adequar os resultados em um intervalo entre (0,1), aplicou-se o procedimento descrito em (5).

$$\text{IFA}_n = \frac{(X_i - M_{\min})}{(M_{\max} - M_{\min})} \quad (5)$$

em que IFA_n é o Índice do Fator Ambiental (ou fator de produção ambiental) para a n-ésima nação estimado a partir da combinação linear das variáveis referentes às energias alternativas e nucleares (EAN), energias renováveis (ERN), energias de combustíveis fósseis (ECF) e energia elétrica (EEL); X_i , o valor observado do escore fatorial; M_{\min} , o valor mínimo; M_{\max} , o valor máximo.

Após a construção do fator de produção ambiental, foi possível estimar a eficiência técnica das nações selecionadas nesse estudo, e agrupá-las conforme a semelhança na utilização e na eficiência dos fatores produtivos, por meio da análise de agrupamento.

2.2 EFICIÊNCIA TÉCNICA DOS FATORES DE PRODUÇÃO

O procedimento metodológico relacionado à eficiência técnica dos fatores produtivos consistiu na criação de um escore de eficiência relativo entre os países, aqui denominados *Decision Making Units* (DMU), que mensurou a eficiência técnica do capital, trabalho e dos recursos naturais considerando retornos variáveis (BCC) (GOMES; BAPTISTA, 2004). O modelo BCC é uma flexibilização do modelo de retornos constantes (CCR), que possibilitou dividir a eficiência em duas partes: a eficiência técnica e a eficiência de escala. No modelo CCR, apresentado

pioneiramente por Charnes *et al.* (1978), variações no produto são consideradas linearmente proporcionais a variações nos insumos. Já no modelo BCC, proposto por Banker *et al.* (1984), acrescenta-se uma restrição de convexidade à fronteira de produção que permite diferenciar os países que apresentam retornos crescentes, constantes e decrescentes. Por esse motivo, o BCC é mais adequado que o CCR para distinguir ineficiência técnica de problemas relacionados à escala produtiva.

Para calcular a eficiência dos fatores produtivos, utilizou-se a técnica *Data Envelopment Analysis* (DEA) que permite construir fronteiras de produção não estocásticas a partir de combinações lineares por determinadas funções matemáticas. Intuitivamente, o método baseia-se na noção de produtividade, em que é considerado eficiente o país que maximiza a sua produção, dada uma quantidade limitada de insumos, ou minimiza seus custos, considerando um valor constante de produção. Os escores de eficiência estimados pelo DEA se encontram em um intervalo entre (0,1). Quanto mais próximo de um, maior a eficiência do país no uso de um determinado fator de produção, e quanto mais próximo de zero, menor a eficiência (VAZ; CAMANHO, 2011).

As análises de eficiência podem ser feitas a partir de duas orientações principais: *input*, cujo objetivo é minimizar os insumos e manter o produto constante; ou *output*, em que o objetivo é maximizar o produto mantendo os insumos constantes. Neste estudo, utilizou-se a orientação *input* para o fator ambiental⁶ e para o capital,⁷ e a orientação *output* para o fator trabalho.⁸

A principal vantagem dessa metodologia reside no fato de não ser estritamente necessário supor uma forma funcional à função de produção. Portanto, a partir da expressão (3), buscou-se mensurar a eficiência técnica dos países por meio de uma maximização matemática da fronteira de produção. Os recursos naturais e o uso da terra foram considerados conjuntamente através do fator de produção ambiental, descrito na Seção 2.1.

2.3 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

⁶ Opta-se pela orientação *input* ao fator ambiental, pois o objetivo primordial nessa análise é minimizar o uso dos recursos ambientais, mantendo o produto econômico das nações constante.

⁷ Opta-se pela orientação *input* ao fator capital, pois o objetivo central dessa análise é o gerenciamento eficiente dos recursos disponíveis.

⁸ Opta-se pela orientação *output* para o fator trabalho, pois a mão de obra disponível das nações é relativamente mais rígida que o produto gerado.

Para agrupar os países em critérios de semelhança quanto à eficiência técnica dos fatores produtivos utilizou-se a análise de agrupamento. Segundo Hair, Anderson e Tathan (2005), a análise de agrupamento tem como finalidade agregar os países a partir das características comuns encontradas, sendo que, dentro do grupo, os objetos devem exibir uma maior homogeneidade interna e, fora do grupo, uma elevada heterogeneidade externa. Por homogeneidade interna, entende-se as características semelhantes de produção observadas na amostra de países, representadas neste estudo pelos indicadores de eficiência. Já a heterogeneidade externa trata-se de uma forma de separar os países através de uma medida de dessemelhança como critério para a formação de grupos.

A análise de agrupamento utiliza a distância entre os países para poder agrupá-los a partir do conceito de homogeneidade interna ou heterogeneidade externa, e a técnica mais comum é a matriz de distância euclidiana, que pode ser padronizada (utiliza variáveis padronizadas) ou comum (utiliza variáveis em sua escala original). As variáveis utilizadas na análise de agrupamento neste estudo consistiram nos escores de eficiência dos fatores produtivos estimados pelo DEA com retornos variáveis, que estão em um intervalo entre (0,1). Portanto, não se fez necessário padronizar as variáveis do agrupamento realizado.

Optou-se pelo método das k-médias como forma de agrupamento, pois segundo Mingoti (2007), os algoritmos computacionais utilizados nos métodos não hierárquicos geralmente são iterativos e, comparando com os métodos hierárquicos, são mais adequados para grandes amostras. Em resumo, predeterminou-se o número de centroides, ou grupos, e o método, a cada realocação, verificou-se se os países estão alocados de maneira a garantir a menor variância dentro do grupo e maior variância entre os grupos.

Para definir o número de centroides, utilizou-se primeiramente o método de agrupamento hierárquico de Ward, que permitiu realizar uma análise do comportamento do nível de similaridade através do cálculo do pseudo-F de Calinski-Harabasz, do índice de Duda-Hart e do pseudo-T². No processo de agrupamento, esse procedimento permitiu diminuir a variabilidade entre os grupos, baseando-se na mudança de variação que ocorreu de um agrupamento para outro. Os testes

supracitados têm sido indicados para a escolha do número ideal de grupos (MINGOTI, 2007).

2.4 VARIÁVEIS E FONTE DE DADOS

Os dados foram extraídos do acervo digital do *World Bank* para o ano de 2008. A escolha desse ano limitou-se à série de dados completos e disponíveis no sítio do *World Bank*. No total, foram analisadas as 80 maiores economias do mundo.⁹ Essa amostra representa 98% do produto mundial para o respectivo ano.¹⁰

As variáveis utilizadas para formar o fator ambiental foram baseadas em Edenhofer, Bauer e Kriegler (2005) e são compostas por energias alternativas e nucleares (EAN), energias renováveis (ERN), energias de combustíveis fósseis (ECF) e energia elétrica (EEL).

O fator trabalho corresponde à população economicamente ativa (PEA), que é composta pelos indivíduos acima de 15 anos de idade que ofertam sua força de trabalho para a produção de bens e serviços. Inclui tanto os empregados quanto os desempregados (KOESLER; SCHYMURA, 2012). Essa é uma variável pertinente, pois além de considerar os trabalhadores ocupados, preocupa-se com os desocupados que estão fora do mercado de trabalho à procura de emprego. Intuitivamente, se todos os trabalhadores estão ocupados em uma economia, espera-se maior produto e, conseqüentemente, maior eficiência do fator para o país, ao passo que, se a parcela de desocupados for grande, o país tende a ser menos eficiente em relação a este fator.

O fator capital incorpora a Formação Bruta de Capital Fixo (FBC) que inclui o investimento realizado anteriormente e os gastos para a adição dos ativos fixos, como o melhoramento da infraestrutura. A riqueza das nações é baseada no Produto Interno Bruto em dólares correntes dos Estados Unidos, a partir das taxas de câmbio oficiais.

⁹ À exceção daquelas nações que possuem informações incompletas acerca das variáveis utilizadas neste estudo (Iran, Emirados Árabes, Nigéria, Iraque, Sérvia, Arábia Saudita, Hong Kong, Singapura, Israel, Kuwait, Catar, Líbia, Oman, Uzbequistão, Trinidad e Tobago, República do Yemen e Camarões).

¹⁰ Essa proporção baseia-se nos dados disponíveis acerca do Produto Interno Bruto das nações no ano de 2008.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ENERGIA, TRABALHO E CAPITAL: MAIORES CONSUMIDORES

Primeiramente, aplicou-se o método de componente principal com base nas variáveis padronizadas (energias alternativas e nucleares, energias renováveis, combustíveis fósseis e energia elétrica) referentes ao fator ambiental. Pela análise da raiz característica, apenas um fator obteve valor maior que a unidade. Esse mesmo fator explicou cerca de 82,03% da variação total dos dados. Conforme Mingoti (2007), essa evidência corrobora a utilização de apenas um fator na formação do indicador ambiental. Pelo teste de Bartlett (0,000), rejeitou-se a hipótese de que a matriz de correlação entre as variáveis seja uma matriz identidade. Logo, as variáveis foram conjuntamente significativas na formação do fator ambiental. A Tabela 1 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 1. Ajustamento do modelo para a construção do fator de produção ambiental

Fator	Raiz Característica	Variância Explicada pelo Fator (%)	Variância Acumulada (%)
1	3,28139	82,03	82,03

Fonte: Resultados da Pesquisa.

As correlações entre as variáveis utilizadas na formação do indicador e o fator ambiental foram todas positivas e maiores que 77,30%. As variáveis que apresentaram maior grau de correlação foram o uso de energia elétrica (98,66%) e de combustíveis fósseis (98,10%), respectivamente. Com relação à comunalidade, que é a parcela da variância explicada pelos fatores comuns, o maior coeficiente observado foi no uso de energia elétrica (0,9733), seguido do uso de combustíveis fósseis (0,9624), energia alternativa e nuclear (0,7482) e energias renováveis (0,5975), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Cargas fatoriais e o grau de ajustamento do fator ambiental

Variável	Fator	MSA	Comunalidade
EAN	0,8650	0,6022	0,7482
ERN	0,7730	0,9103	0,5975
ECF	0,9810	0,6022	0,9624
EEL	0,9866	0,5842	0,9733

Fonte: Resultados da Pesquisa.

O índice KMO geral, que é um indicador que varia de zero a um, foi de 0,6313, o que indica que os dados se adequam à análise fatorial. Individualmente, pelo indicador MSA, todas as variáveis foram maiores que 0,5842. O uso de energias renováveis, ERN, mostrou ser a variável que mais se ajusta ao modelo, segundo esse critério de análise, seguida do uso de combustíveis fósseis, ECF, do uso de energias alternativas e nucleares, EAN, e, por fim, do uso de energia elétrica, EEL. É fundamental também destacar quais as variáveis que mais contribuíram para a formação do fator ambiental. Neste contexto, a Tabela 3 mostra os valores das elasticidades calculadas a partir da regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) entre o escore da análise fatorial e as variáveis padronizadas utilizadas na construção do fator ambiental.

Tabela 3. Elasticidades e pesos relativos do fator ambiental

Sigla	Variáveis	Elasticidades
EAN	Energias alternativas e nucleares	0,2399
ERN	Energias renováveis	0,2144
ECF	Energia de combustíveis fósseis	0,2721
EEL	Energia Elétrica	0,2736

Fonte: Resultados da Pesquisa.

A soma de todas as elasticidades resulta na unidade.¹¹ Pode-se, então, atribuir esses valores como pesos na formação do indicador ambiental, que é mais influenciado pelo uso de energia elétrica (0,2736) e pelo uso de combustíveis fósseis

¹¹ Após a regressão entre o escore fatorial e as variáveis padronizadas, somou-se os coeficientes estimados e tomou-se a proporção dada entre a razão dos parâmetros pelo somatório final. Esse procedimento permitiu que a soma das elasticidades fechasse em um.

(0,2721), conforme os valores ilustrados na Tabela 3. Na prática, pode-se dizer que uma variação de 1% no uso de energia elétrica aumenta o fator ambiental, em média, em 0,2736%. As demais interpretações se dão de maneira análoga. Portanto, o fator ambiental se dá pela multiplicação das variáveis ambientais e seus respectivos pesos na formação do escore fatorial (Tabela 3).

Conforme os valores observados na Tabela 4, os Estados Unidos (EUA) lideram o *ranking* dos maiores usuários de energias do mundo, seguidos pela China (0,782), Japão (0,247), Federação Russa (0,219) e Índia (0,155).

Tabela 4. *Ranking* dos vinte primeiros maiores usuários de energia do mundo, 2008

País	Fator Ambiental	País	Fator Ambiental
Estados Unidos	1,000	Reino Unido	0,089
China	0,782	Itália	0,081
Japão	0,247	Espanha	0,068
Federação Russa	0,219	Austrália	0,057
Índia	0,155	África do Sul	0,055
Alemanha	0,141	México	0,051
Canadá	0,136	Turquia	0,040
França	0,118	Ucrânia	0,039
Coréia	0,103	Polônia	0,033
Brasil	0,102	Tailândia	0,033

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Os primeiros países da Europa ocidental a aparecerem no *ranking* são Alemanha (6ª colocada), França (8ª colocada) e Reino Unido (11º colocado), com indicadores de 0,141, 0,118 e 0,089, respectivamente. O Brasil foi o primeiro país latino-americano a aparecer na classificação (10º colocado). Já a África do Sul (15ª colocada) foi a nação africana de posicionamento mais alto no indicador energético.

O fator ambiental médio foi de 0,051. Com relação ao uso de energia global pelo indicador ambiental, os cinco primeiros colocados no *ranking* representam cerca 57,89% do total da energia utilizada no mundo. Nesse montante, apenas os Estados Unidos e a China correspondem a 42,89% do total mundial. Por isso, 97,5% dos países obtiveram valores menores que 0,250 no fator ambiental – um quarto da

energia utilizada pelos Estados Unidos. Isso indica que o uso de energia está concentrado em poucos países, dentre eles EUA, China, Japão, Federação Russa e Índia.

Após a análise do fator ambiental, apreciou-se o fator trabalho. A *proxy* utilizada para representar esse fator foi a População Economicamente Ativa, conforme Simon e Michael (2012). O *ranking* em relação a essa variável pode ser visualizado pela Tabela 5.¹²

Tabela 5. *Ranking* dos vinte países primeiros colocados para a variável População Economicamente Ativa (PEA), 2008

País	Insumo Trabalho	País	Insumo Trabalho
China	1,000	Vietnã	0,059
Índia	0,580	Alemanha	0,054
Estados Unidos	0,204	Tailândia	0,050
Indonésia	0,149	Etiópia	0,049
Brasil	0,128	Filipinas	0,047
Federação Russa	0,097	Reino Unido	0,040
Bangladesh	0,089	França	0,038
Japão	0,085	Egito	0,032
Paquistão	0,073	Itália	0,032
México	0,061	Turquia	0,031

Fonte: Resultados da Pesquisa.

A maior força de trabalho observada foi da China, seguida da Índia (0,580), Estados Unidos (0,204), Indonésia (0,149) e Brasil (0,128). Nenhum país da Europa ocidental está no *ranking* dos cinco primeiros. Apenas na 12^a colocação aparece a Alemanha (0,054). O Reino Unido (0,040) aparece na 16^a posição e a França (0,038), na 17^a. A Etiópia (0,049), que é a segunda nação mais populosa da África (atrás apenas da Nigéria), é o país africano de maior colocação no *ranking* do fator selecionado (14^a colocação).

¹² Conforme descrito na seção metodológica, não se aplicou a análise fatorial ao fator trabalho. Para o *rankeamento* ilustrado na Tabela 5 normalizou-se a variável PEA a partir da relação entre os valores observados, mínimos e máximos.

Os cinco primeiros países classificados detêm cerca de 60% da mão de obra mundial. Apenas a China e a Índia, os dois primeiros colocados, representam aproximadamente 45,3% do total, quase a metade do total da mão de obra disponível no mundo (WORLD BANK, 2011).

Por fim, avaliou-se o fator capital. Para representar esse fator, utilizou-se a Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) dos países selecionados. Com base nos resultados obtidos, os Estados Unidos alcançaram a colocação mais alta no *ranking* do fator capital, seguidos da China (0,796), Japão (0,461), Alemanha (0,269) e França (0,0,251). O Brasil foi o primeiro país da América do Sul a fazer parte desse *ranking* (12^a colocação). Já entre os países africanos, a África do Sul obteve a colocação mais alta nesse fator (31^a colocação). A Tabela 6 apresenta o *ranking* do fator capital para os países selecionados.

Tabela 6. *Ranking* dos vinte primeiros colocados, em termos de utilização de capital, no ano de 2008

País	Fator Capital	País	Fator Capital
Estados Unidos	1,000	Canadá	0,139
China	0,796	Brasil	0,137
Japão	0,461	México	0,118
Alemanha	0,269	Coréia	0,116
França	0,251	Austrália	0,114
Itália	0,193	Holanda	0,073
Espanha	0,185	Turquia	0,064
Reino Unido	0,177	Indonésia	0,057
Federação Russa	0,169	Polônia	0,050
Índia	0,167	Bélgica	0,049

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Os cinco primeiros colocados no *ranking* representaram aproximadamente 49,62% dos investimentos mundiais. Se levados em consideração apenas os dois primeiros, Estados Unidos e China, o montante é de mais de 30% (WORLD BANK, 2011).

3.2 EFICIÊNCIA DOS FATORES DE PRODUÇÃO AMBIENTAL, TRABALHO E CAPITAL

Para calcular o parâmetro de eficiência energética, segundo o modelo DEA, o fator ambiental e o PIB foram considerados, respectivamente, o insumo e o produto no processo produtivo. A orientação aplicada foi a *input*, conforme descrição na seção metodológica. Essa orientação visa minimizar a utilização dos recursos naturais, mantendo o produto das nações constantes. É importante ressaltar que a abordagem acerca dos retornos à escala, sendo constantes ou variáveis, refere-se à relação de um fator e um produto, individualmente.

Primeiramente, a análise foi feita utilizando retornos constantes à escala. A média de eficiência do fator ambiental foi de aproximadamente 17,87%, valor muito aquém das expectativas quanto à utilização eficiente dos recursos ambientais. Apenas Angola (100%) foi puramente eficiente.¹³ O Sudão (59%), a Dinamarca (39%), a Irlanda (38,3%) e a Suíça (32,1%) finalizam a lista dos cinco primeiros países mais eficientes na utilização do fator energético (Tabela 7).

Sobre Angola, cabe ressaltar que a eficiência energética mostrada pelo DEA provavelmente não pode ser atribuída à capacidade de gestão do setor privado, tampouco à do governo angolano. Na realidade, com as sucessivas guerras civis que o país conviveu recentemente, o consumo de energia elétrica estagnou, sobretudo na indústria. E esse fato contribuiu para que Angola obtivesse o menor consumo registrado de energia elétrica entre os países do estudo (variável de maior peso no fator ambiental – 27,36%). Como a maior parte do PIB nacional é mantida por atividades menos intensivas em energia elétrica, como as atividades agrícolas e a indústria de extração, o fato do consumo de energia ter sido relativamente pequeno em Angola pouco se refletiu sobre os níveis gerais de renda (GONZÁLES, 2006).

Os piores países no *ranking* foram a Ucrânia (4,5%), África do Sul (4,8%), Vietnã (5,3%), China (5,6%) e Egito (5,7%). Os Estados Unidos (13,9%), maior potência econômica do mundo, obtiveram um coeficiente abaixo da média observada.

¹³ A pura eficiência é uma situação teórica em que a DMU apresenta-se eficiente tanto no modelo de retornos constantes quanto no modelo de retornos variáveis (FERREIRA; GOMES 2009).

Em relação à eficiência com retornos variáveis dos países selecionados, cinco nações foram consideradas eficientes: Alemanha, Angola, Dinamarca, Estados Unidos e Reino Unido. Esses países foram eficientes tecnicamente, mas, apresentaram retornos decrescentes de escala, com exceção de Angola (Tabela 7). Assim, observa-se que, na prática, a ineficiência desses países não é técnica, mas sim de escala de produção. Este tipo de ineficiência diz que se esses países aumentarem o insumo energético em uma proporção qualquer, o produto tende a aumentar menos que proporcionalmente. Nesse caso, o problema de ineficiência de escala seria resolvido se esses países diminuíssem, ao longo do tempo, o uso dos recursos naturais.

A Tabela 7 apresenta o *ranking* de eficiência técnica com retornos variáveis (ERV), a eficiência de escala (EES) e o tipo de retorno de produção (R). Para os países que operam na escala de retornos decrescentes, a coluna (R) foi preenchida com a letra (D). Para aqueles que operam com retornos crescentes, letra (C). Já para aqueles que produzem com retornos constantes, como Angola, o campo foi ocupado por um traço.

Tabela 7. *Ranking* dos países segundo a eficiência do insumo ambiental

País	ERV	EES	R	País	ERV	EES	R
Alemanha	1,00	0,251	D	Irlanda	0,93	0,414	C
Angola	1,00	1,000	-	C. Marfim	0,88	0,278	D
Dinamarca	1,00	0,390	D	Sudão	0,85	0,689	C
Estados Unidos	1,00	0,139	D	França	0,83	0,280	D
Reino Unido	1,00	0,289	D	Espanha	0,75	0,297	D
Etiópia	0,99	0,316	C	Chipre	0,69	0,301	D
Japão	0,97	0,197	D	México	0,67	0,306	D
Holanda	0,94	0,314	D	Áustria	0,67	0,364	D
Itália	0,94	0,291	D	Bélgica	0,65	0,345	D
Suíça	0,92	0,346	D	Panamá	0,61	0,273	D

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Observa-se a partir do exposto que a ineficiência das nações quanto à utilização do insumo energético pode ser dividida em: (i) ineficiência de escala e (ii) ineficiência técnica. A primeira pressupõe teoricamente que os países possam ser

R. Inter. Interdisc. INTERthesis, Florianópolis, v.10, n.2, p. 282-309, Jul./Dez. 2013

eficientes se alterarem a escala de produção, ou seja, apenas escolhendo a quantidade ótima de insumos que maximize o produto. A segunda, por sua vez, pode ser influenciada por fatores intrínsecos, como os investimentos em infraestrutura, logística, etc., e até extrínsecos, como a estabilidade política, a variabilidade do clima, etc.

Entretanto, é importante mencionar que a maioria dos países analisados (cerca de 94%) possui os dois tipos de ineficiência. Além de Angola (com eficiência técnica e de escala), apenas mais quatro países não foram ineficientes tecnicamente (Alemanha, Dinamarca, Estados Unidos e Reino Unido). Esse resultado é preocupante do ponto de vista da gestão adequada dos insumos produtivos pelos países.

Para o fator trabalho, utilizou-se como *proxy* a força de trabalho disponível. Novamente, o PIB foi considerado o produto, não obstante, a orientação utilizada foi a *output*. Devido à rigidez da força de trabalho, a maximização do produto se torna uma ação mais coerente do que a minimização do número de trabalhadores disponíveis.

No modelo de retornos constantes, apenas Luxemburgo foi eficiente na utilização da força de trabalho. Segundo os dados do *World Bank* (2011), o país também obteve o maior PIB por trabalhador do mundo em 2008. Lawson (2010) atribui esses fatos ao crescimento observado do setor financeiro nacional nas últimas décadas, que foi responsável pelo aumento da demanda por trabalhadores, sobretudo os mais qualificados e que provavelmente recebem salários relativamente maiores. Por esse motivo, Luxemburgo foi considerado *benchmark* desse fator. Logo em seguida, vêm Noruega (64,1%), Irlanda (45,2%), Dinamarca (43,7%) e Suíça (43,5%) complementando a lista dos cinco primeiros países mais eficientes no *ranking*.

Segundo os resultados encontrados, a média de eficiência do fator trabalho foi de 14,9%. Os piores países em termos de eficiência posicionados no *ranking* foram Etiópia (0,264%), Bangladesh (0,435%), Quênia (0,629%), Vietnã (0,744%) e Índia (1,01%). Por sua vez, os Estados Unidos (34,1%) obtiveram eficiência acima da média, que foi de 14,9%.

Ao se utilizar retornos variáveis, além de Luxemburgo, mais três países podem ser considerados eficientes, a saber: Estados Unidos, França e Noruega.

Portanto, esses países podem ser eficientes através do uso correto da escala de produção, pois a ineficiência enfrentada por eles não é técnica (Tabela 8). Mas, na prática, não há como reduzir a quantidade do fator trabalho no curto/médio prazo, pois esse fator é menos flexível que o insumo natural. Dessa forma, deve-se procurar aumentar o PIB a partir da mão de obra preexistente, o que não é tarefa fácil. Cabe ressaltar que, entre os 80 países, aproximadamente 95% possuem problemas de eficiência técnica e de escala, segundo os resultados do DEA. A Tabela 8 apresenta o *ranking* de eficiência técnica com retornos variáveis, a eficiência de escala e o tipo de retorno que operam os países.

Tabela 8. *Ranking* dos primeiros 20 países colocados segundo a eficiência do fator trabalho

País	ERV	EES	R	País	ERV	EES	R
EUA	1,00	0,341	D	Canadá	0,80	0,380	D
França	1,00	0,364	D	Japão	0,79	0,349	D
Luxemburgo	1,00	1,000	-	Bélgica	0,79	0,505	D
Noruega	1,00	0,641	D	Suécia	0,74	0,498	D
Itália	0,94	0,369	D	Dinamarca	0,72	0,608	D
Alemanha	0,91	0,356	D	Espanha	0,71	0,372	D
Reino Unido	0,88	0,362	D	Áustria	0,70	0,524	D
Holanda	0,87	0,427	D	Irlanda	0,69	0,648	D
Austrália	0,85	0,408	D	Finlândia	0,60	0,633	D
Suíça	0,84	0,520	D	Grécia	0,52	0,492	D

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Apenas Luxemburgo foi puramente eficiente (considerando tanto retornos constantes quanto variáveis). A média da eficiência de escala foi de 47,20%. Os países menos eficientes neste contexto foram a China (6,96%), Índia (12%), Estados Unidos (34, 1%), Indonésia (34,3%) e Brasil (34,4%). Já os países que apresentaram menores problemas de escala foram Chipre (76,6%), Estônia (73,2%), Eslovênia (69,2%) e Letônia (68%).

Se considerado o uso adequado da escala, a eficiência desse conjunto de países na dotação do fator trabalho aumenta, no mínimo, em 30%. Para os países mais ineficientes em escala, como é o caso da China, Índia, Estados Unidos,

Indonésia e Brasil, o incremento em relação à eficiência aumenta, em média, 529%. Mas é claro que, para a maioria desses países, o uso correto da escala produtiva seria apenas o primeiro passo para o melhoramento da eficiência do fator trabalho.

No que se refere ao fator capital, a variável utilizada para estimar o seu coeficiente de eficiência, com orientação *input*, foi a Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF). Esse indicador foi considerado insumo e o PIB, mais uma vez, produto. Em essência, a atenção desse estudo se volta ao gerenciamento eficiente do capital disponível das nações.

No modelo de retornos constantes, apenas Costa do Marfim foi tecnicamente eficiente na utilização do capital disponível. Cuba (93,1%), Síria (70,9%), El Salvador (68%) e Angola (63,4%) completam a lista dos cinco primeiros colocados nesse *ranking*. Não obstante, é mais fácil pressupor que a eficiência técnica encontrada na Costa do Marfim seja mais uma questão da influência da gestão dos outros insumos de produção sobre o PIB (recursos naturais e trabalho) do que da própria gestão do fator capital propriamente dita. Na realidade, se analisada apenas a variável referente à formação bruta de capital fixo, Costa do Marfim está entre as últimas nações, o que, de certa forma, corrobora as expectativas sobre o país, que tem o 4º menor PIB dos países da amostra (*WORLD BANK*, 2011).

Em relação a todos os países, a média da eficiência do fator capital foi de aproximadamente 44,1%. Os piores países colocados no *ranking* foram China (23%), Vietnã (25,5%), Marrocos (26,6%), Bielorrússia (26,9%) e Bulgária (27%). Os Estados Unidos (57,9%) apresentaram, como esperado, eficiência acima da média. Mas devido aos problemas na escala de produção, os mesmos não foram puramente eficientes. No caso chinês, embora a economia do país tenha sido a 3ª maior economia do mundo em 2008, pelo montante disponível de investimentos, a razão PIB/FBCF observada foi a mais baixa entre todos os países da amostra. Pela ótica da eficiência técnica, o produto chinês poderia ser ainda maior dada a quantidade disponível de capital que o país teve em 2008 (*WORLD BANK*, 2011). Contudo, outros fatores, como o impacto ambiental de um maior crescimento econômico, também devem ser considerados para canalizar ações que promovam maiores taxas de crescimento econômico.

Ao flexibilizar o tipo de retorno (estimação com retornos variáveis), mais três países aparecem como eficientes, além da Costa do Marfim: Cuba, Estados Unidos

e Reino Unido (Tabela 13). Todos eles apresentaram retornos decrescentes de escala. Isso indica que se o capital variar em uma proporção κ , o montante de variação do produto seria de Ω , sendo $\Omega < \kappa$.

Mas, no caso cubano, certamente não se pode atribuir todo o crédito à capacidade de gestão dos investimentos cubanos, tampouco à política voltada para a formação bruta de capital do país. É mais provável que o PIB nacional esteja sendo influenciado pelos outros fatores produtivos, como a terra, recursos naturais ou o trabalho. Ademais, a exploração das terras existentes, baseada principalmente no cultivo do cacau, tem sido um importante fator na formação da riqueza desse país (AUDIBERT; BRUN, 2009).

Com relação a todos os países que se tornaram eficientes com retornos variáveis, a solução para a ineficiência de escala seria reduzir o montante já existente de capital, mantendo o produto constante, ou procurar aumentar o produto, mantendo os insumos constantes. Obviamente, essas ações não são tão simples de se fazer quanto parecem. É de se esperar que a opção de reduzir os insumos de capital e manter o PIB inalterado esteja fora de cogitação, com exceção de Cuba. Dessa forma, a única solução que parece plausível seria aumentar o PIB mantendo os insumos inalterados. A Tabela 9 apresenta o *ranking* de eficiência técnica com retornos variáveis, a eficiência de escala e o tipo de retorno que operam os países para o fator capital.

Tabela 9. *Ranking* dos 20 primeiros países segundo a eficiência do fator capital

País	ERV	EES	R	País	ERV	EES	R
C. do Marfim	1,000	1,000	-	Angola	0,776	0,817	D
Cuba	1,000	0,931	D	Suíça	0,762	0,630	D
Reino Unido	1,000	0,608	D	Filipinas	0,761	0,691	D
EUA	1,000	0,579	D	Grécia	0,761	0,644	D
Alemanha	0,917	0,598	D	Síria	0,755	0,938	D
Brasil	0,803	0,611	D	França	0,754	0,605	D
Itália	0,791	0,608	D	Turquia	0,749	0,621	D
Malásia	0,785	0,669	D	Japão	0,725	0,591	D
Holanda	0,785	0,618	D	Noruega	0,725	0,634	D
Suécia	0,785	0,631	D	El Salvador	0,721	0,944	C

Fonte: Resultados da Pesquisa.

R. Inter. Interdisc. INTERthesis, Florianópolis, v.10, n.2, p. 282-309, Jul./Dez. 2013

Do total de países incorporados na amostra, 95% obtiveram tanto ineficiência técnica quanto de escala. Desse montante, 65% dos países ineficientes obtiveram a ineficiência técnica como o principal fator gerador de ineficiência ao passo que 35% obtiveram a ineficiência de escala como o fator mais importante. Como nos outros insumos produtivos, é necessária a junção de medidas que reduzam tanto a ineficiência de escala quanto a técnica para que os países ineficientes sejam projetados junto à fronteira de eficiência.

3.3 CLUSTERS DE EFICIÊNCIA

Em relação ao agrupamento dos países segundo a estimativa das eficiências do capital, do trabalho e dos recursos naturais, o pseudo T^2 e o pseudo F apontaram para a formação de apenas um e dois grupos, respectivamente. Pelo índice de Duda-Hart, os níveis de eficiência técnica dos países podem ser divididos em quatro grupos distintos, o que é mais condizente com a heterogeneidade da amostra, que contem estruturas produtivas bastante diferentes. Por isso, optou-se pela formação de quatro agrupamentos. A Tabela 10 apresenta as médias das eficiências do capital, do trabalho, da energia e a total para os quatro agrupamentos.

Tabela 10. Médias das eficiências do capital, trabalho e energia dos quatro *clusters*

Cluster	Capital	Trabalho	Energia
1	0,747	0,830	0,758
2	0,601	0,082	0,681
3	0,692	0,224	0,289
4	0,418	0,118	0,254
Total	0,595	0,308	0,452

Fonte: Resultados da Pesquisa.

O primeiro *cluster* é composto por 19 países (Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, França, Grécia, Holanda, Irlanda, Itália, Japão, Luxemburgo, Noruega, Reino Unido, Suécia e Suíça). Pela Tabela 10, nota-se que esse agrupamento obteve as maiores médias de eficiência técnica dos fatores produtivos, se comparados aos demais *clusters*, com destaque

ao fator de produção trabalho, que apresentou a maior média de eficiência técnica dentro do próprio *cluster*.

Em termos econômicos, as médias do produto por trabalhador e do capital por trabalhador no primeiro *cluster* foram de aproximadamente 105 mil dólares e 23 mil dólares, respectivamente, que representam as maiores médias de renda e investimento por trabalhador entre os *clusters*. Quanto à utilização do fator energético, esse *cluster* representa aproximadamente 51% do consumo mundial. Pode-se, então, afirmar que o primeiro *cluster* condiz com o perfil dos países mais desenvolvidos e mais eficientes entre os países selecionados.

O segundo *cluster* é composto por 13 países: Angola, Chipre, Colômbia, Costa do Marfim, El Salvador, Etiópia, Gana, Guatemala, Indonésia, México, Panamá, Quênia e Sudão. As eficiências do capital e da energia podem ser consideradas intermediárias em relação aos outros agrupamentos, contudo, é importante ressaltar que a eficiência do trabalho foi a menos expressiva entre os *clusters* e dentro do próprio *cluster*. Esse *cluster* é o de menor renda por trabalhador (11 mil dólares) e possui a menor formação de capital por trabalhador (2,5 mil dólares). Em termos energéticos, os 13 países supracitados representam cerca de 2% da energia total utilizada no mundo. Pelas características comuns, o perfil dos países do segundo *cluster* diz respeito aos países menos desenvolvidos (ou pobres) do estudo e que, por isso, utilizam menos energia em sua estrutura produtiva.

O terceiro *cluster*, por sua vez, agrupou 20 países, dentre eles o Brasil (África do Sul, Argentina, Chile, Coréia, Cuba, Egito, Federação Russa, Filipinas, Finlândia, Hungria, Malásia, Nova Zelândia, Paquistão, Polônia, Portugal, Síria, República Checa, Turquia e Venezuela). Com relação aos indicadores econômicos de renda por trabalhador (27 mil dólares) e de investimento por trabalhador (6 mil dólares), o terceiro *cluster* pode ser considerado o segundo grupo mais desenvolvido economicamente, ficando atrás apenas do primeiro *cluster*. A eficiência média do capital desse grupo pode ser considerada intermediária (0,692), entretanto, são baixas as médias de eficiência do trabalho (0,224) e da energia (0,289). Em relação ao consumo energético, esse *cluster* representa 19% do consumo mundial, terceiro maior consumo de energia entre os grupos.

Por fim, tem-se o quarto *cluster*. Esse *cluster* é formado por 28 países: Argélia, Azerbaijão, Bangladesh, Bielorrússia, Bulgária, Cazaquistão, China, Costa

Rica, Croácia, Equador, Eslováquia, Eslovênia, Estônia, Índia, Jordânia, Letônia, Líbano, Lituânia, Marrocos, Peru, República Dominicana, Romênia, Sri Lanka, Tailândia, Tunísia, Ucrânia, Uruguai e Vietnã. A renda por trabalhador (16 mil dólares) e o investimento por trabalhador (5 mil dólares) são relativamente os mais baixos, depois do segundo *cluster*. O aspecto mais relevante que cabe ressaltar diz respeito à eficiência ambiental desse grupo, que utiliza 28% da energia mundial (segundo maior usuário de energia), mas possui a menor média de eficiência técnica entre os grupos nesse fator (0,254). Por isso, o quarto *cluster* pode ser considerado o agrupamento dos países ineficientes tanto ambientalmente, quanto na dotação dos fatores capital (0,418) e trabalho (0,118).

De maneira resumida, a fim de complementar a descrição a respeito do agrupamento realizado pelo perfil econômico, social e ambiental dos países selecionados, atribui-se uma nomenclatura específica para cada *cluster*, a saber: (i) países ricos e eficientes (primeiro *cluster*); (ii) países pobres de eficiência intermediária (segundo *cluster*); (iii) países de desenvolvimento e eficiência intermediária (terceiro *cluster*); e (iv) países de desenvolvimento intermediário e baixa eficiência (quarto *cluster*).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande problema de qualquer agente econômico é alocar os seus recursos escassos de maneira eficiente. Na visão macroeconômica, o bem estar social está intimamente ligado à capacidade que a nação possui de gerir os fatores capital, trabalho e recursos naturais. No entanto, ainda hoje, a atenção dada ao fator capital é predominante. Embora o capital seja indispensável ao desenvolvimento econômico, deve-se dar atenção também ao fator trabalho e, sobretudo, ao fator ambiental, devido, dentre outras coisas, à sua propriedade intrinsecamente limitada.

Em relação à utilização dos insumos produtivos, observa-se que os países não estão gerenciando adequadamente a sua utilização, pois a grande maioria está com problemas de ineficiência técnica e de escala. Além disso, a eficiência técnica dos fatores de produção não ultrapassou 50%, valor considerado baixo, já que a análise foi feita em termos relativos. Portanto, deve-se colocar na atual estrutura de produção e na própria consciência da sociedade a importância da gestão eficiente

dos recursos naturais e não naturais para a sobrevivência humana e os limites ecológicos do ecossistema.

A partir da análise de *cluster*, foi possível identificar quatro perfis das nações analisadas. O primeiro perfil foi denominado de “países ricos e eficientes” e apresentou a maior média de eficiência para os fatores produtivos. Estados Unidos, Alemanha e Japão podem ser citados como exemplos. O segundo perfil foi denominado de “países pobres de eficiência intermediária”. Os países que fazem parte desse *cluster* apresentaram os menores valores para a renda por trabalhador e para formação de capital por trabalhador. Angola, Chipre e Colômbia fazem parte desse agrupamento. O terceiro perfil foi composto por países como Argentina, Brasil e Chile e intitulado “países de desenvolvimento e eficiência intermediária”. Esse *cluster* foi considerado o segundo mais desenvolvido economicamente, com eficiências médias do capital de 0,692; do trabalho de 0,224; e da energia de 0,289. Por fim, tem-se o quarto perfil identificado “países de desenvolvimento intermediário e de baixa eficiência”. Esse grupo pode ser considerado o agrupamento dos países ineficientes tanto ambientalmente, quanto na dotação dos fatores capital (0,418) e trabalho (0,118).

Na presença de ineficiência, os países precisam gerenciar melhor os seus recursos. Entretanto, ressalta-se que os problemas relacionados à gestão dos recursos produtivos não podem ser, de maneira alguma, generalizados para todos os países de forma igualitária. Apesar deste estudo ter considerado 80 economias distintas em uma mesma escala de eficiência, cada *cluster* possui suas próprias pluralidades e cada país detém uma combinação diferente dos fatores de produção, que condiz com a sua realidade econômica, social e ambiental. As análises de eficiência técnica consideram todos os países pertencentes a uma mesma função de produção, o que certamente não se verifica na prática. Essa é uma limitação importante deste trabalho.

Os resultados apresentados aqui não encerram o debate sobre a eficiência dos fatores de produção, mas, ao contrário, revelam novas possibilidades, como o relacionamento dos países de mesma fronteira, que podem contribuir sistematicamente para os futuros debates sobre eficiência e, assim, contribuir para a elaboração de políticas públicas nacionais voltadas ao melhor gerenciamento dos recursos naturais e não naturais.

THE EFFICIENCY OF NATURAL AND UNNATURAL FACTORS FOR THE MAJOR WORLD ECONOMIES

Abstract:

The aim of this essay was to evaluate the efficiency of natural and unnatural inputs for the world's largest economies and to group them according to their shared features in relation to the efficiency of these inputs. The theoretical framework is based on the theory of economic growth that considers natural resources as a factor of production. The analytical referential is based on the factor analysis, the technique Data Envelopment Analysis (DEA) and the cluster analysis. The results show that the average efficiency of productive inputs was less than 50%, which indicates that the production factors are not being properly used or that some infrastructure for them used in the production process is missing. If there are technical efficiency issues, countries need to invest in structural reforms as building roads, ports, airports etc. If scale inefficiency is the case, capital tax reduction, a search for foreign resources, lowering the external debt, etc., are important factors in reducing this inefficiency. However, it is important to note that, in many cases, it will be necessary to use all these measures for countries to achieve the efficient frontier.

Keywords: Efficiency. Cluster analysis. Factorial analysis. Capital. Energy

LA EFICIENCIA DE LOS FACTORES NATURALES Y NO NATURALES PARA LAS PRINCIPALES ECONOMÍAS DEL MUNDO

Resumen:

El objetivo del presente artículo fue evaluar la eficiencia de insumos naturales y no naturales para las mayores economías del mundo y agruparlas a partir de sus características comunes con respecto a la eficiencia de esos recursos. Las referencias teóricas se fundamentan en la teoría del crecimiento económico, que considera los recursos naturales como un factor de producción. Metodológicamente, se utilizó el análisis factorial por componentes principales para crear un indicador ambiental; la técnica *Data Envelopment Analysis* (DEA) para estimar los resultados de eficiencia relativa de los factores de producción; y el análisis por agrupamiento para agrupar los países según los criterios de eficiencia técnica. Los resultados muestran que la eficiencia promedio de los insumos productivos fue inferior al 50%, lo que indica que los factores de producción no se utilizan adecuadamente o que carecen de estructura adecuada para utilizarlos en el proceso de producción. Se observa que la gran mayoría de los países presentó problemas de ineficiencia técnica y de escala.

Palabras-clave: Eficiencia. Análisis de cluster. Análisis factorial. Capital. Energía

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D.C.; ROMERO, A.R. **Degradação Ambiental e Teoria Econômica: Algumas Reflexões sobre a “Economia dos Ecossistemas”**. Revista Economia, v. 12, n.1, p. 3-26, jan/abr. 2011.
- AUDIBERT; M.; BRUN, J.F. **Effets économiques du paludisme sur les cultures de rente : l'exemple du café et du cacao en Côte d'Ivoire**. Revue d'économie du développement, v. 23, p. 145-166. 2009.
- BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092. 1984.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444. 1978.
- DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological Economics: principles and applications**. ISBN 1-5555963-312-3. Londres: Island Press, 2004.
- EDENHOFER, O.; BAUER, N.; KRIEGLER, E.; **The impact of technological change on climate protection and welfare: Insights from the model MIND**. Ecological Economics. 277-292. 2005.
- FERREIRA, C.M.C., GOMES, A.P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2009.
- GOMES, A. P.; BAPTISTA, A J. S. Análise envoltória de dados: Conceitos e modelos básicos. In. SANTOS, Maurinho L. dos; VIEIRA, Wilson C. (ed.) **Métodos quantitativos em economia**. Viçosa: UFV, 2004. p.121-160.
- GONZÁLES, A. **Recursos Naturales y Humanos de Angola: Un abordaje introductorio**. Centro Argentino de Estudios Internacionales. Programa África Subsahariana. UNDP Human Development Report. 2006.
- HAIR, J.F.; R.E. ANDERSON.; R.L. TATHAN.; W.C. BLACK. Análise multivariada de dados. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HARTWICK, J. M. Natural Resources, National Accounting and Economic Depreciation. **Journal of Public Economics**, n. 43, p. 291-304. 1990.
- R. Inter. Interdisc. INTERthesis, Florianópolis, v.10, n.2, p. 282-309, Jul./Dez. 2013

HOLCOMBE, R.G. A theory of the theory of public goods. **Review of Austrian Economics** 10, n. 1, p. 1-22. 1997.

HOTELLING, H. The economics of exhaustible resources. **The Journal of Political Economy**, v. 39, n. 2, p. 137-175. 1931.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

KOESLER, S. SCHYMURA, M. Substitution elasticities in a CES production framework: An empirical analysis on the basis of non-linear least squares estimations. **Zew Discussion Papers**. 12-007. Center for European Economic Research. 2012.

LAWSON, J. **Making the Luxembourg Labor Market Work Better**. OECD Economics Department. Working Paper, n. 778. 2010.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. 1ª Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. 295 p.

SACHS, J. D. **Institutions don't Rule: Direct Effects of Geography on per capita income**. Working Paper. 9490. National Bureau of Economic Research. 2003.

SIMON, K.; MICHAEL, S. Substitution elasticities in a CES production framework: An empirical analysis on the basis of non-linear least squares estimations. **ZEW discussion Papers**, n. 12-007. 2012.

SOARES, T.C.; ZABOT, U.C.; RIBEIRO, G.M. Índice geral de criminalidade: uma abordagem a partir da análise envoltória de dados para os municípios catarinenses. **Leituras de Economia Política**, Unicamp. (19): 18-109, dez. 2011.

SOLOW, R. M. On the Intergenerational Allocation of Natural Resources. **The Scandinavian Journal of Economics**, v. 88, n. 1, p. 141-149, mar. 1986.

STIGLITZ, J. Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources. **The Review of Economic Studies**, v. 41, p. 123-137. 1974.

VARIAN, H.R. **Microeconomic Analysis**. 3ª Edição. Nova Iorque: Norton e Company, 1992. 563 pp.

VAZ, C.; CAMANHO, A.; Evolução do desempenho de lojas de retalho ao longo do tempo utilizando o índice de Malmquist. **15º Congresso da Associação Portuguesa de Investimento operacional**. 2011

WORLD BANK. Disponível em: <<http://www.worldbank.org>>. Acesso em: 20 maio 2011.

Artigo:

Recebido em Novembro de 2012

Aceito em Setembro de 2013